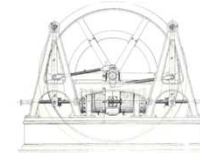




**FEDERAZIONE REGIONALE ORDINI
INGEGNERI DELLA TOSCANA**



**ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI LUCCA**

***Vulnerabilità sismica e progetto di interventi su costruzioni
esistenti, prefabbricate e non, di calcestruzzo armato***

Caso studio di analisi ed adeguamento sismico di edifici in c.a.

Lucca, 5 Dicembre 2014, Grand Hotel Guinigi



Francesco Lippi

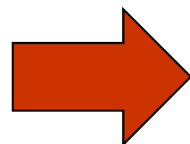
Francesco.lippi@ing.unipi.it

Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale - Università di Pisa

Gli interventi strutturali sugli **edifici esistenti** rappresentano la classe di realizzazioni maggiormente impegnative dal punto di vista progettuale. Al fine di ottenere il risultato atteso, è infatti necessaria una **conoscenza approfondita dell'opera esistente** in modo da poter identificare e dimensionare correttamente gli interventi più opportuni

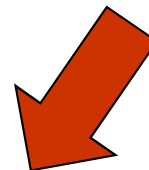
ANALISI DELLA STRUTTURA ESISTENTE

- Analisi Storico-Critica del Manufatto
- Rilievo Geometria Attuale
- Analisi degli Schemi Statici
- Caratteristiche Meccaniche dei Materiali
- Analisi dei Carichi



VULNERABILITA' STATICA / SISMICA

- Analisi delle azioni statiche/sismiche mediante metodi di calcolo lineari / non lineari
- Verifiche Resistenza / Deformabilità secondo Livelli di Conoscenza
- Identificazione Criticità Globali / Locali
- Azioni Sismiche: Valutazione Indice di Rischio R



**PROGETTO
INTERVENTO**

ANALISI STORICO – CRITICA DEL FABBRICATO

NTC 2008

“Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale esistente e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo dal manufatto, nonché gli eventi che lo hanno interessato”

RICOSTRUZIONE DELLA STORIA PROGETTUALE E COSTRUTTIVA DEL FABBRICATO

1. Ricerca archivistica finalizzata ad individuare la storia edificatoria, le diverse fasi edilizie, lo sviluppo urbanistico e storico del quartiere in cui l’edificio è inserito, le modifiche successive architettoniche e strutturali
2. Studio dei precedenti eventi sismici che si sono verificati nel corso della vita dell’edificio: questo permette la valutazione dell’effettivo comportamento del fabbricato, salvo nei casi in cui siano state apportate delle modifiche strutturali sostanziali

RICERCA STORICA

Conclusioni di tipo “operativo” utili per la modellazione meccanica globale dell’edificio

RILIEVO GEOMETRICO E STRUTTURALE DEL FABBRICATO

E' necessario ricostruire la geometria del fabbricato e degli elementi strutturali

RILIEVO GEOMETRICO

- **Disegni originali di carpenteria**, piante, prospetti e sezioni dell'edificio analizzato (*da reperire presso Genio Civile, Catasto, Uffici Comunali, laddove presenti*), con rilievo a campione per verificare l'attendibilità del materiale;
- **Rilievo ex novo** in sito del fabbricato (*se manca il materiale*).

RILIEVO STRUTTURALE

- **Individuazione delle dimensioni e della tipologia degli elementi strutturali**, con verifiche a campione per verificare l'attendibilità del materiale (laddove presente);
- **Progetto simulato** sulla base della normativa vigente all'epoca di realizzazione del fabbricato.

DEFINIZIONE COMPLETA DELLA GEOMETRIA E DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

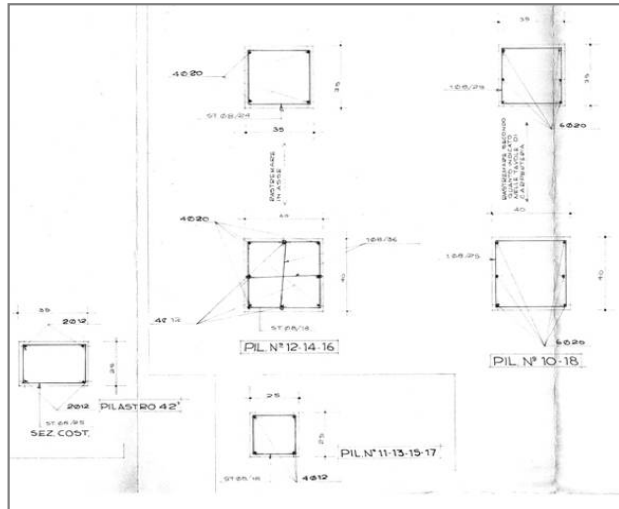
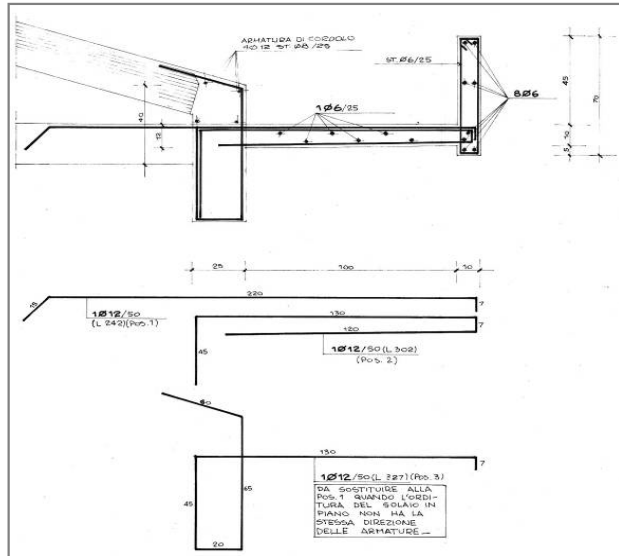
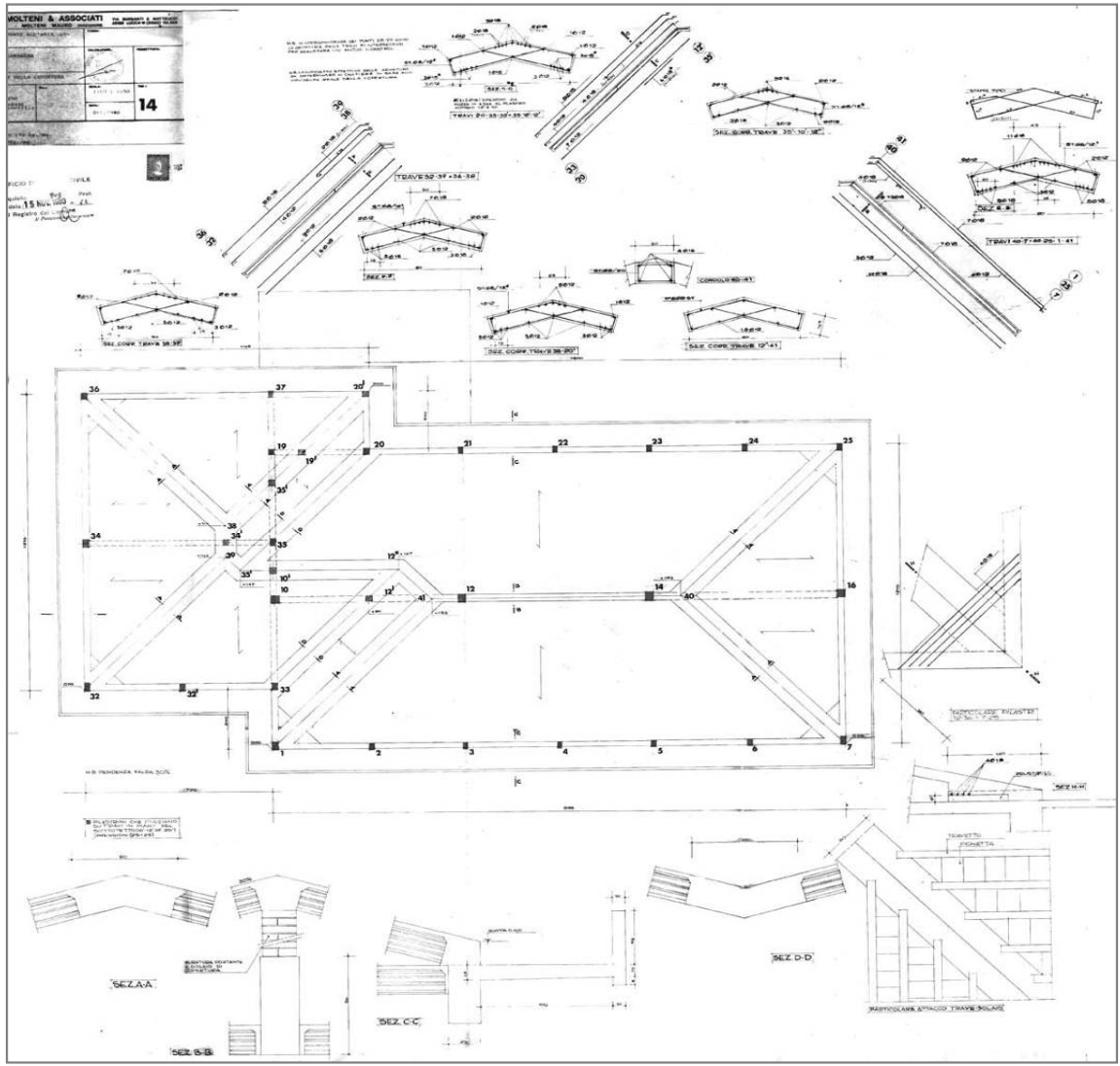
Possibilità di realizzare un modello attendibile alla realtà



INTRODUZIONE

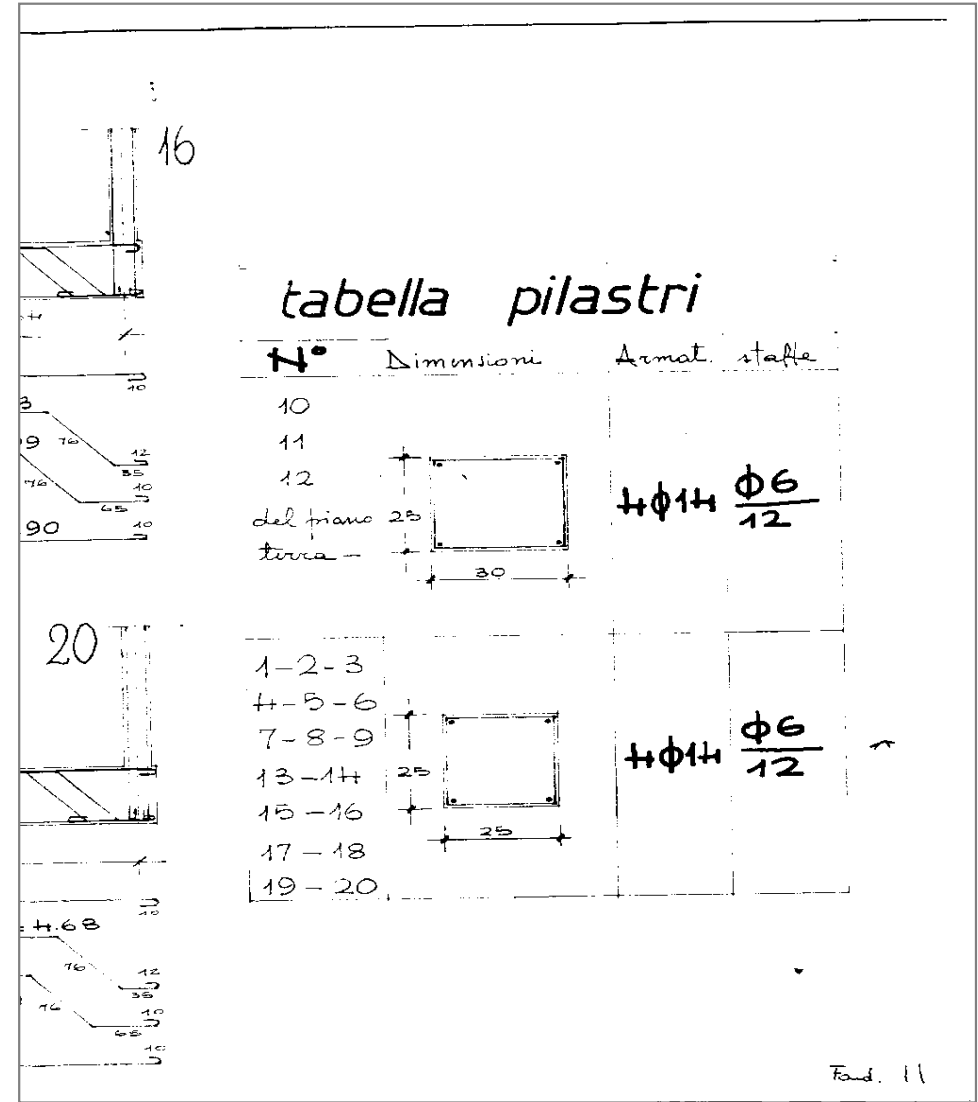
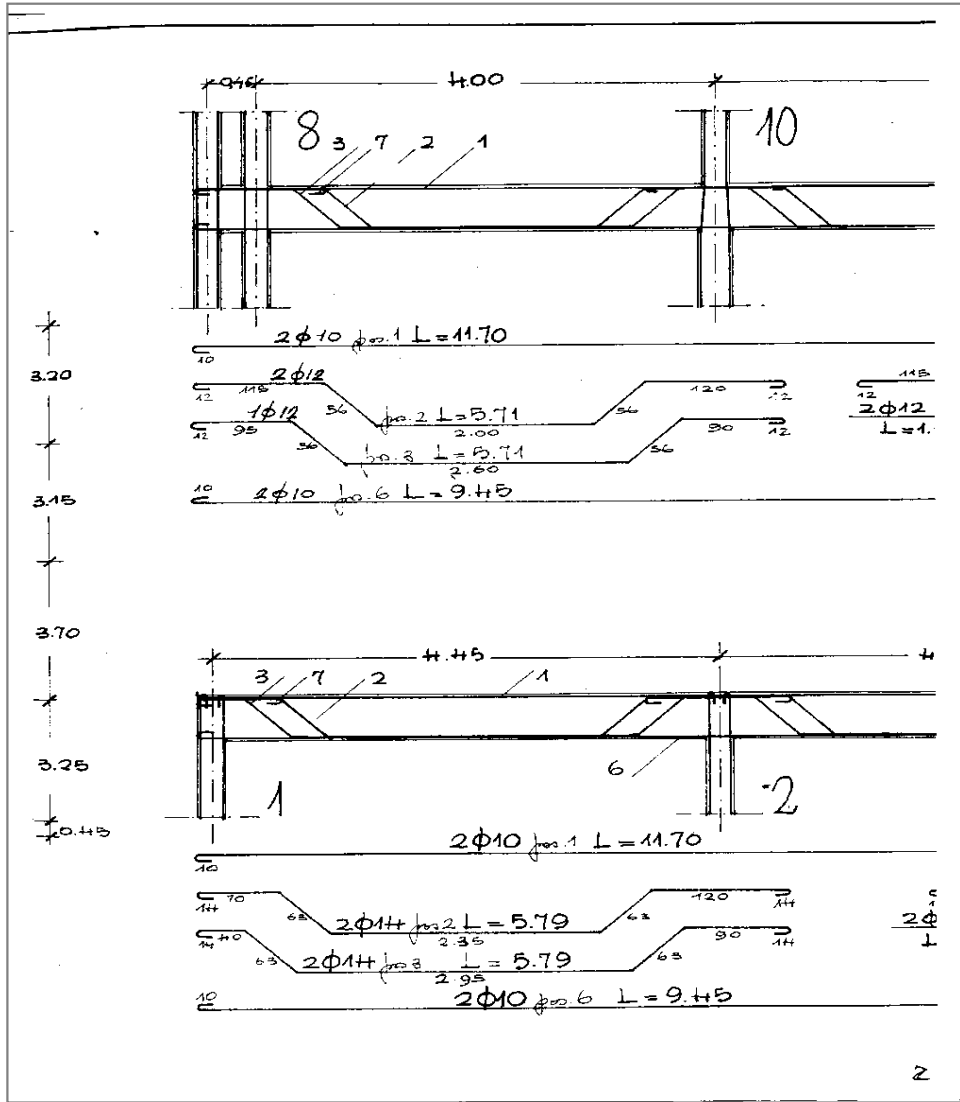
INTERVENTI SU EDIFICI ESISTENTI

RILIEVO STRUTTURALE: carpenterie e disegni originali





RILIEVO STRUTTURALE: carpenterie e disegni originali



RILIEVO STRUTTURALE: saggi a campione in sito sugli elementi strutturali

Armatura superiore trave



Armatura superiore trave



Armatura inferiore trave



Armatura superiore trave di fondazione





ASSENZA DI PROGETTO ORIGINALE: PROGETTO SIMULATO (norme dell'epoca)

Per la ricostruzione del modello strutturale di edifici esistenti, qualora siano assenti documenti originari per la definizione degli elementi strutturali, le NTC 2008 prevedono il ricorso al **PROGETTO SIMULATO** sulla base di:

1. **Normative** vigenti all'epoca di realizzazione;
2. **Manuali tecnici** dell'epoca;
3. **Prassi tecnico-costruttive** dell'epoca.

Conglomerato	σ_c (kg/cm ²)	$\sigma_{r, 28}$ minimo (kg/cm ²)
Conglomerato di cemento idraulico normale (Portland)	40	120
Conglomerato di cemento normale ad alta resistenza ed alluminoso	50	160
Quando sia eseguita la determinazione preventiva dalla resistenza cubica a 28 g., e queste venga costantemente controllata durante l'esecuzione del lavoro	$\frac{\sigma_{r, 28}}{3}$	
ma non superiore a	75	225



RICOSTRUZIONE DEL MODELLO



1. **INDIVIDUAZIONE SCHEMI STATICI PIANI;**
2. **ANALISI DEI CARICHI**
(generalmente soli carichi verticali)
3. **CARATTERIZZAZIONE DELLE PROPRIETA' MECCANICHE DEI MATERIALI:**
4. **PROGETTAZIONE ELEMENTI E DETTAGLI COSTRUTTIVI** (anche sulla base di diffusi sopralluoghi in sito)

TRAVI	
NORMATIVA	R.D. 2229/1939
Sollecitazione: M,T	Metodi della scienza delle costruzioni Condizioni di carico più sfavorevoli
H	-
Af	-
Af'	-
Armatura trasversale	50% staffe, 50% ferri piegati
MANUALISTICA	
Sollecitazione: M,T	Sollecitazioni su trave continua
h	$h = r \cdot \sqrt{M / b}$ b a scelta del progettista (30-40 travi emerg.; 70-80 a spessore)
Af	$A_f = t \cdot \sqrt{M \cdot b}$ minimo 2 reggistaffa
Af'	minimo 2 reggistaffa (generalmente 2φ12)
Armatura trasversale	Piegati: diagramma T/z; momenti resistenti. Staffe aggiunte calcolate a passo costante

CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI

NTC 2008

*"Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si baserà su **documentazione** già disponibile, su verifiche visive in situ e su **indagini sperimentali**"*

SE PRESENTE DOCUMENTAZIONE ORIGINALE DELL'EPOCA DI REALIZZAZIONE:

- **RELAZIONI TECNICHE ORIGINALI**, reperibili presso gli uffici del genio civile;
- **EVENTUALI TAVOLE DI CARPENTERIA** con indicazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali, cls e acciaio;

SE NON PRESENTE DOCUMENTAZIONE ORIGINALE E COMUNQUE AD INTEGRAZIONE:

- **PROVE DISTRUTTIVE** (carotaggi su provini di cls, prove di trazione su spezzoni di barre di armatura opportunamente prelevati dall'elemento indagato);
- **PROVE NON DISTRUTTIVE** (prove con sclerometro, tipo Sonreb, su elementi in cls, prove di tipo chimico su porzioni di armatura).

CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI: PROVE DISTRUTTIVE SU CLS (CAROTAGGI)

1. SCELTA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI DA INDAGARE (travi e pilastri):

- *Individuazione della disposizione dei ferri di armatura, barre longitudinali e staffe, mediante pacometro e loro segnatura sull'elemento, per evitare l'eventuale taglio di porzioni di armatura;*

2. MARCATURAPREPARAZIONE DELL'ELEMENTO E ESTRAZIONE DEL PROVINO:

- *Sono preferibili carote passanti da parte a parte dell'elemento strutturale*
- *Sono preferibili carote non eccentriche rispetto alla geometria dell'elemento, qualora la disposizione delle armature lo permetta;*

3. MARCATURA DELLA CAROTA E PROVA DI ROTTURA:

- *Prova di rottura per schiacciamento della carota (laboratori)*



Preparazione elemento da carotare



Prelievo del provino



Elemento carotato



Marcatura del provino

CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI: PROVE NON DISTRUTTIVE SU CLS (SONREB)

METODO SONREB

*Metodo combinato che prevede l'impiego di due metodi indiretti di indagine per la valutazione della resistenza del calcestruzzo: prove **SCLEROMETRICHE** e prove **ULTRASONICHE**, in modo da mitigare i margini di incertezza di entrambe le prove*

1. SCELTA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI DA INDAGARE:

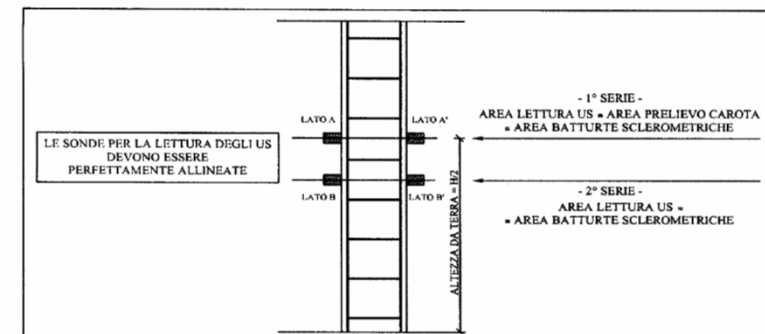
- Individuazione della disposizione dei ferri di armatura per evitare l'eventuale taglio di porzioni di armatura;
- Individuazione di due aree di indagine;

2. ESECUZIONE DELLE PROVE DI BATTUTA SCLEROMETRICA

- Misura della durezza superficiale dell'elemento strutturale;
- Esecuzione di 12 battute per ognuna delle zone individuate;

3. ESECUZIONE DELLE PROVE ULTRASONICHE

- Misura indiretta della resistenza del cls attraverso la velocità media di onde ultrasoniche all'interno dell'elemento strutturale.



CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI: PROVE NON DISTRUTTIVE SU CLS (SONREB)

		ELEMENTI STRUTTURALI INDAGATI CON METODO NON DISTRUTTIVO		ELEMENTI STRUTTURALI INDAGATI ANCHE CON METODO DISTRUTTIVO		ELEMENTI STRUTTURALI INDAGATI CON METODO NON DISTRUTTIVO		ELEMENTI STRUTTURALI INDAGATI ANCHE CON METODO DISTRUTTIVO	
Zona di Indagine		P/PT/35/A-A'	P/PT/35/B-B'	P/PT/43/A-A'	P/PT/43/B-B'	P/PT/44/A-A'	P/PT/44/B-B'	P/PT/48/A-A'	P/PT/48/B-B'
Data effettuazione prove:		12/1/09	12/1/09	12/1/09	12/1/09	12/1/09	12/1/09	12/1/09	12/1/09
Sclerometro	Indice di rimbalzo medio	36,50	36,85	34,60	37,35	37,70	36,25	32,20	32,30
	Resistenza Stimata del Cls (kg/cm ²)	348,0	354,0	315,0	363,0	369,0	343,0	275,0	277,0
Ultrasuoni	Velocità media (m/s)	3272,7	3337,0	1233,7	1893,3	2882,7	2899,8	2910,1	2890,3
Resistenza stimata del Cls (kg/cm ²)	Formula A <i>Giacchetti-Laquaniti (1980)</i>	163,0	173,8	12,0	40,6	122,6	117,9	100,8	99,4
	Formula B <i>Di Leo-Pascale (1994)</i>	213,6	226,3	18,6	57,4	162,0	157,7	140,3	138,5
	Formula C <i>Gasparirik (1992)</i>	226,8	237,9	34,9	84,8	186,7	179,7	156,1	154,7
Resistenza stimata media del Cls (kg/cm²)		201,1	212,6	21,8	60,9	157,1	151,8	132,4	130,9
Differenza percentuale A / Media		-18,95	-18,28	-45,12	-33,40	-21,95	-22,34	-23,89	-24,03
Differenza percentuale B / Media		6,20	6,41	-14,89	-5,80	3,13	3,92	6,00	5,80
Differenza percentuale C / Media		12,75	11,87	60,01	39,19	18,82	18,42	17,89	18,22

CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI: ELABORAZIONE DEI DATI PER CLS, ESEMPIO

	SONREB		PROVA DISTRUTTIVA	POSIZIONE	R _{verifiche}	R _{accanto}	f _{ck}	f _{cm}	E	E _{medio}	f _{ck}	f _{cm}	E _{accanto}	
	V _m	R _m			R _{msITU}	R _{mPIANO}								R _{mPIANO}
	(m/s)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)		(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kg/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
P/PS/7	3260.1	223.6	164.2	ESTERNO	157.2	160.0	164.2	24.42	28757	28497	160.0	24	28608	
P/PS/26	2939.9	140.1	139.0	ESTERNO			139.0	21.9	27833					
P/PS/41	-	-	168.3	ESTERNO			168.3	24.83	28901					
P/PT/27	-	-	107.0	ESTERNO	145.1	150.0	107.0	18.7	26545	28015	150.0	23	28245	
P/PT/43	1233.7	21.8	171.8	ESTERNO			171.8	25.18	29023					
P/PT/48	2910.1	132.4	156.4	ESTERNO			156.4	23.64	28478					
P/P1/18	2730.6	123.9	118.5	ESTERNO	111.1	110.0	118.5	19.85	27024	26716	110.0	19	26672	
P/P1/31	2975.2	134.4	102.4	INTERNO			102.4	18.24	26347					
P/P1/35	2689.0	85.9	112.5	INTERNO			112.5	19.25	26776					
P/P2/16	2723.1	132.4	-	INTERNO	101.6	100.0	-				0.0	8	20575	
P/P2/20	3007.3	189.5	148.3	INTERNO			148.3	22.83	28182	26122				
P/P2/38	1464.8	22.6	54.8	INTERNO			54.8	13.48	24062					
P/P3/10	2955.7	157.4	114.4	INTERNO	92.2	90.0	114.4	19.44	26855	25873	90.0	17	25796	
P/P3/32	2819.5	159.2	77.1	INTERNO			77.1	15.71	25193					
P/P3/37	2782.9	120.4	85.1	INTERNO			85.1	16.51	25571					
P/P4/47	-	-	140.8	ESTERNO	140.8	140.0	140.8	22.08	27901	27901	140.0	22	27871	
									27187		media			
T/ZF/15-17	-	-	265.5	FONDAZIONE	250.3	250.0	265.5	34.55	31912		250.0	33	31476	
T/PS/15-17	3894.8	205.9	235.0	FONDAZIONE			235.0	31.5	31040					
T/PT/3-4	3314.1	132.7	202.7	SEZ.1			202.7	28.27	30048					
T/P3/19-21	2890.3	130.4	80.9	SEZ.5			80.9	16.09	25374					
T/P3/22-23	2551.8	80.1	145.4	SEZ.3			145.4	22.54	28074					

DATI SPERIMENTALI

(In alcuni casi i dati ottenuti da prove sonreb vanno scartati)

DATI ELABORATI

(assunti in fase di verifica)



INTRODUZIONE

INTERVENTI SU EDIFICI ESISTENTI

Il Livello di Conoscenza, che dipende dalla tipologia e dalla estensione delle informazioni disponibili, definisce i **Fattori di Confidenza** da utilizzare per le verifiche di resistenza dei componenti strutturali esistenti

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1		Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive prove in-situ	Tutti	1.00

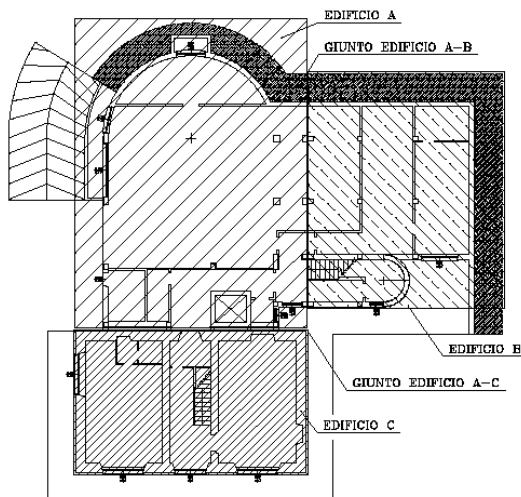
NTC 2008 – CIRCOLARE 617 DEL 2/2/2009

	Rilievo (dei dettagli costruttivi)(a)	Prove (sui materiali) ^(b) (c)
	Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro...)	
Verifiche limitate	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
Verifiche estese	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
Verifiche esaustive	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio

ISTRUZIONI TECNICHE D.2.9 PER LA REDAZIONE DEGLI ELABORATI PROGETTUALI DEGLI INTERVENTI DI PREVENZIONE E RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO DEGLI EDIFICI PUBBLICI STRATEGICI E RILEVANTI

CASO STUDIO 1: Edificio Comunale in C.A. e Muratura

PIANTA PIANO TERRA - EDIFICIO A-B-C



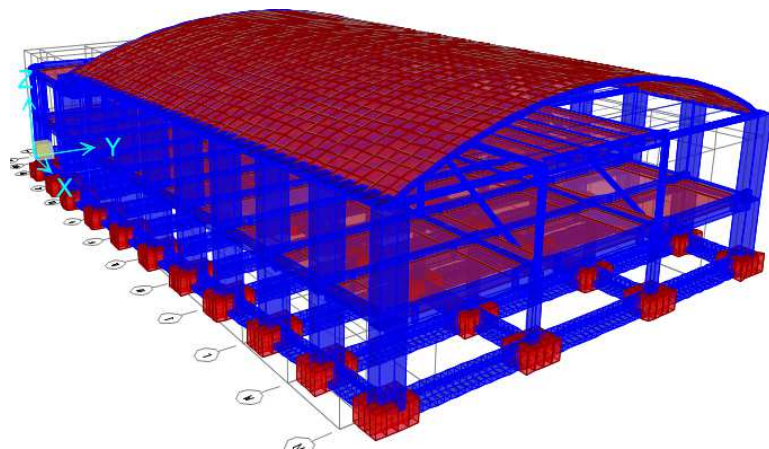
**Intervento di
Miglioramento
Sismico**

CASO STUDIO 2: Edificio Scolastico in C.A.

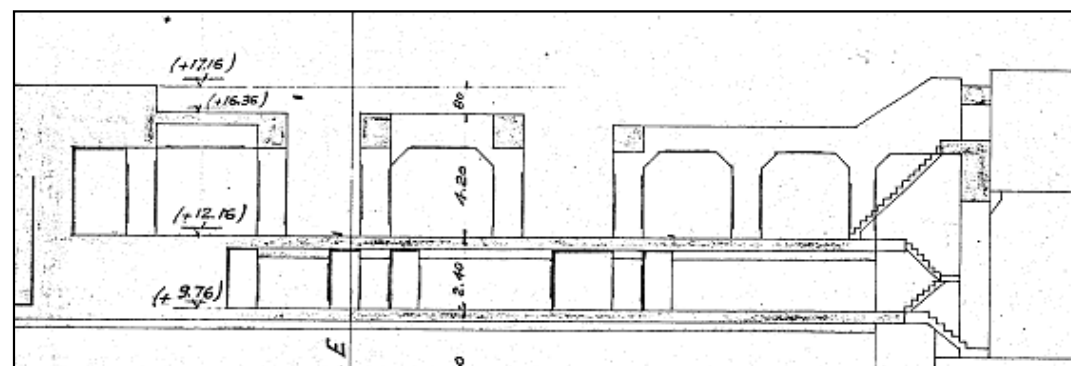


Intervento di Miglioramento Sismico

CASO STUDIO 3: Edificio Commerciale in C.A.



CASO STUDIO 4: Fondazioni in C.A. Impianto Industriale

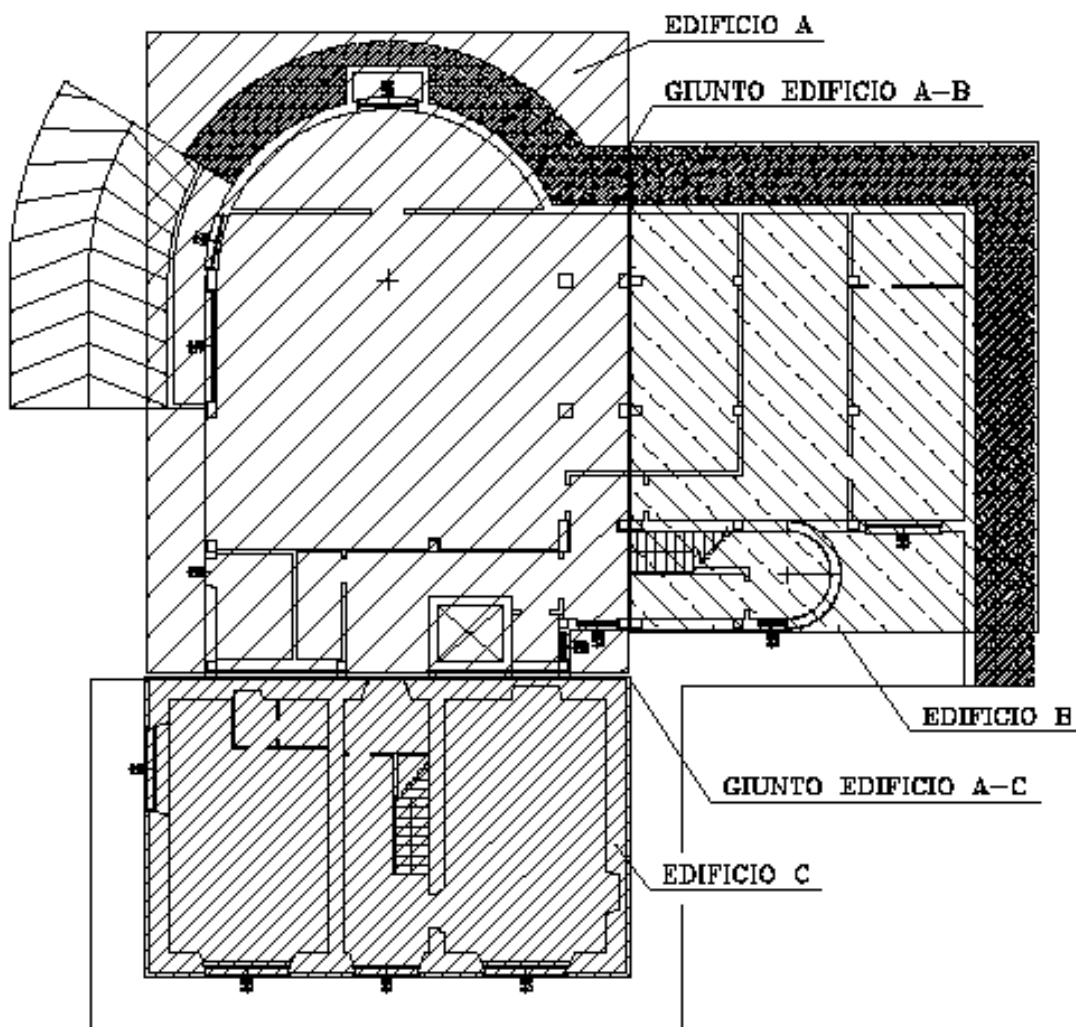


Intervento Locale Provvisorio / Ripristino

DATI PRINCIPALI

- Edificio A e B: C.A.
- Edificio C: Muratura
- $a_g = 0.14g$
- Terreno B

PIANTA PIANO TERRA - EDIFICIO A-B-C



Livello di Conoscenza Adeguata (LC2) : $F_c = 1.2$

EDIFICIO A - CLS

	Fondazione*	Piano seminterrato	Piano terra	Piano primo
R_{cub} [MPa]	25.00	43.42	44.96	34.40
f_{cm} [MPa]	20.75	36.04	37.32	28.55
f_{cd} [MPa] (meccanismi duttili)	17.29	30.03	31.10	23.79
f_{cd} [MPa] (meccanismi fragili)	11.53	20.02	20.73	15.86
E_{cm} [MPa]	31708.47			

* da progetto originale

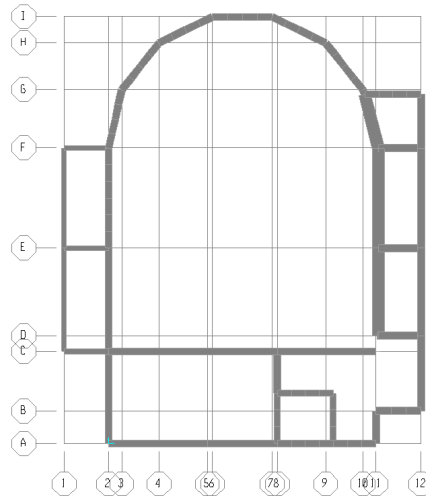
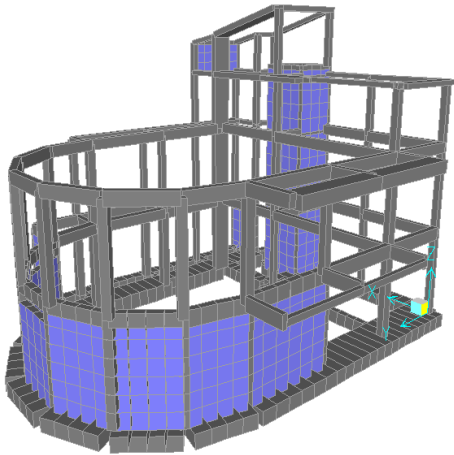
EDIFICIO B - CLS

	Fondazione*	Piano seminterrato	Piano terra
R_{cub} [MPa]	25.00	30.91	47.73
f_{cm} [MPa]	20.75	25.66	39.62
f_{cd} [MPa] (meccanismi duttili)	17.29	21.38	33.01
f_{cd} [MPa] (meccanismi fragili)	11.53	14.25	22.01
E_{cm} [MPa]	31217.73		

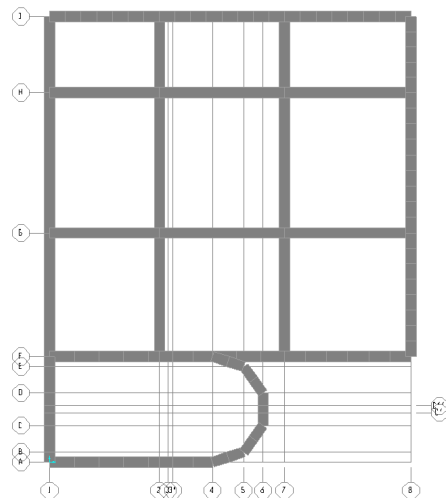
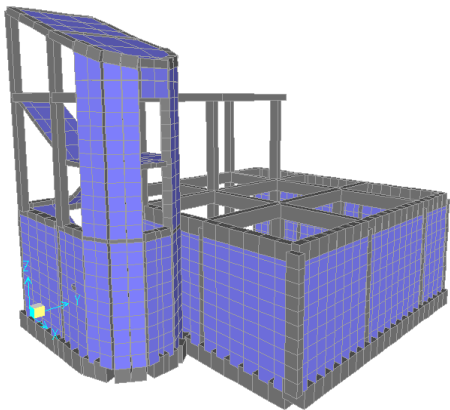
* da progetto originale

ARMATURA: FeB 38k – FeB 44k

EDIFICIO A



EDIFICIO B

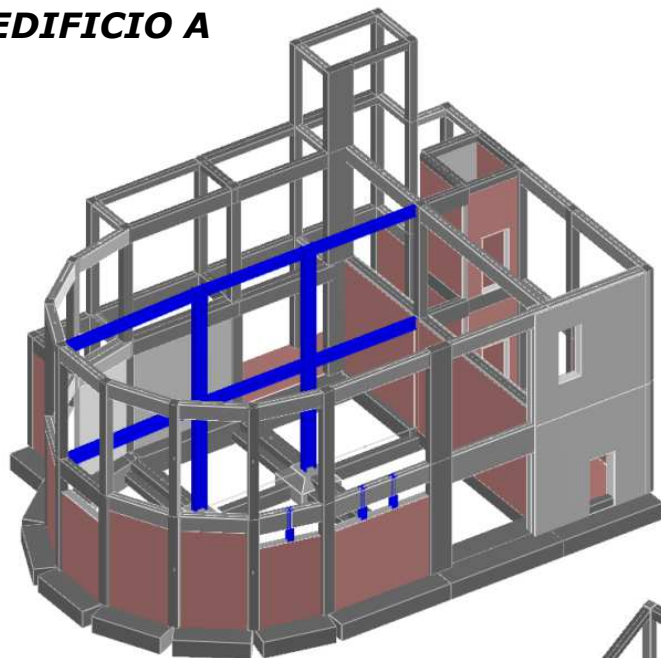
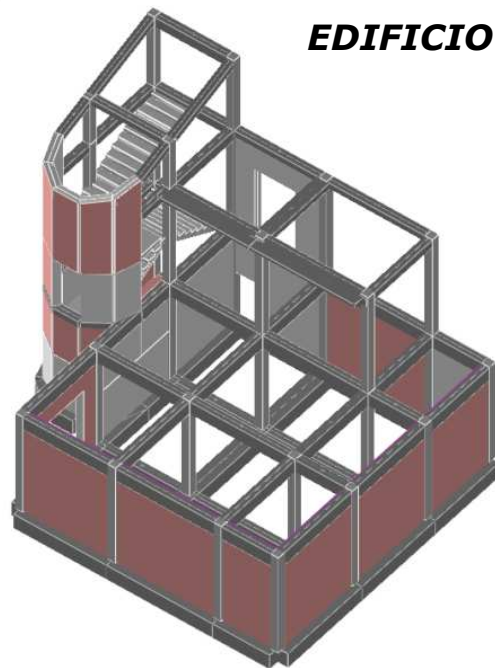


VULNERABILITA' SISMICA:

- $q = 1,5$
- SLV: $T_R = 949$ anni
- SLO: $T_R = 60$ anni
- $R_{CD} = (T_{R,C}/T_{R,D})^a$ ($a = 0,41$)
- Limite inferiore periodo di ritorno 30 anni, secondo Circolare 617 del 02/02/2009;
- Rottura locale per resistenza (SLV) ed eccessiva deformabilità (SLO) di alcuni elementi strutturali per $T_R = 30$ anni

EDIFICI A/B:

- $R_{CD,SLV} < (30/949)^{0,41} = 0,243$
- $R_{CD,SLO} < (30/60)^{0,41} = 0,753$

EDIFICIO A**EDIFICIO B****INTERVENTI:**

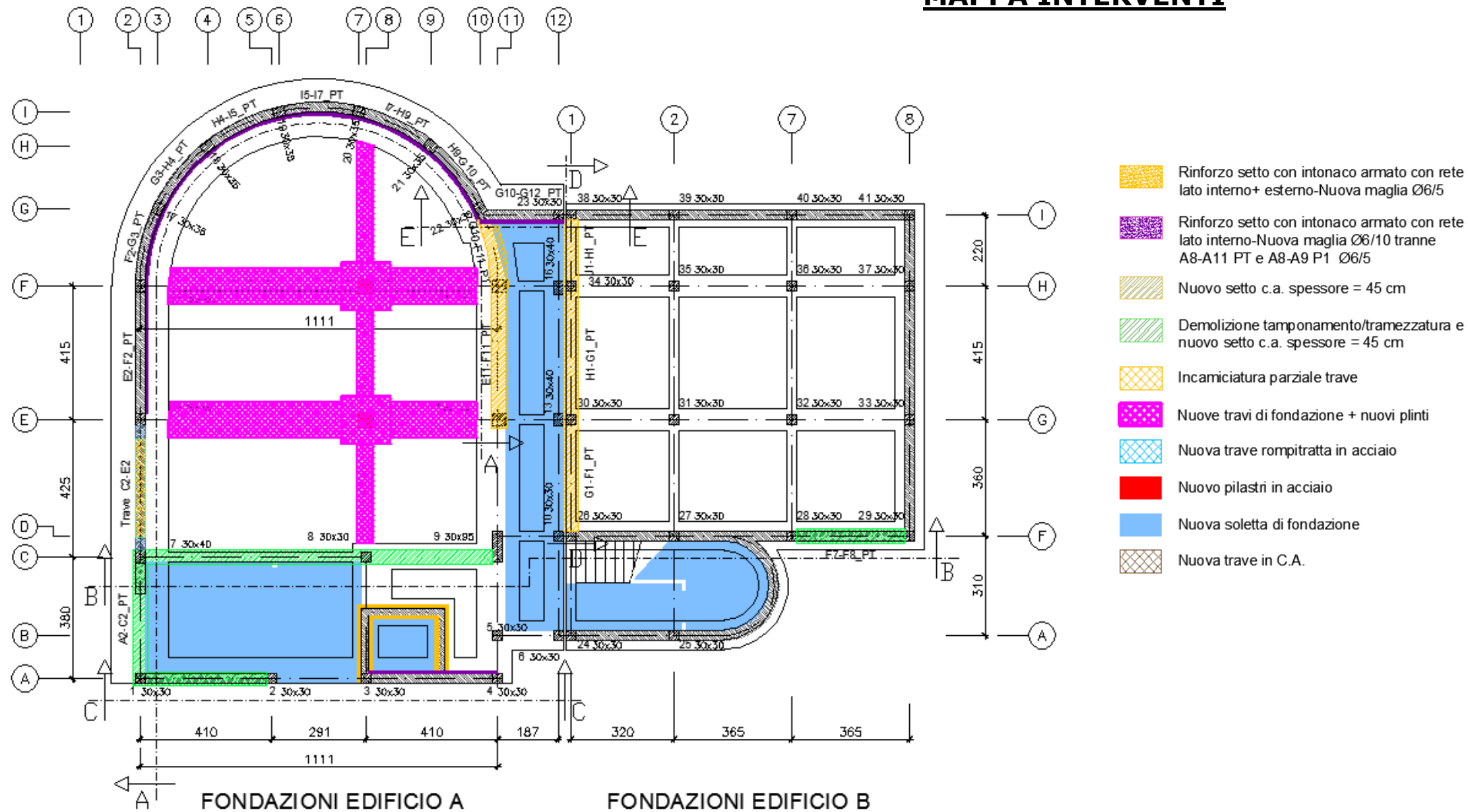
- 1. Eliminazione della spinta del terreno nei muri di fondazione contro terra;**
- 2. Consolidamento dei due solai di luce 11 m mediante l'inserimento di un telaio rompi tratta in acciaio;**
- 3. Consolidamento fondazioni mediante l'inserimento di platee e due travi rovesce per il telaio rompi tratta ed il collegamento alla fondazione esistente;**
- 4. Utilizzo di intonaco armato per il rinforzo dei setti in cemento armato esistenti;**
- 5. Incamiciatura di alcuni pilastri e travi;**
- 6. Demolizione di elementi strutturali (demolizione dell'ultimo piano) e di alcuni tamponamenti per l'inserimento di setti in cemento armato da realizzare ex-novo**



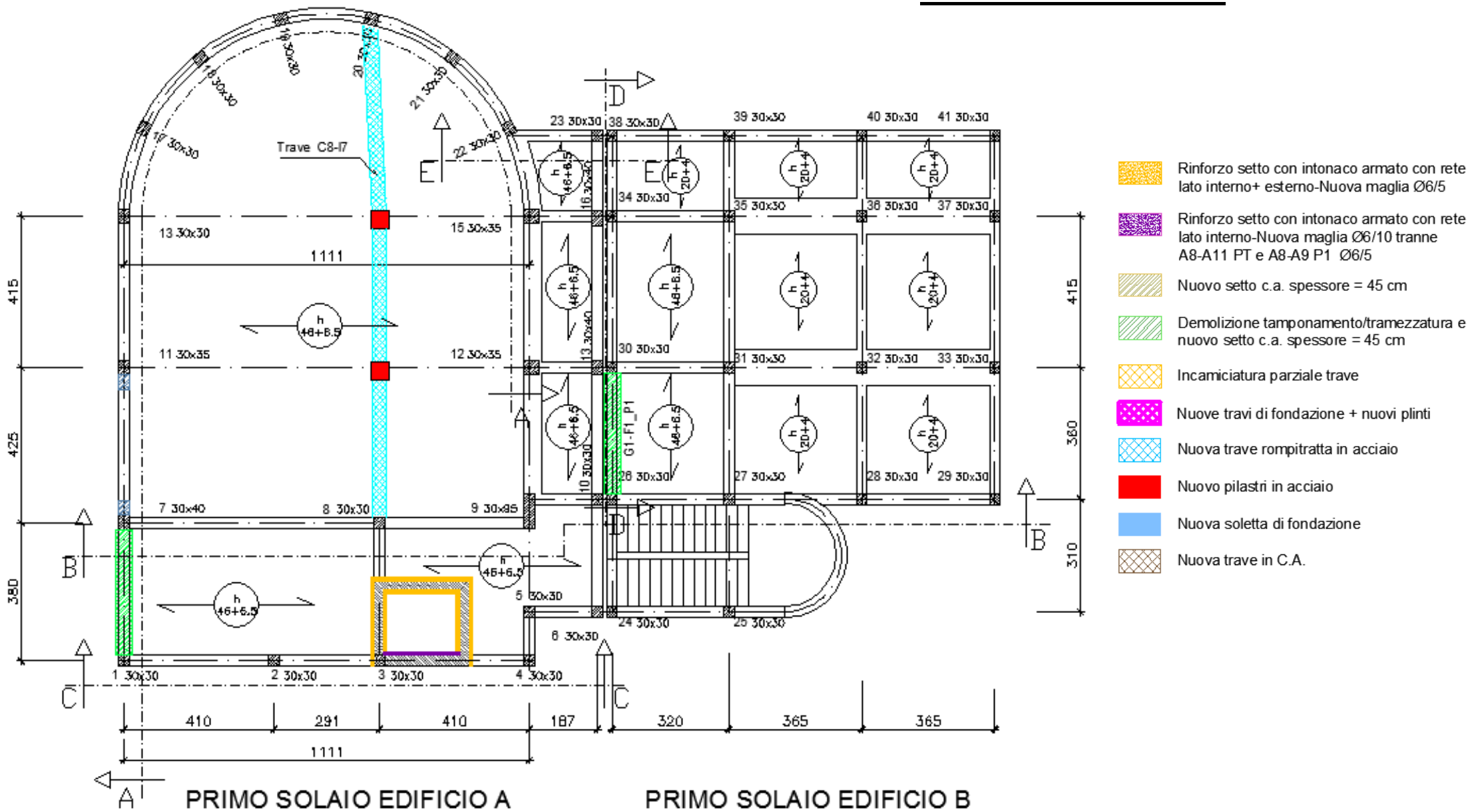
CASO STUDIO 1

Edificio Comunale C.A. e Muratura

MAPPA INTERVENTI



MAPPA INTERVENTI

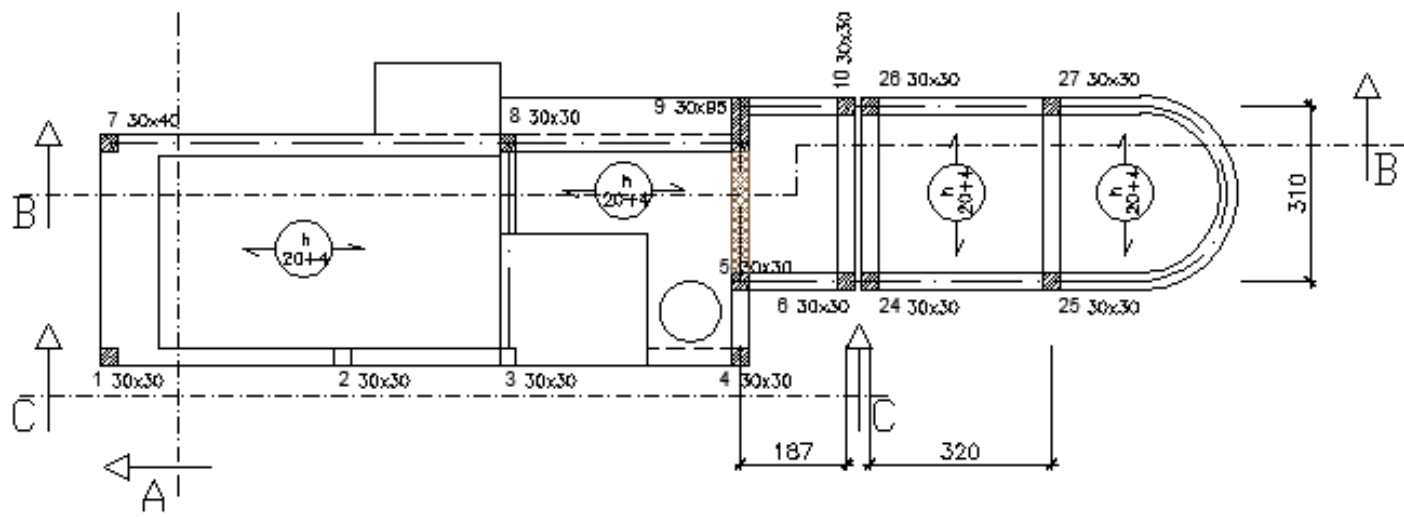














CASO STUDIO 1

Edificio Comunale C.A. e Muratura

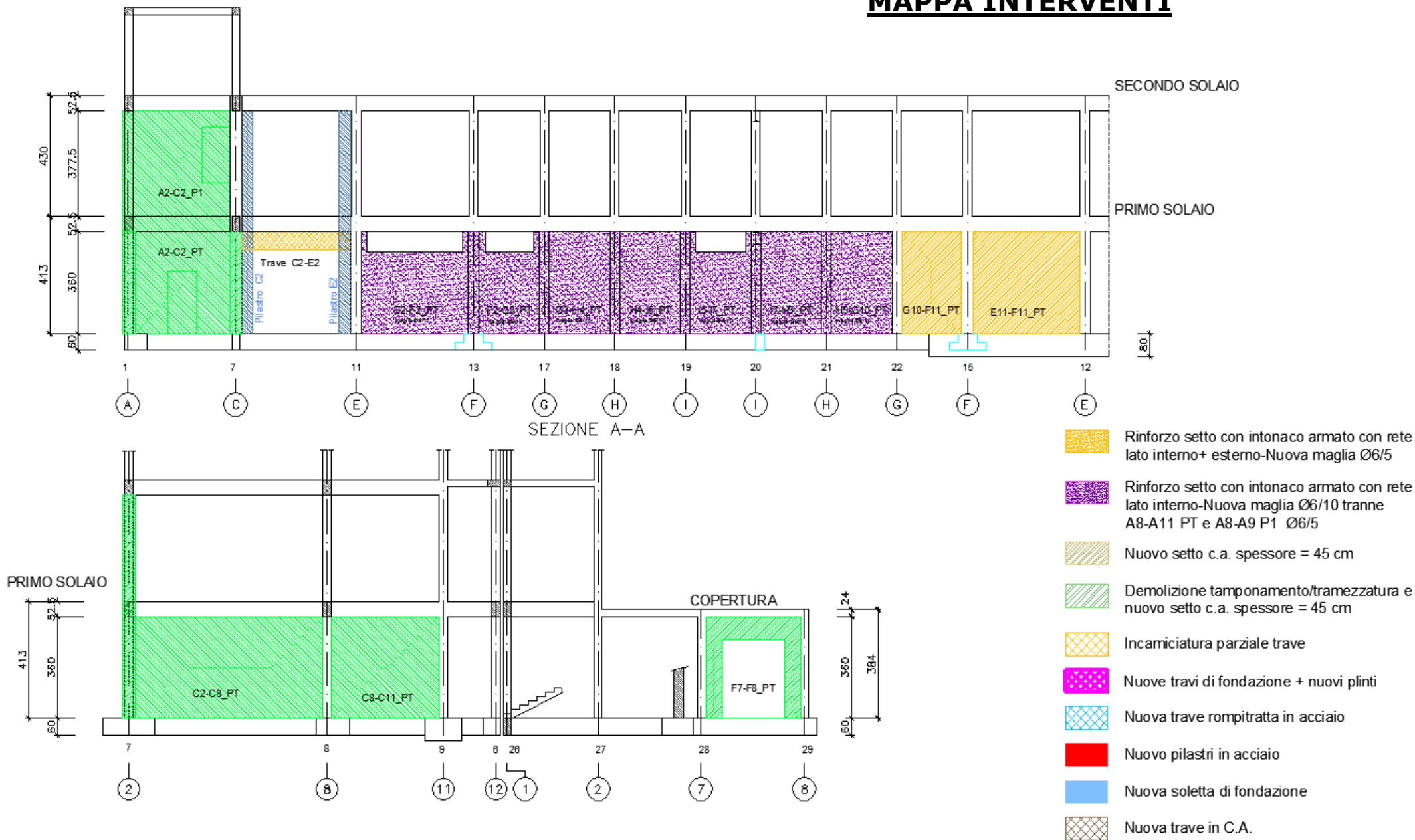
MAPPA INTERVENTI



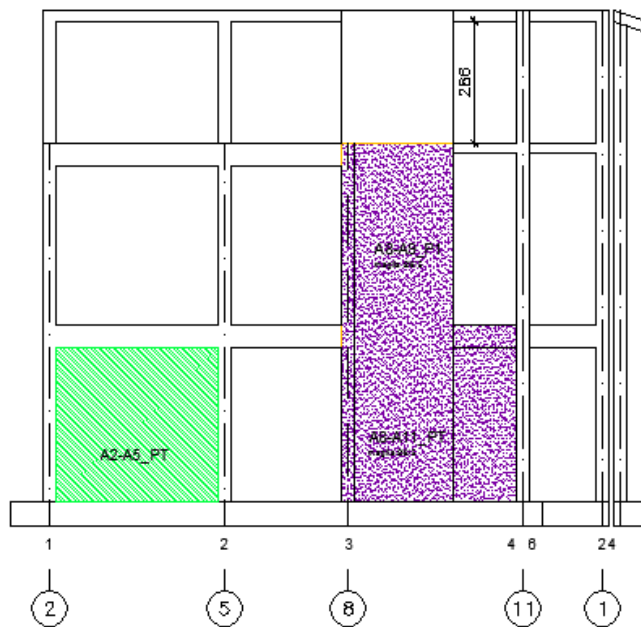
PIANTA SOFFITTO E COPERTURA SCALA

-  Rinforzo setto con intonaco armato con rete lato interno+ esterno-Nuova maglia Ø6/5
-  Rinforzo setto con intonaco armato con rete lato interno-Nuova maglia Ø6/10 tranne A8-A11 PT e A8-A9 P1 Ø6/5
-  Nuovo setto c.a. spessore = 45 cm
-  Demolizione tamponamento/tramezzatura e nuovo setto c.a. spessore = 45 cm
-  Incamiciatura parziale trave
-  Nuove travi di fondazione + nuovi plinti
-  Nuova trave rompitratta in acciaio
-  Nuovo pilastri in acciaio
-  Nuova soletta di fondazione
-  Nuova trave in C.A.

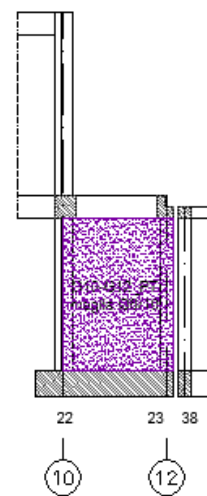
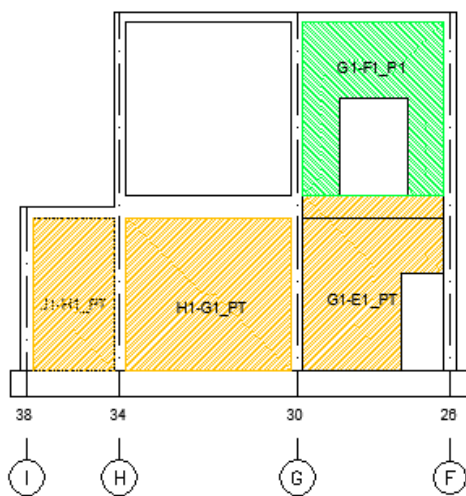
MAPPA INTERVENTI













MAPPA INTERVENTI

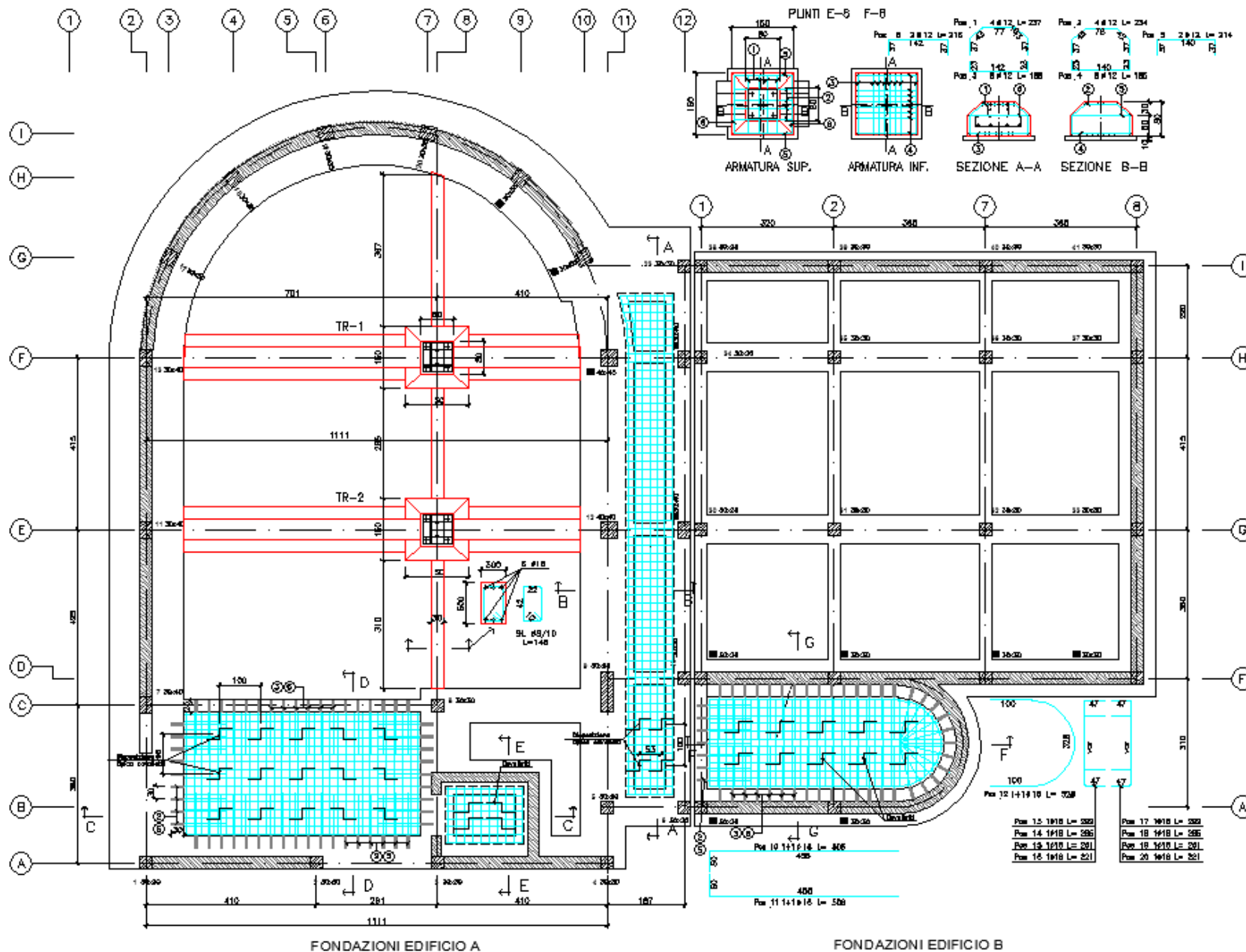


SEZIONE C-C



-  Rinforzo setto con intonaco armato con rete lato interno+ esterno-Nuova maglia Ø6/5
-  Rinforzo setto con intonaco armato con rete lato interno-Nuova maglia Ø6/10 tranne A8-A11 PT e A8-A9 P1 Ø6/5
-  Nuovo setto c.a. spessore = 45 cm
-  Demolizione tamponamento/tramezzatura e nuovo setto c.a. spessore = 45 cm
-  Incamiciatura parziale trave
-  Nuove travi di fondazione + nuovi plinti
-  Nuova trave rompitratta in acciaio
-  Nuovo pilastri in acciaio
-  Nuova soletta di fondazione
-  Nuova trave in C.A.

RINFORZO FONDAZIONI

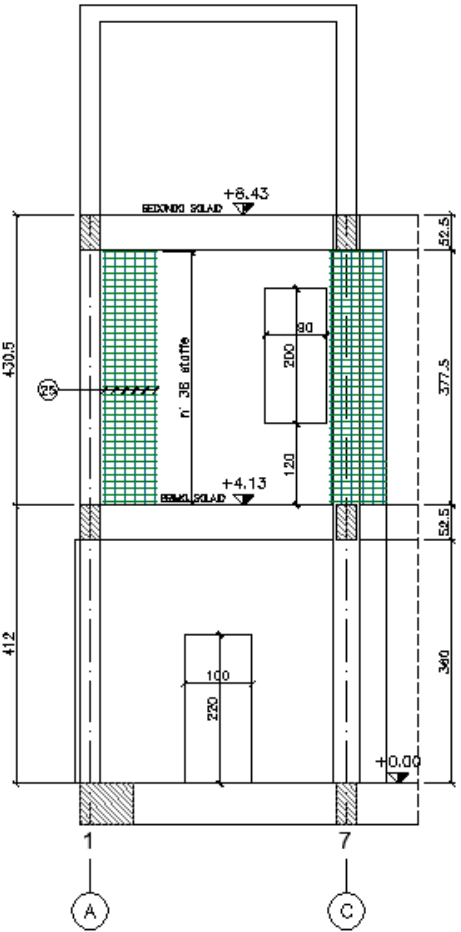




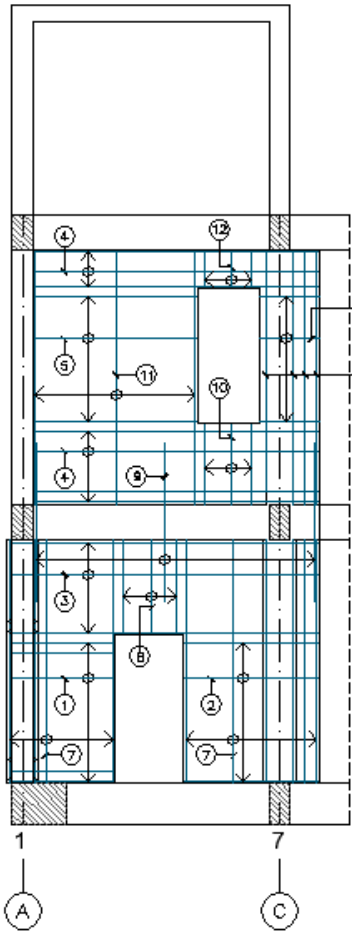
CASO STUDIO 1

Edificio Comunale C.A. e Muratura

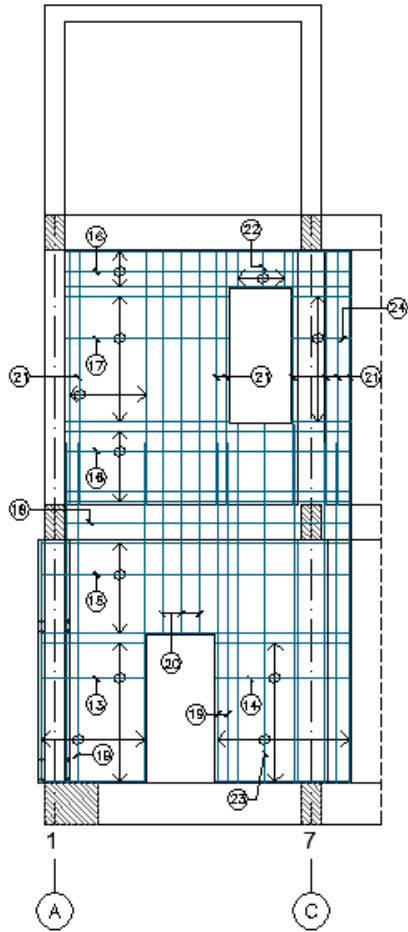
NUOVO SETTO IN C.A.



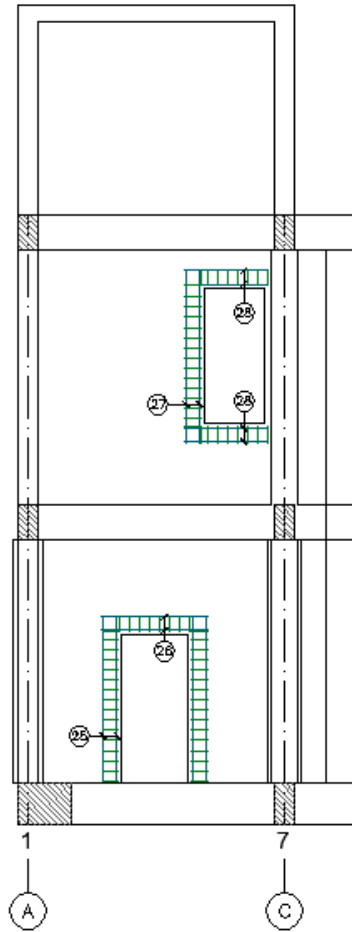
ARMATURA DI CONFINAMENTO



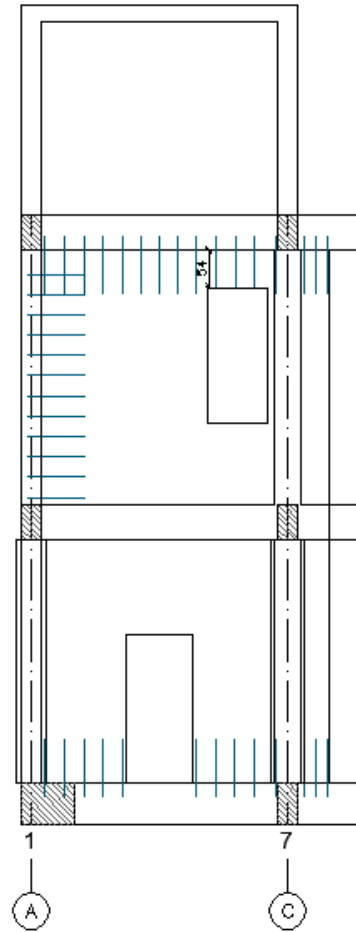
ARMATURA DIFFUSA INTERNA



ARMATURA DIFFUSA ESTERNA

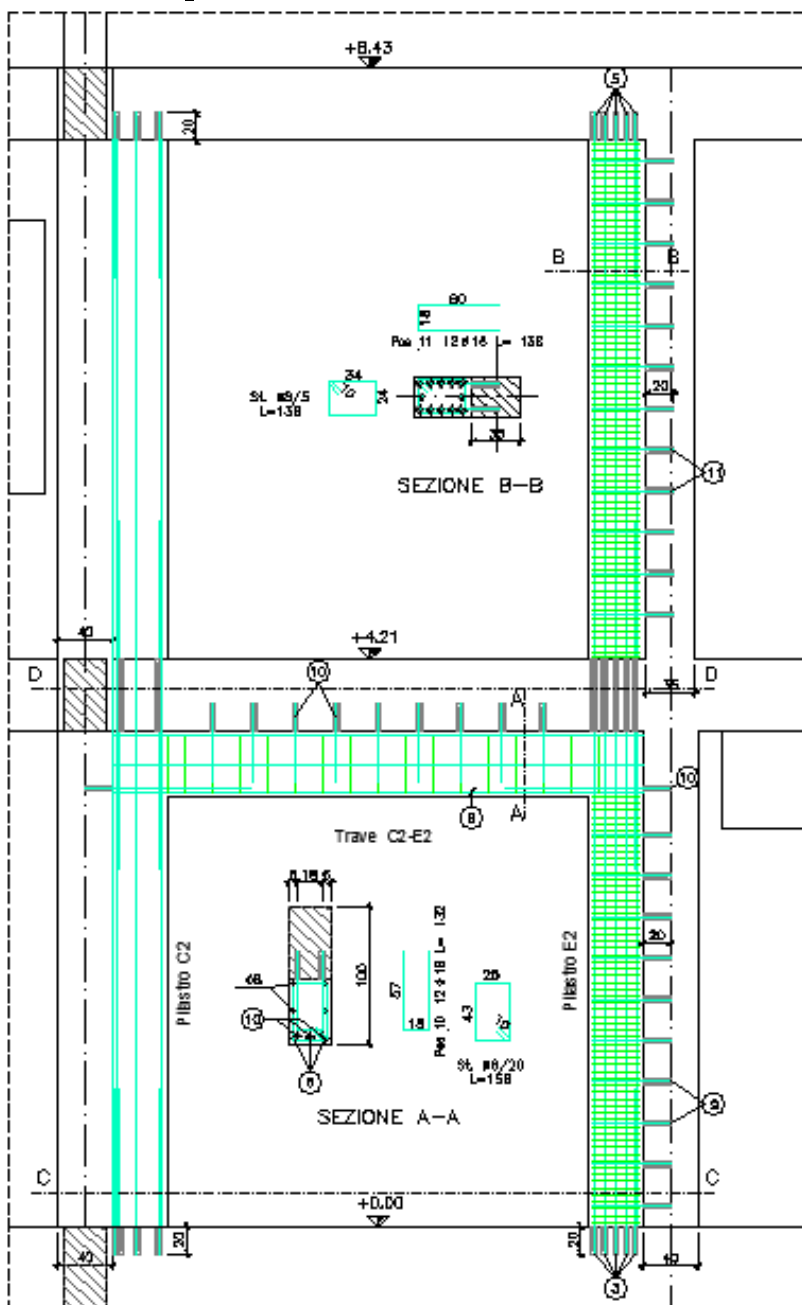


ARMATURA AGGIUNTIVA

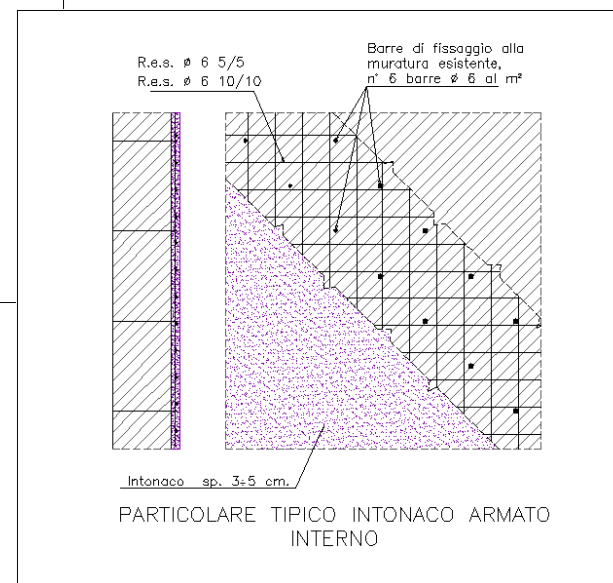
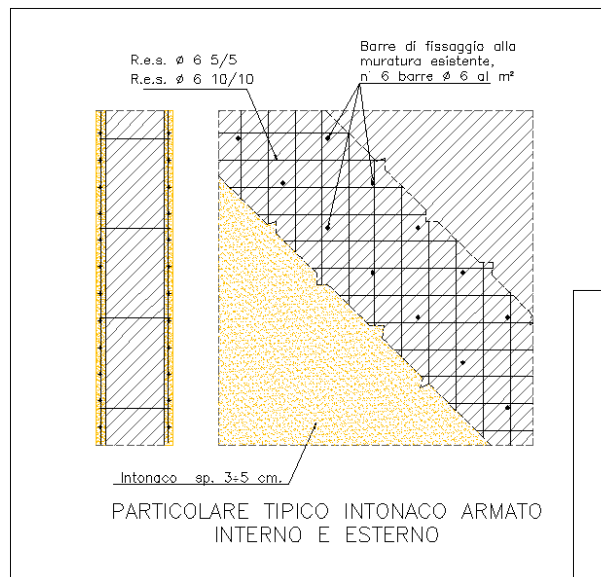


ANCORAGGI ALLA STRUTTURA ESISTENTE

INCAMICIATURA TRAVI E PILASTRI IN C.A.



INTONACO ARMATO: TIPOLOGI

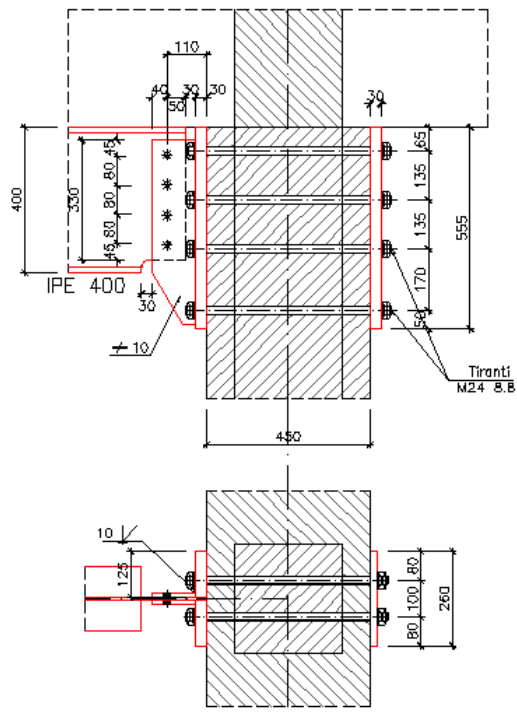
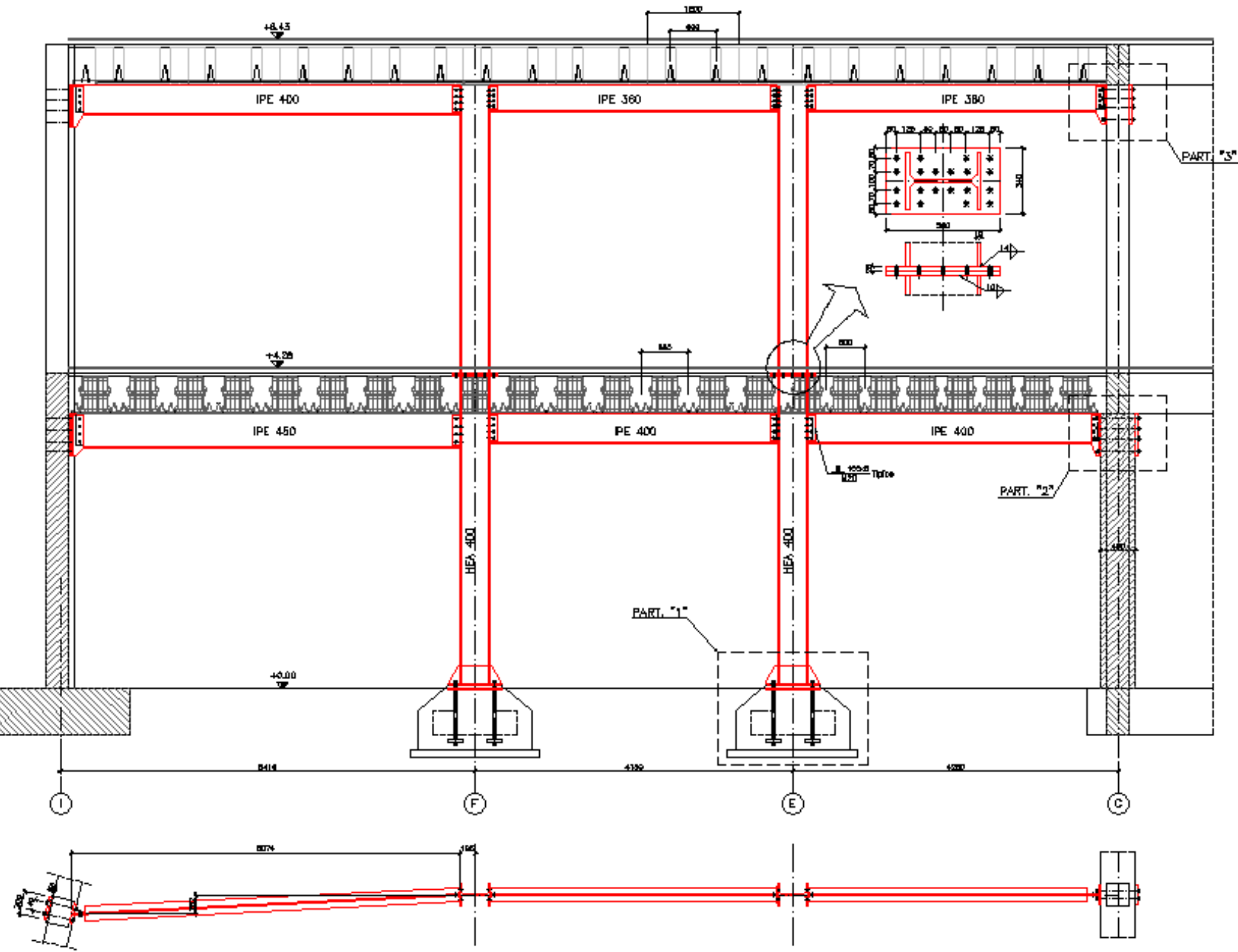




CASO STUDIO 1

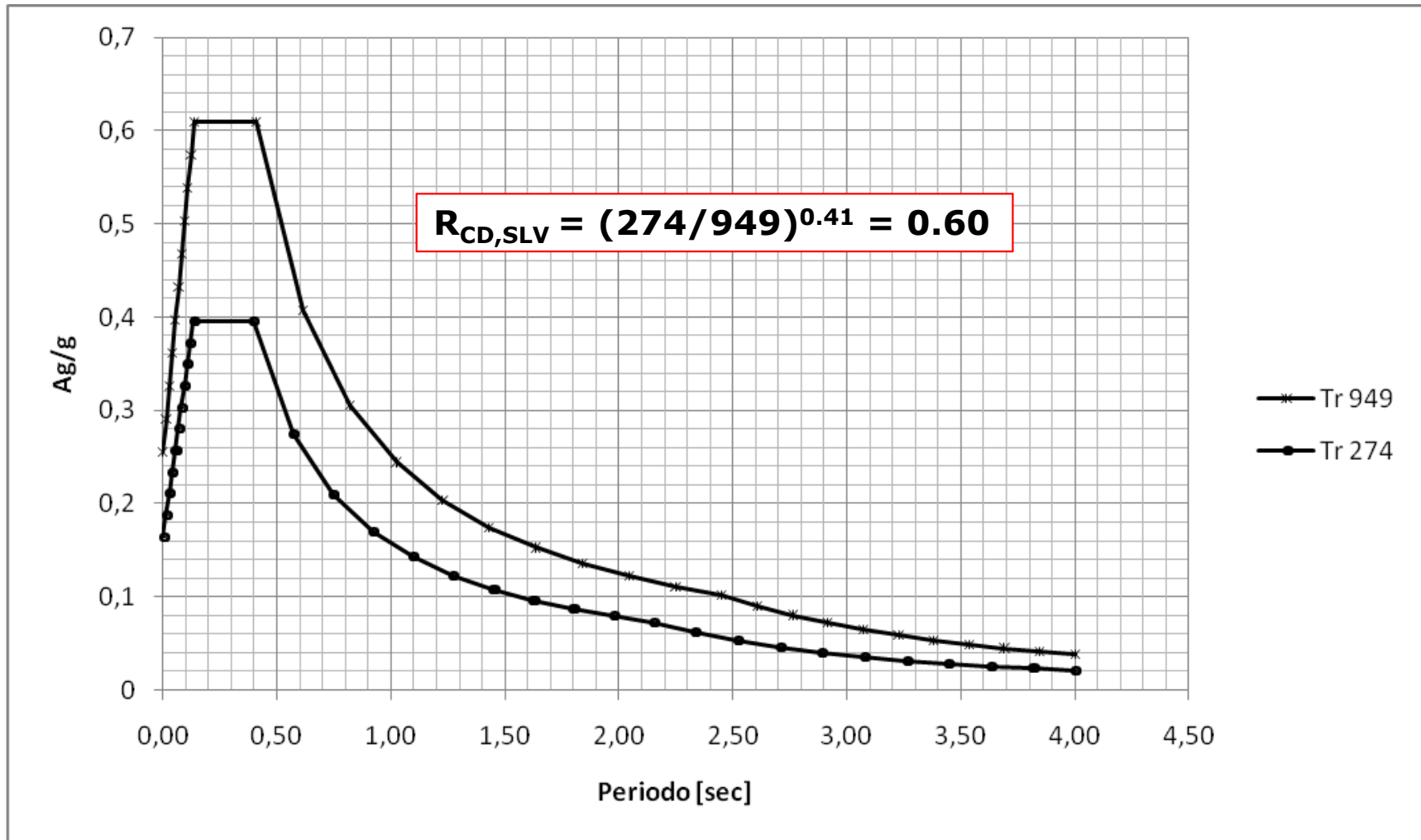
Edificio Comunale C.A. e Muratura

NUOVO TELAIO ROMPITRATTA IN ACCIAIO



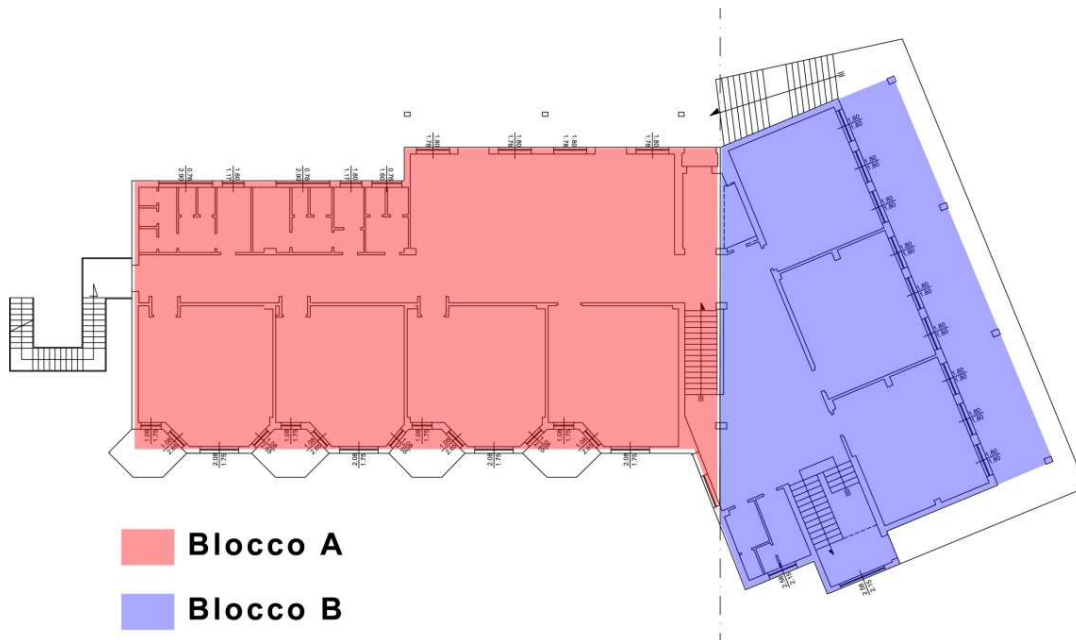


RISULTATI:
MIGLIORAMENTO / ADEGUAMENTO AL 60%



DATI PRINCIPALI

- **Periodo: 1960**
- **Edificio A e B: C.A.**
- **Edifici in adiacenza senza giunto strutturale**
- **$a_g = 0,27 g$**
- **Terreno: B**

**ASSENZA DOCUMENTAZIONE PROGETTUALE****PROGETTO SIMULATO ARMATURA – CRITERI:**

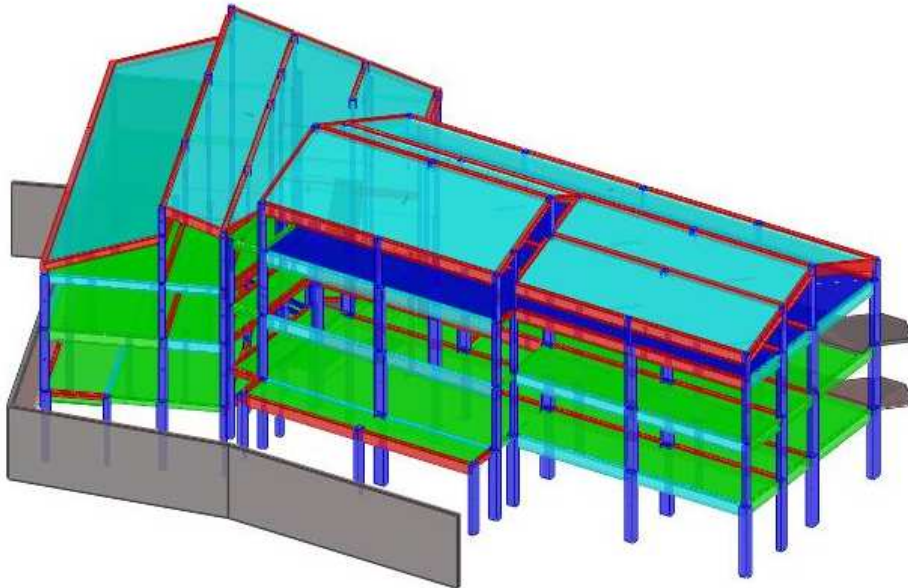
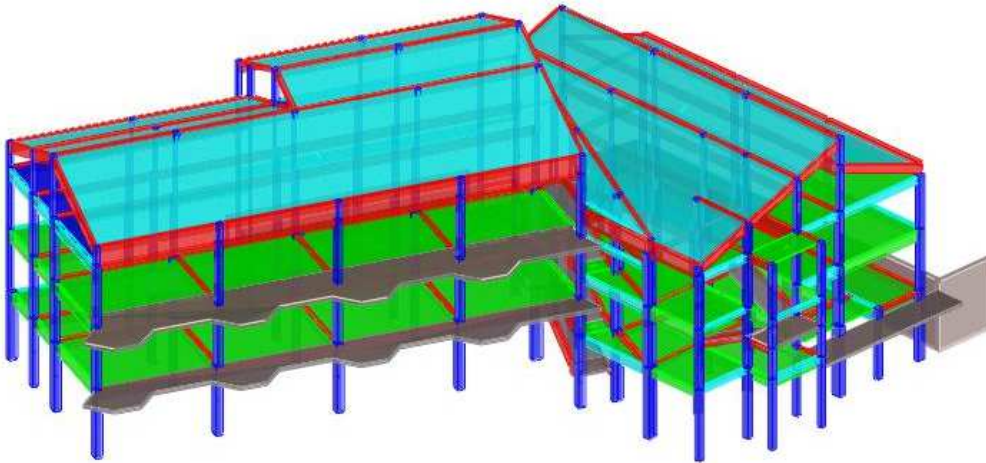
- **Regio Decreto 1939**
- **Armatura Longitudinale come da Rilievo in Sito: $\emptyset 14 - \emptyset 16 - \emptyset 18$**
- **Ferri Sagomati: 50% Taglio**
- **Analisi Carichi: Rilievo in Sito**
- **Schemi di Calcolo Travi: trave continua su più appoggi (Santarella, 1953)**
- **Armatura Travi: metodo tabellare r, t**
- **Pilastri: Compressione Semplice, Armatura Minima di Normativa Calibrata sui Rilievi in Sito**

CLS: $R_{ck} = 160 \text{ kg/cm}^2$

ARMATURA: $\sigma_{adm} = 1900 \text{ kg/cm}^2$

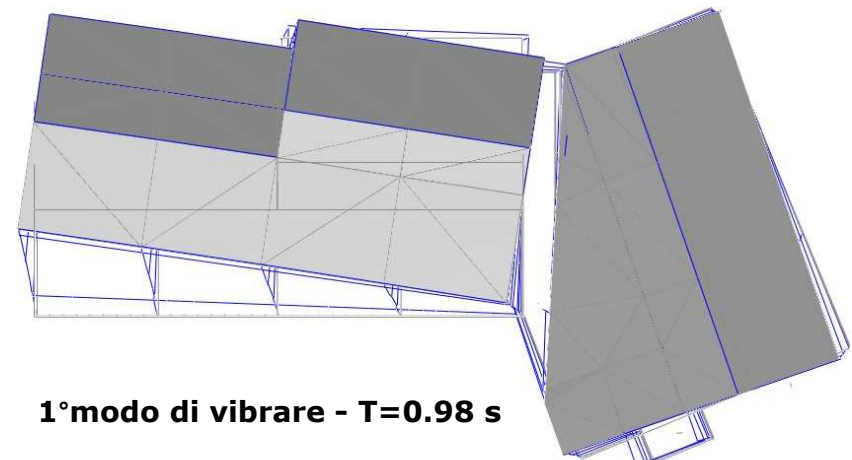
Livello di Conoscenza Limitata (LC1) : $F_c = 1.35$

EDIFICI A/B

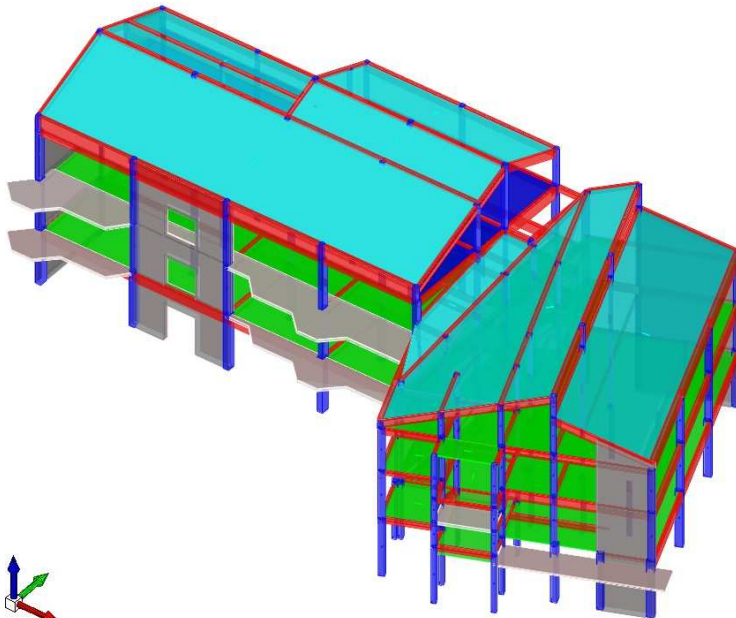
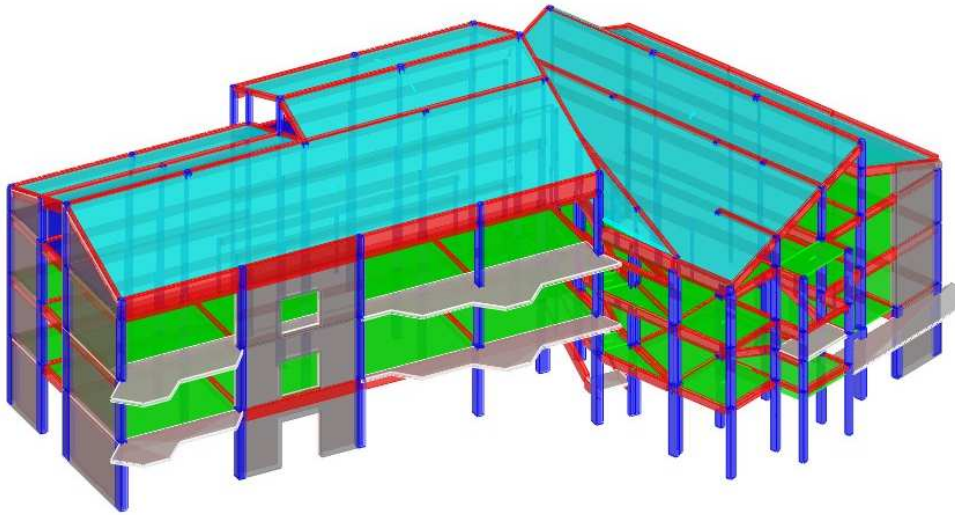


VULNERABILITA' SISMICA:

- $q = 1.5$
- SLV: $T_R = 712$ anni
- $R_{CD} = (T_{R,C}/T_{R,D})^a$ ($a = 0,41$)
- Limite inferiore periodo di ritorno 30 anni, secondo Circolare 617 del 02/02/2009;
- Crisi di resistenza (SLV) per $T_R = 30$ anni
- $R_{CD,SLV} < (30/712)^{0,41} = 0,273$



1° modo di vibrare - $T=0.98$ s



PROBLEMATICHE:

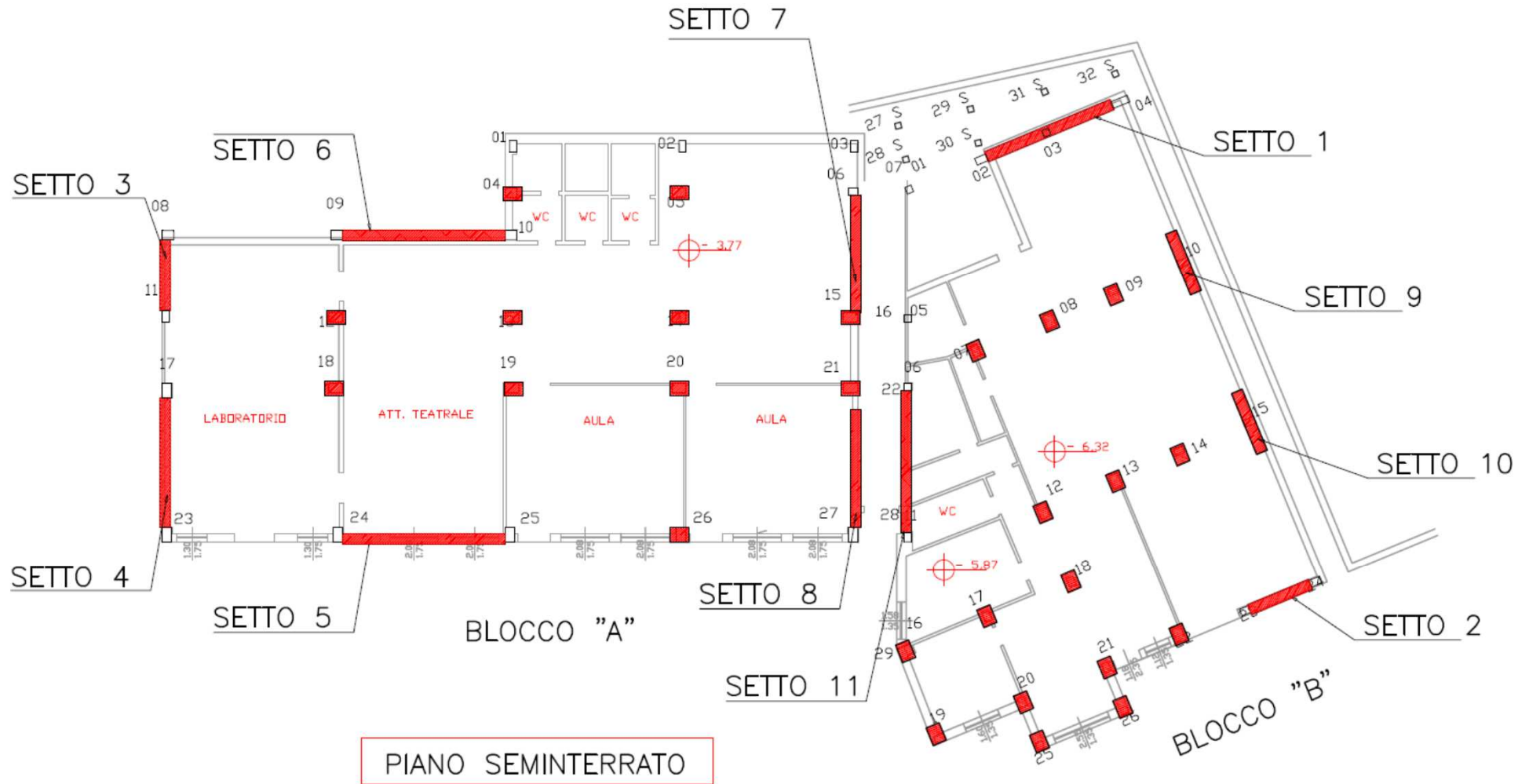
- **Eccessiva Deformabilità Struttura**
- **Effetti Torsionali Rilevanti**
- **Mancanza Sistema Resistente alle Azioni Orizzontali in direzione ortogonale ai Telai**

INTERVENTI ADEGUAMENTO:

1. **Realizzazione di setti in cemento armato in alcune maglie dei telai esistenti**
2. **Demolizione della zona di connessione tra il blocco A e B in modo da pervenire a strutture indipendenti**
3. **Incamiciatura dei pilastri più sollecitati**
4. **Interventi di rinforzo sulle travi**
5. **Nuovo sistema di fondazione**

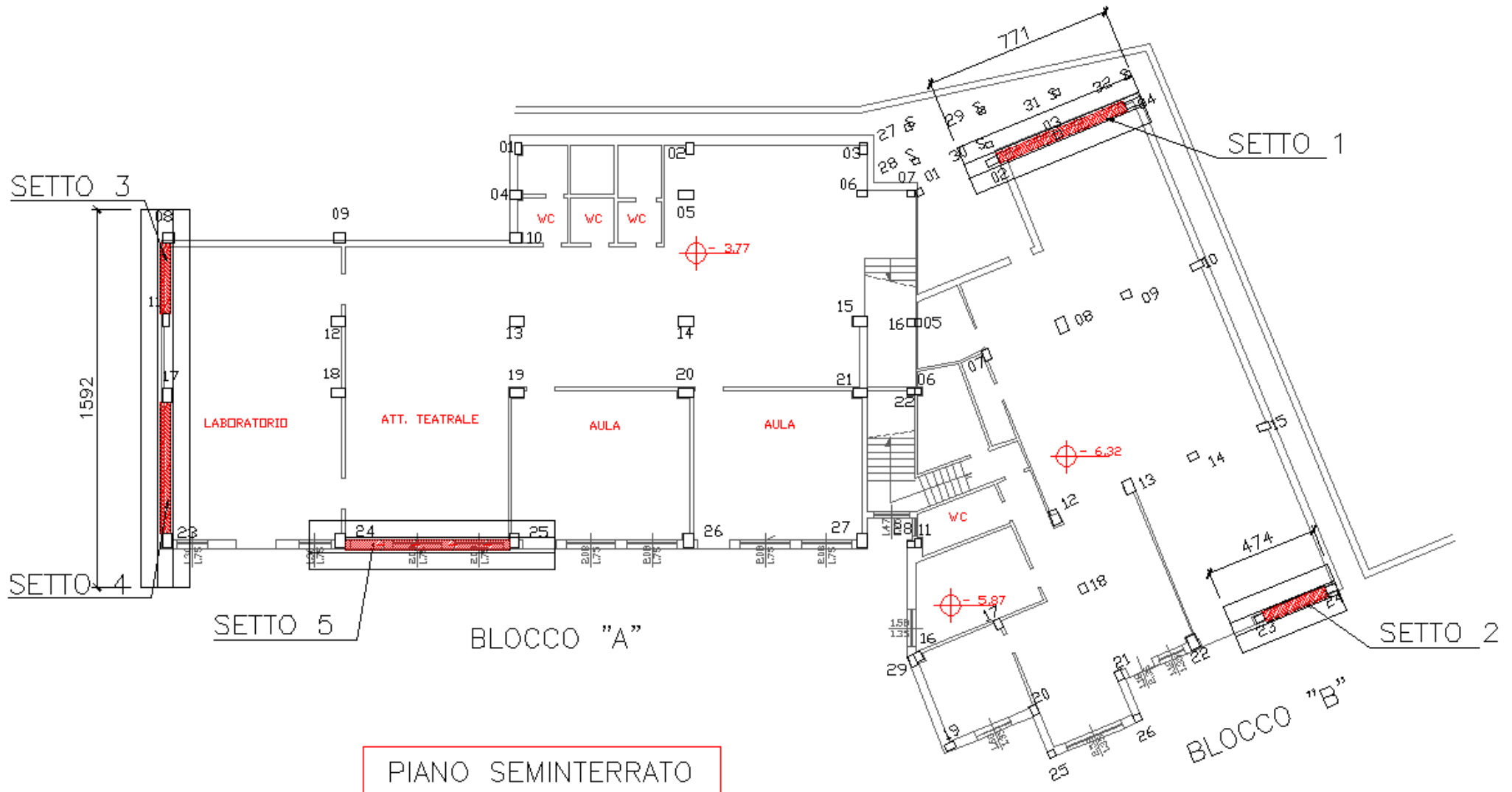


MAPPA INTERVENTI ADEGUAMENTO



MAPPA INTERVENTI MIGLIORAMENTO

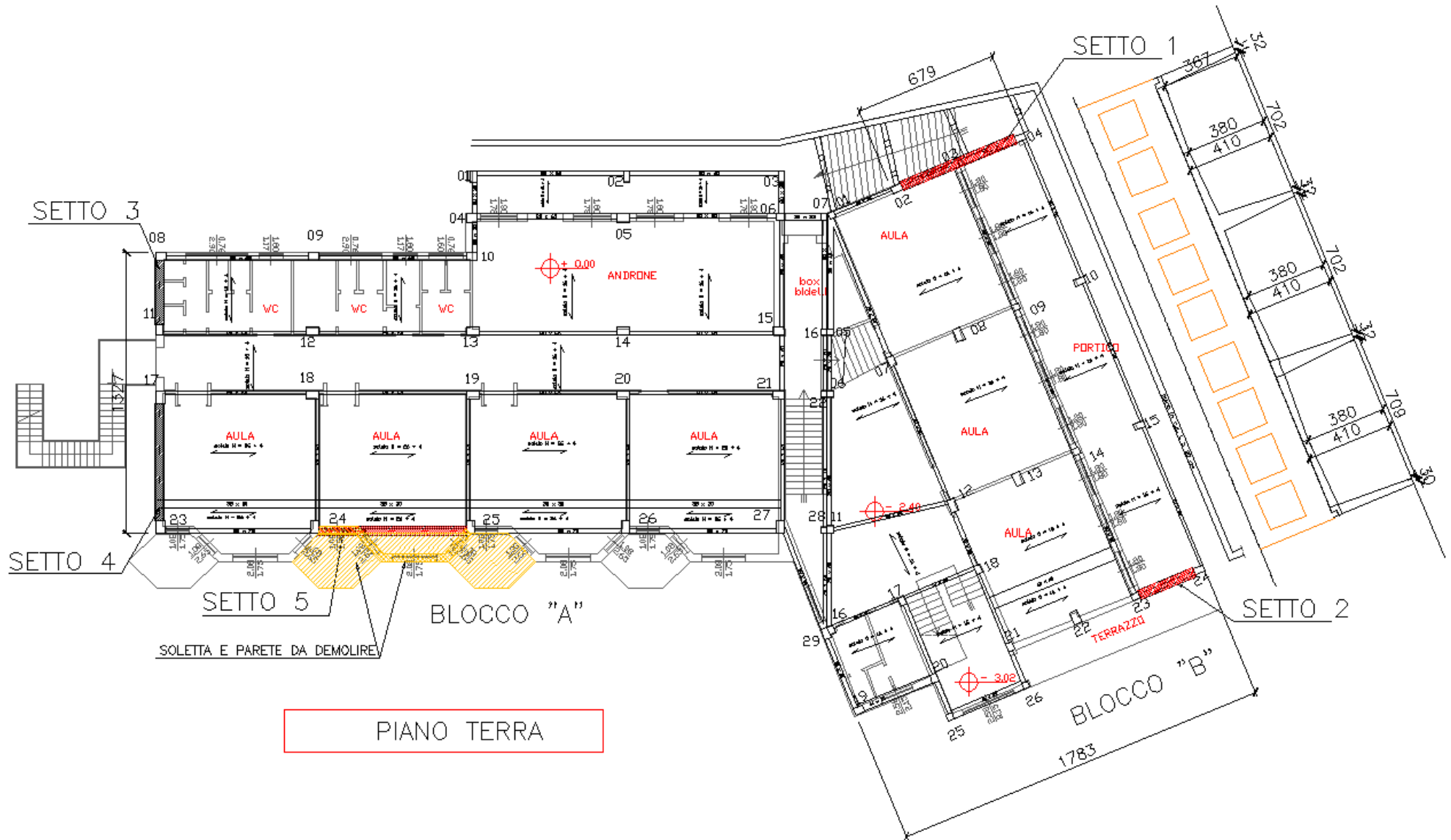
Interventi Limitati





MAPPA INTERVENTI MIGLIORAMENTO

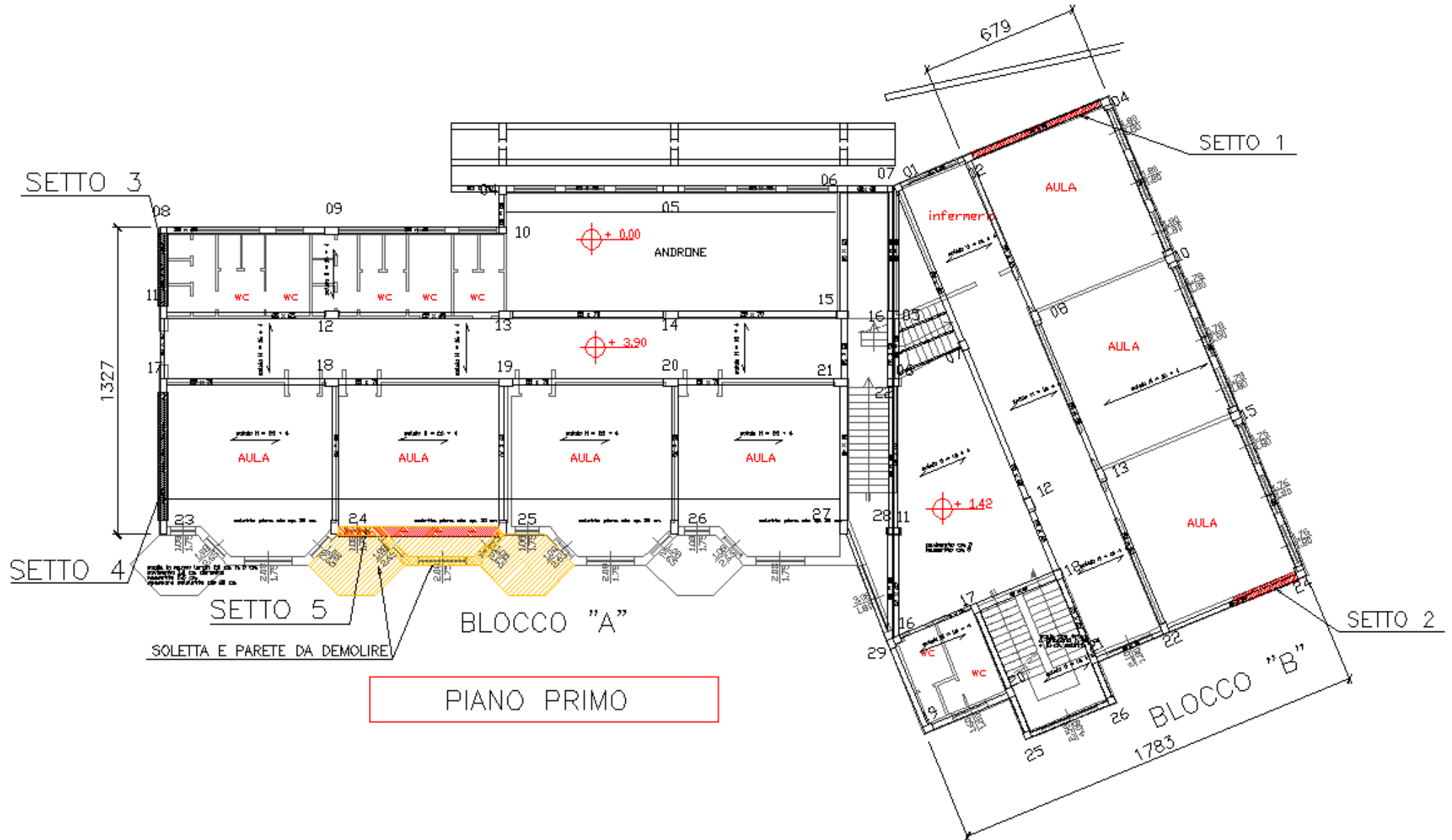
Interventi Limitati





MAPPA INTERVENTI MIGLIORAMENTO

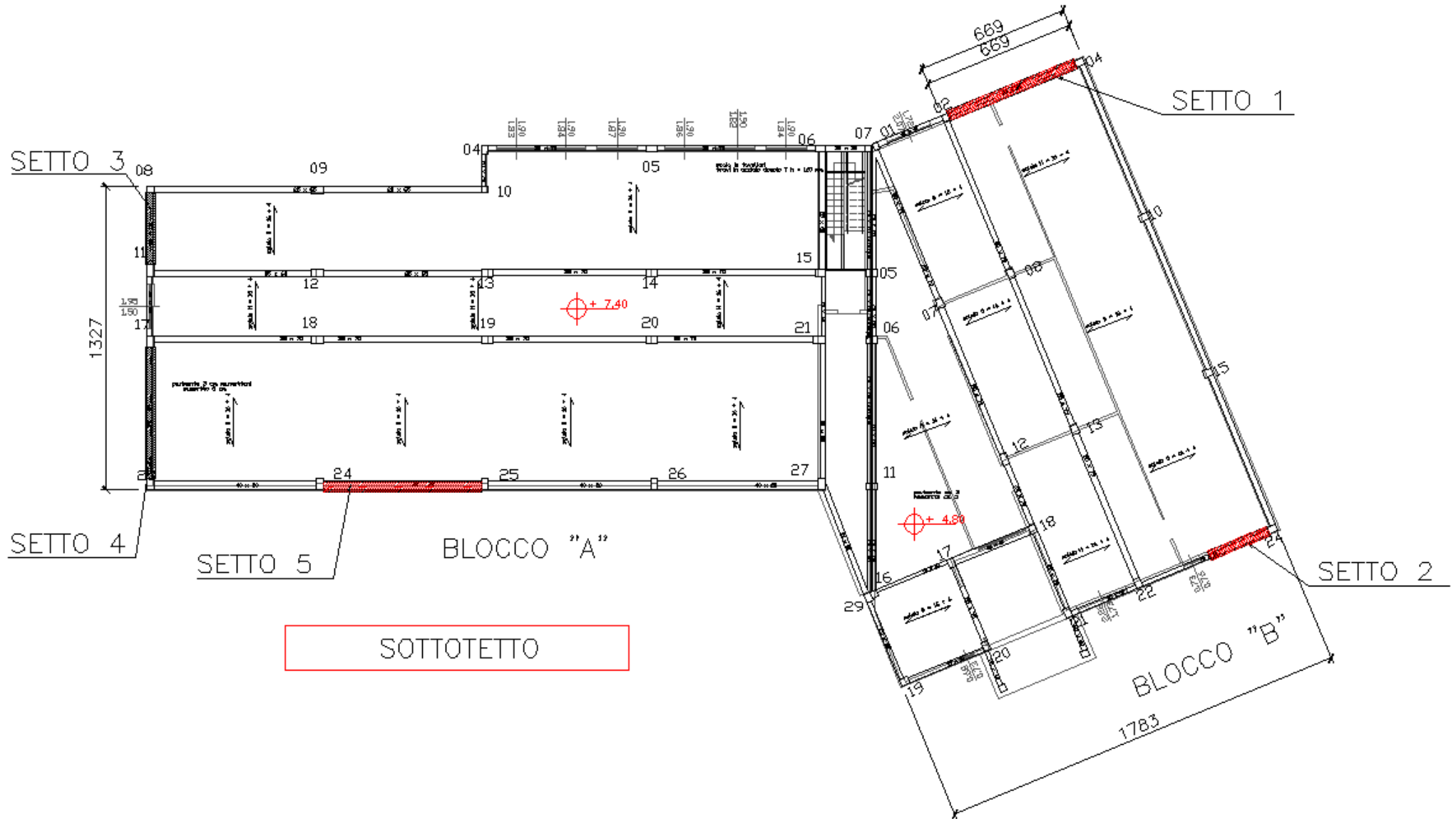
Interventi Limitati





MAPPA INTERVENTI MIGLIORAMENTO

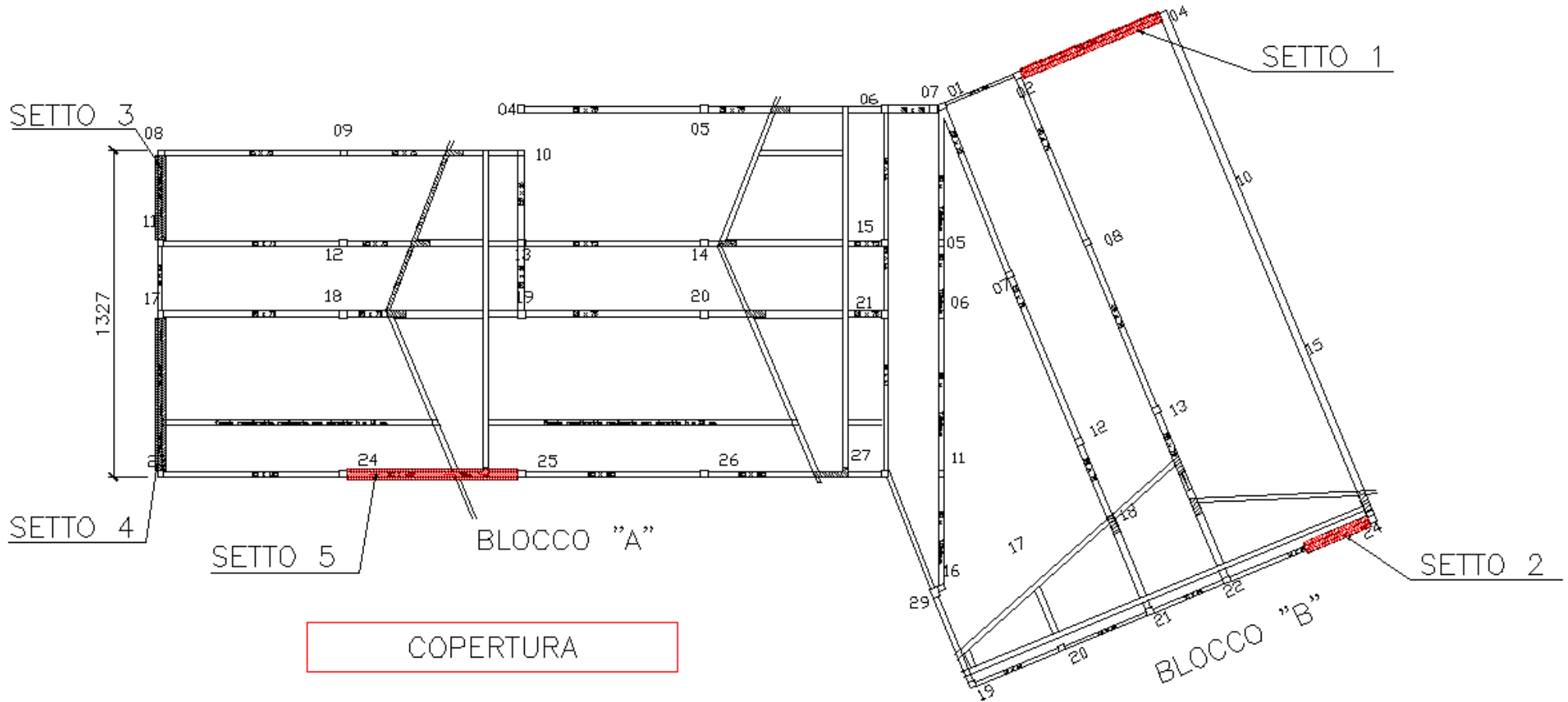
Interventi Limitati





MAPPA INTERVENTI MIGLIORAMENTO

Interventi Limitati

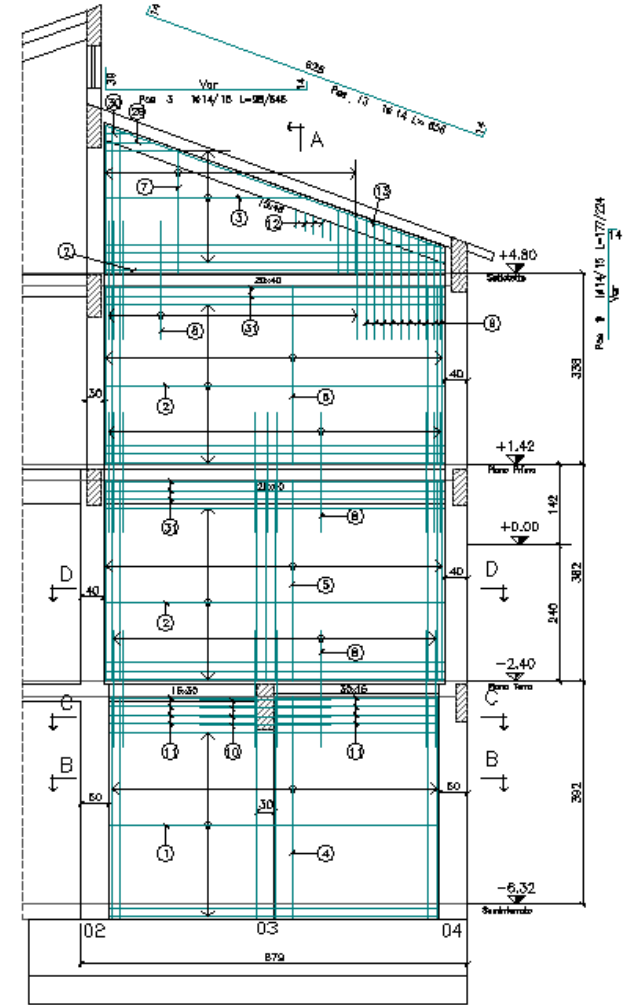
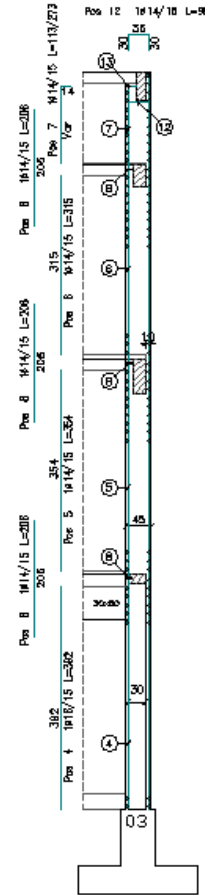
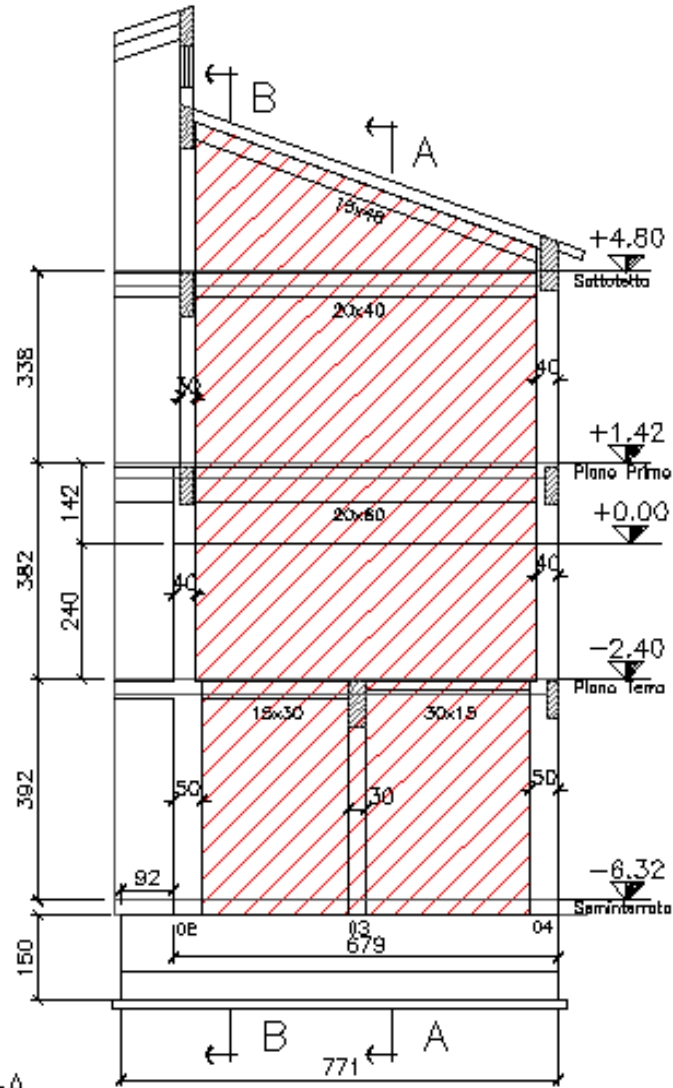
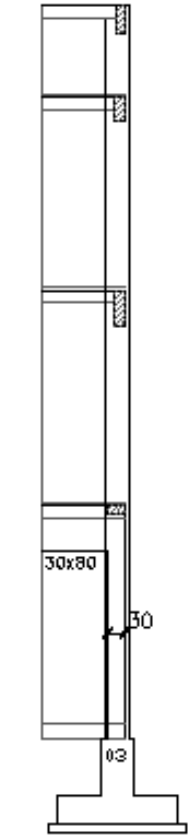
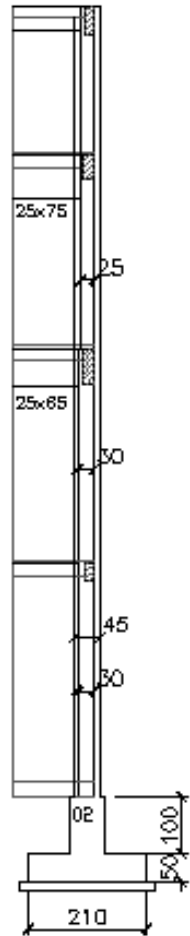




CASO STUDIO 2

Edificio Scolastico C.A.

SETTO TIPO 1



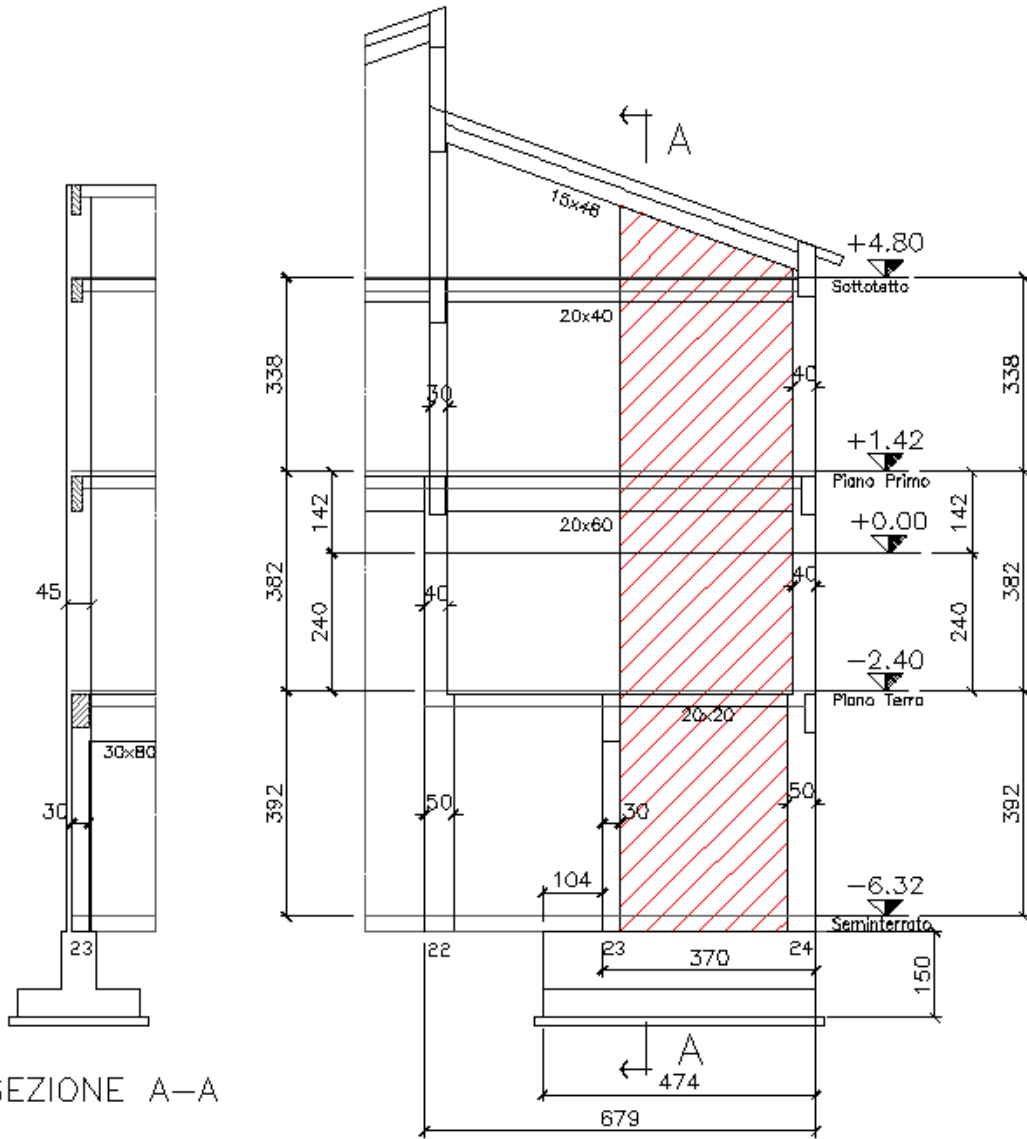
SETTO 1
Scala 1:100



CASO STUDIO 2

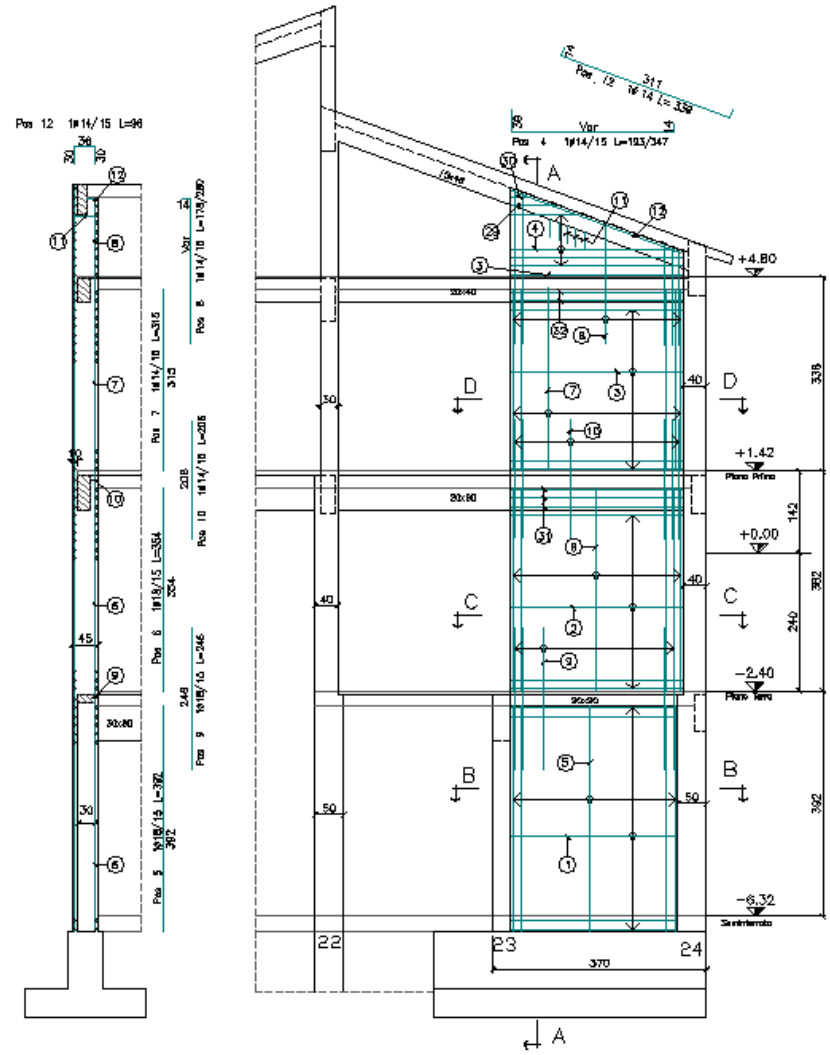
Edificio Scolastico C.A.

SETTO TIPO 2



SEZIONE A-A

SETTO 2
Scala 1:100



SEZIONE A-A

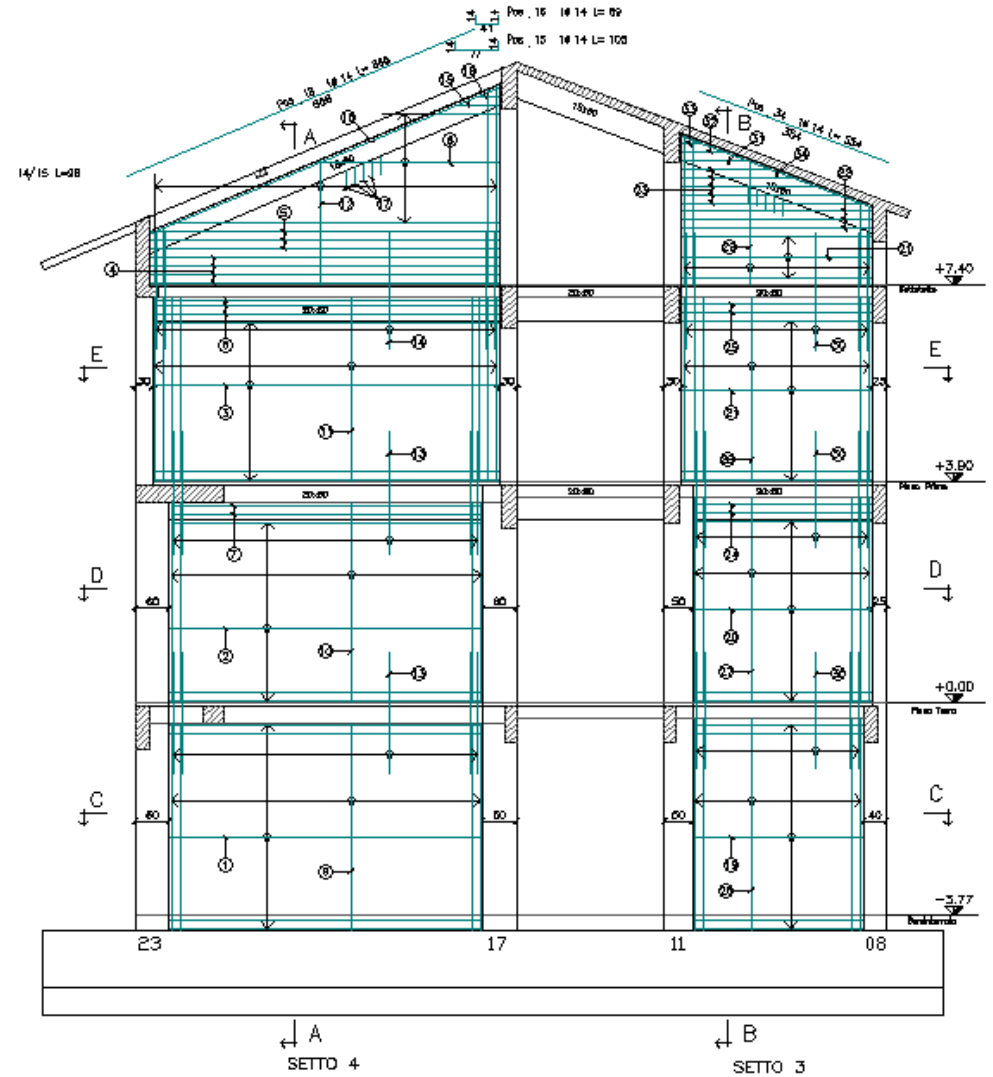
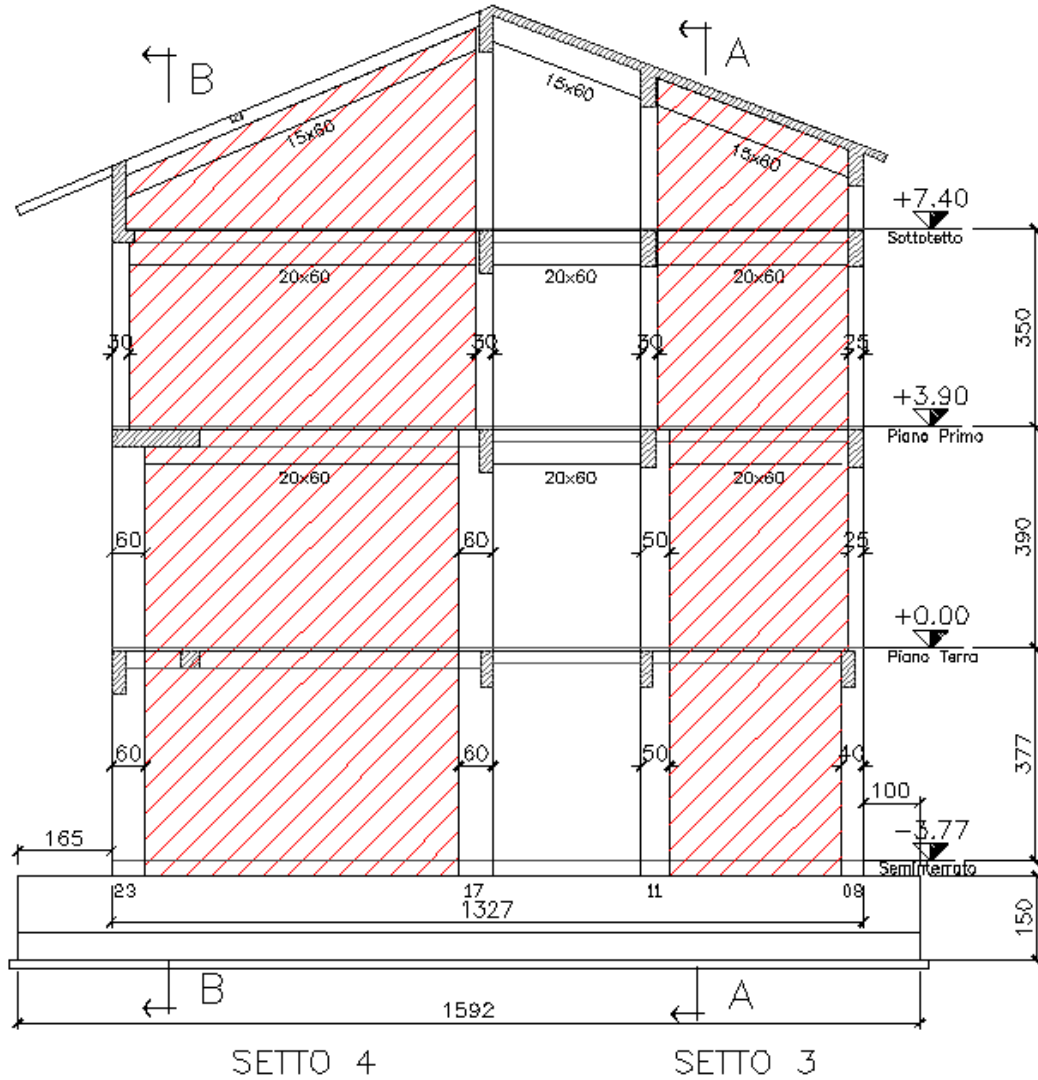
ARMATURA DIFFUSA INTERNA



CASO STUDIO 2

Edificio Scolastico C.A.

SETTO TIPO 3 e 4



SETTI 3 E 4
ARMATURA DIFFUSA INTERNA

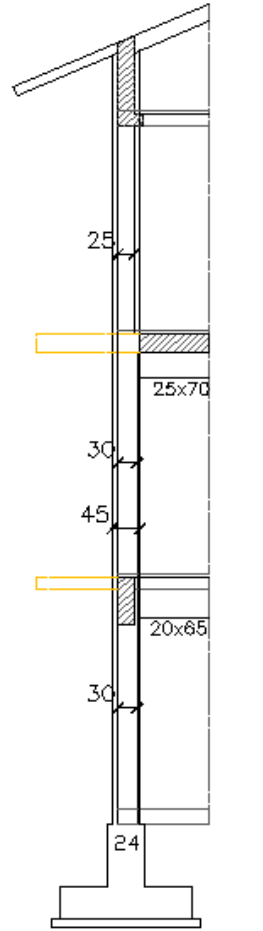
SETTI 3 E 4
Scala 1:100



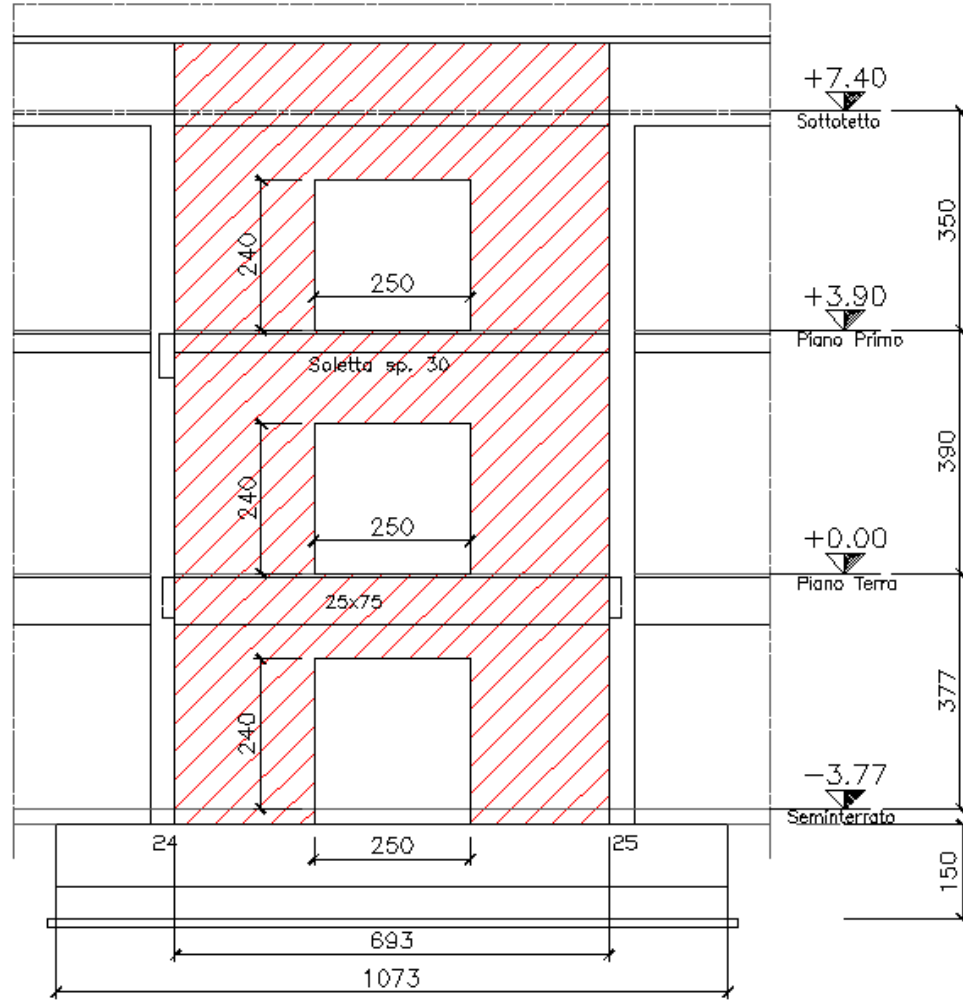
CASO STUDIO 2

Edificio Scolastico C.A.

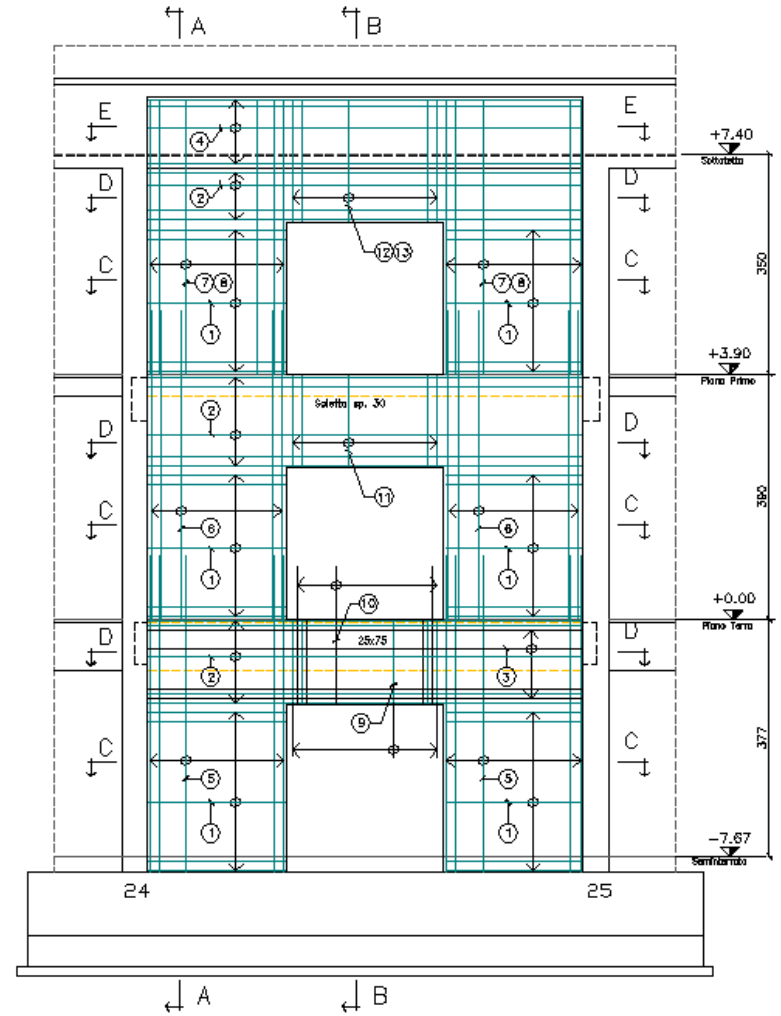
SETTO TIPO 5



SEZIONE A-A

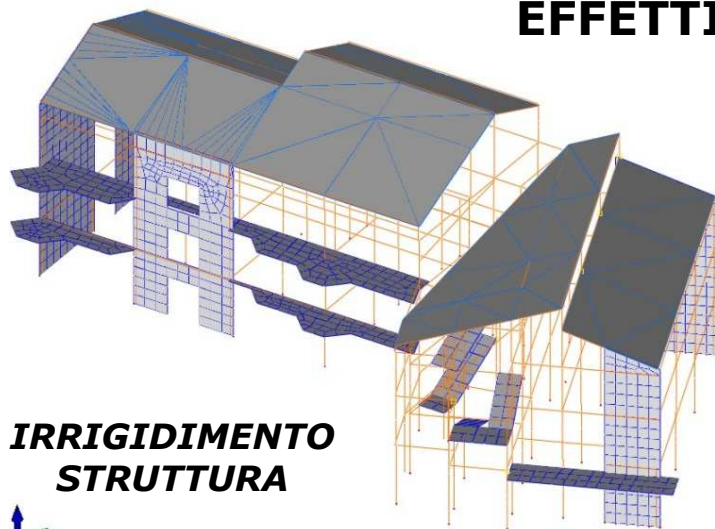


SETTO 5
Scala 1:100

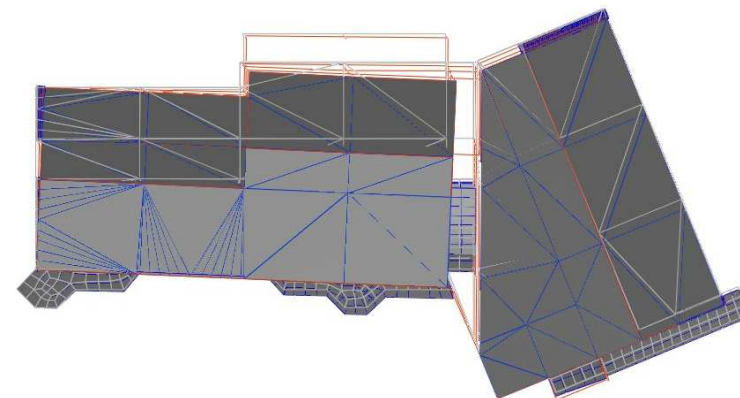
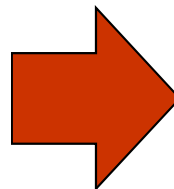


ARMATURA DIFFUSA

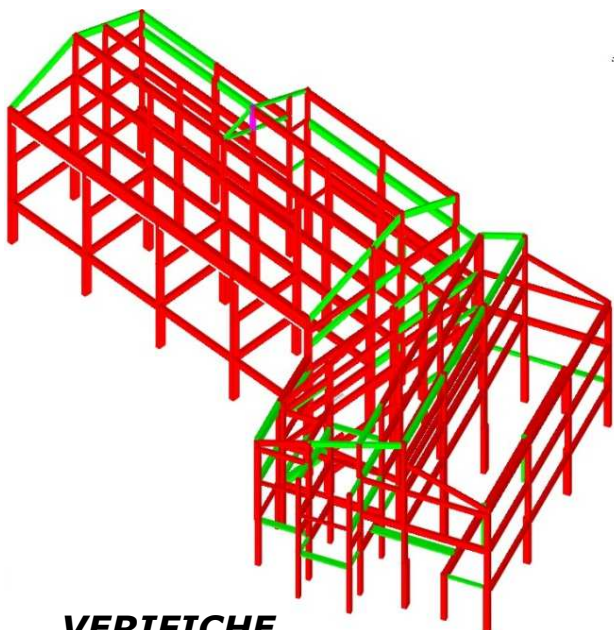
EFFETTI INTERVENTO MIGLIORAMENTO:



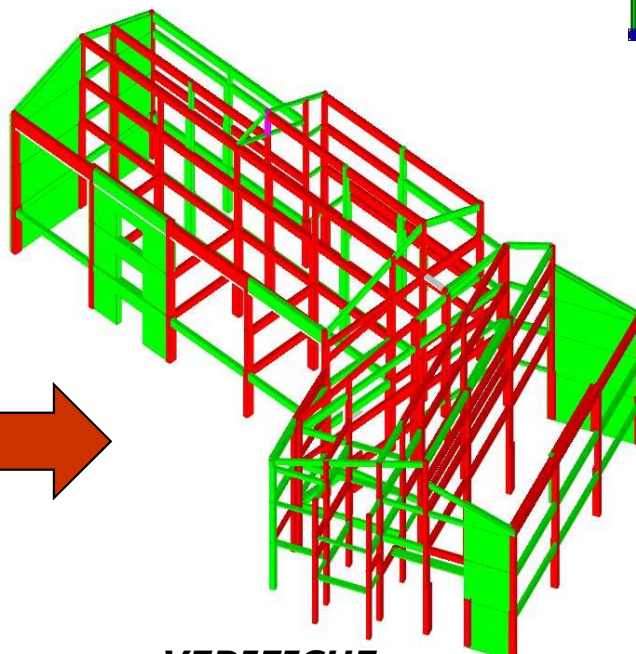
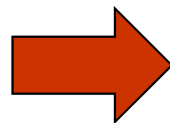
VARIAZIONE MODI PROPRI



1° modo di vibrare - $T=0.59$ s (0.98 S)



VERIFICHE PRE-INTERVENTO



VERIFICHE POST-INTERVENTO

RISULTATI ($T_R = 30$ anni):

- Regolarizzazione dei Modi Propri
- Diminuzione degli Effetti Torsionali
- Diminuzione Stato Sollecitazione sugli Elementi Strutturali Esistenti
- Diminuzione Elementi non Verificati
- $R_{CD,SLV} < (30/712)^{0,41} = 0,273$



MIGLIORAMENTO SISMICO

DATI PRINCIPALI

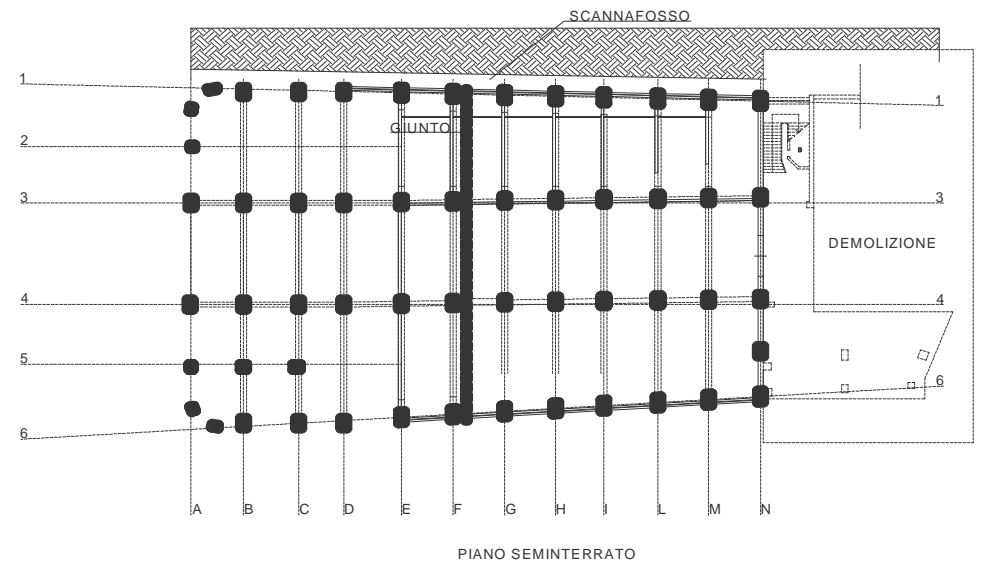
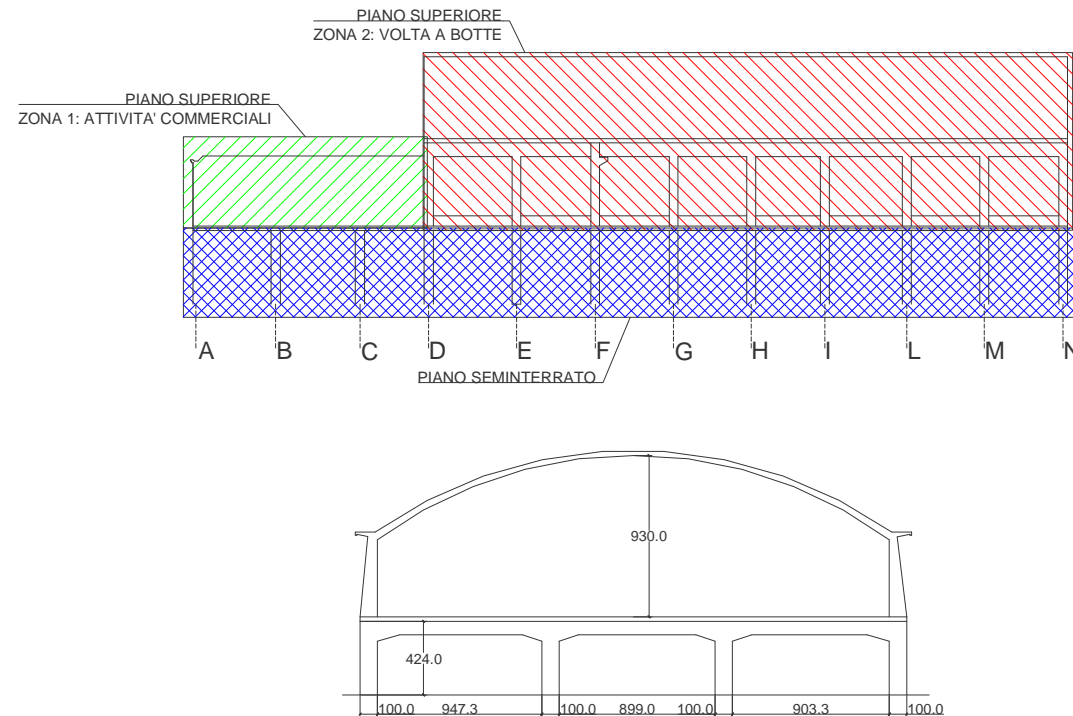
- **Periodo: 1920-30**
- **Edificio in C.A. frutto di Sopraelevazioni a partire dal Piano Semi-interrato**
- **Volta a Botte costituita da Conci Prefabbricati in Laterizio tipo SAP e Catene**
- **$a_g = 0,17 g$**
- **Terreno: B**

ASSENZA DOCUMENTAZIONE PROGETTUALE

RILIEVO COMPLETO GEOMETRIA ED ARMATURE:

- **Calcestruzzo: Prelievo Campioni**
- **Armature: Rilievo Diametri, Posizioni, Passo**
- **Armature: Rilievo Stato Degrado**
- **Volta: Saggi Armature e Rilievo Stato Degrado**
- **Fondazioni: Rilievo Geometria ed Armature**

Livello di Conoscenza Adeguata (LC2) : $F_c = 1.20$





CASO STUDIO 3

Edificio Commerciale C.A.

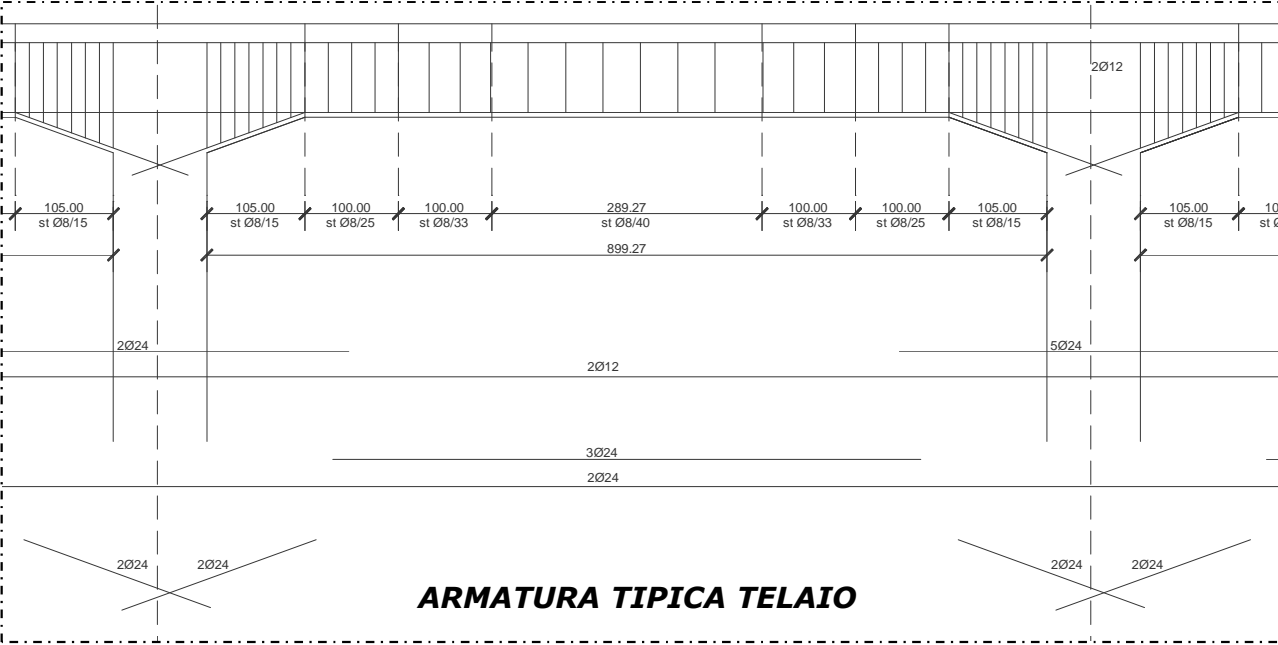
PILASTRI: SAGGI

TRAVI: SAGGI

RILIEVO ARMATURA



DETTAGLIO: ASSENZA RIPRESA GETTO



ARMATURA TIPICA TELAIO

FONDAZIONI: SAGGI



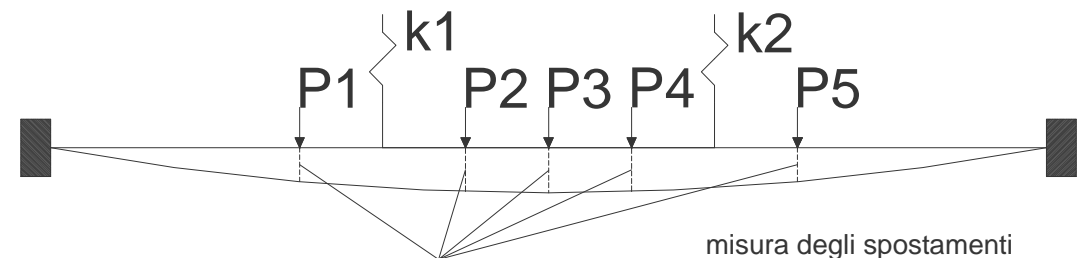
- **Plinti Isolati: Rilievo Geometria**
- **Assenza Armature Superficiali**
- **Circolare n°617 del 2/2/2009: verifiche fondazioni esistenti possono essere omesse se non alterato lo schema strutturale e/o i carichi**
- **Nessun Saggio in Profondità**

CATENE: RILIEVO STATO DI TIRO



PROVA SPERIMENTALE:

- **Carico Esploratore / Spostamenti Catena**
- **Stima Rigidezza Pendini e Tiro Catena (~18 kN)**
- **Tiro Indotto dal Peso Proprio Volta**





CASO STUDIO 3

Edificio Commerciale C.A.

VOLTA: SAGGI

RILIEVO ARMATURA



RILIEVO DEGRADO

CALCESTRUZZO: CAMPIONI



RESISTENZA: "Programma Regione Toscana Vulnerabilità Sismica edifici in Cemento Armato (VSCA)"

Piano Interrato: $R_{media} = 23.6 \text{ MPa}$; $R_{max} = 28.4 \text{ MPa}$; $R_{min} = 18.5 \text{ MPa}$

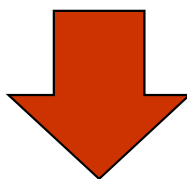
Piano Terra: $R_{media} = 18.2 \text{ MPa}$; $R_{max} = 28.4 \text{ MPa}$; $R_{min} = 10.1 \text{ MPa}$

Piano Primo: $R_{media} = 15.2 \text{ MPa}$; $R_{max} = 22.3 \text{ MPa}$; $R_{min} = 6.1 \text{ MPa}$

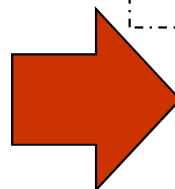
RISULTATI RILIEVI IN SITO

PRINCIPALI PROBLEMATICHE:

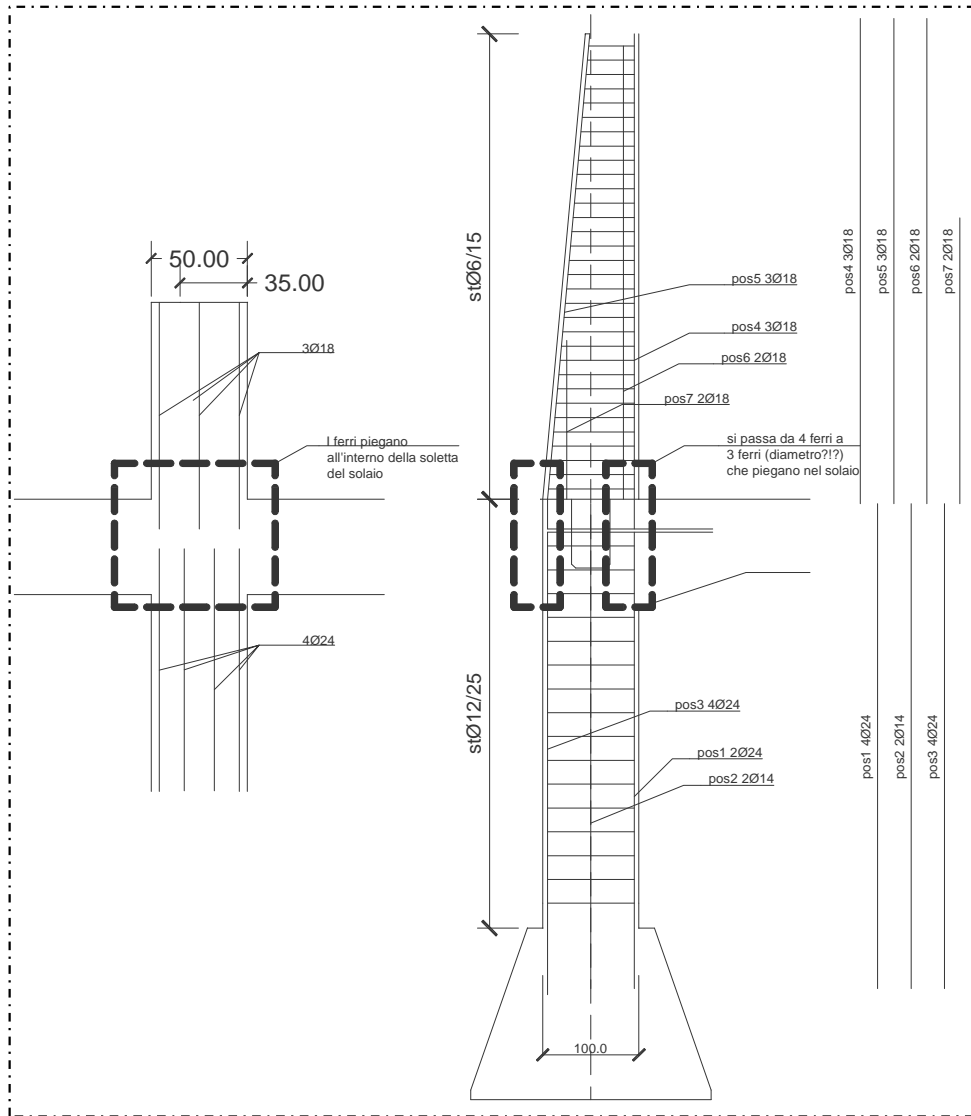
- **Volta: Diffuso Stato di degrado**
- **Catene: Scarso Grado di Tensionamento**
- **Elementi Strutturali Perimetrali: Diffusa espulsione del copriferro e corrosione delle armature**
- **Pilastri: mancanza di continuità strutturale nelle zone di interfaccia tra i corpi di epoca differente**
- **CLS: scarsa qualità al piano superiore**



NECESSITA' DI UNA SERIE MINIMA DI INTERVENTI PER GARANTIRE IL FUNZIONAMENTO STATICO DELLA STRUTTURA



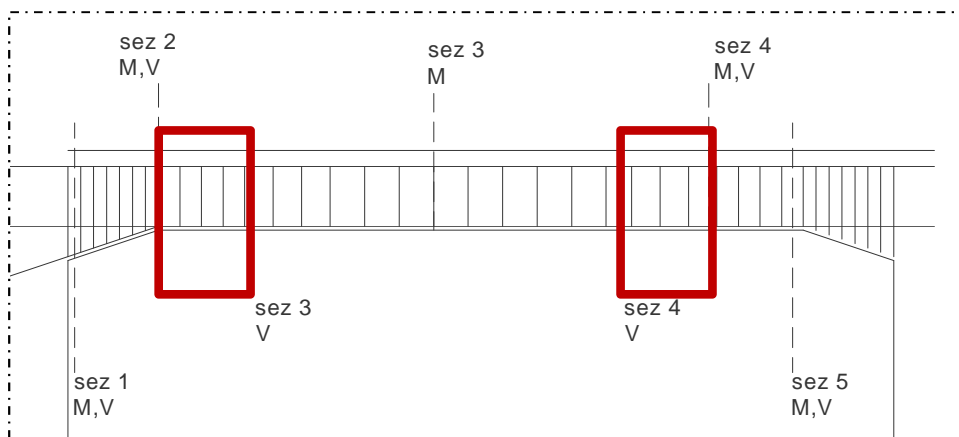
ANALISI STATICA / VULNERABILITA' SISMICA



ANALISI STATICA

PRINCIPALI PROBLEMATICHE:

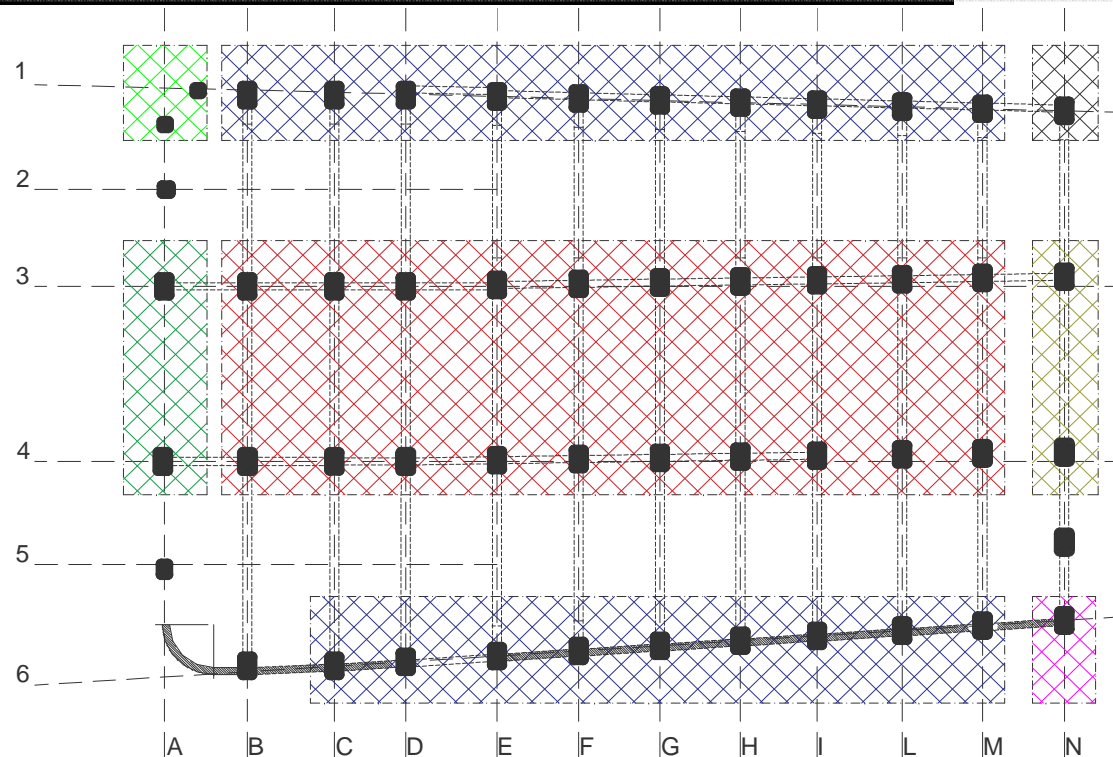
- **TRAVI PIANO SEMINTERRATO:** Superamento Resistenza a Taglio Zona Centrale
- **PILASTRI:** Elevata Spinta Volta, per scarsa efficienza catene. Insufficiente resistenza flessionale ed a taglio dei pilastri perimetrali a sostegno della volta



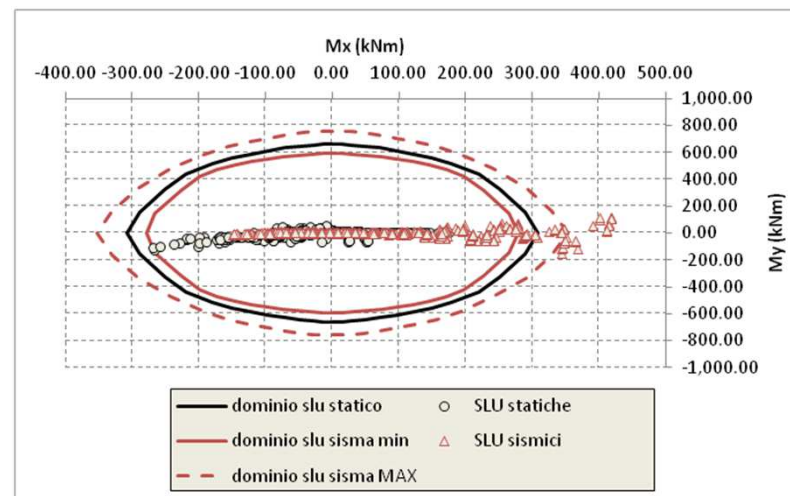
ANALISI VULNERABILITA' SISMICA

PRINCIPALI PROBLEMATICHE:

- **PILASTRI PERIMETRALI:** Insufficiente resistenza flessionale e taglio



PILASTRI 1-6/B-M



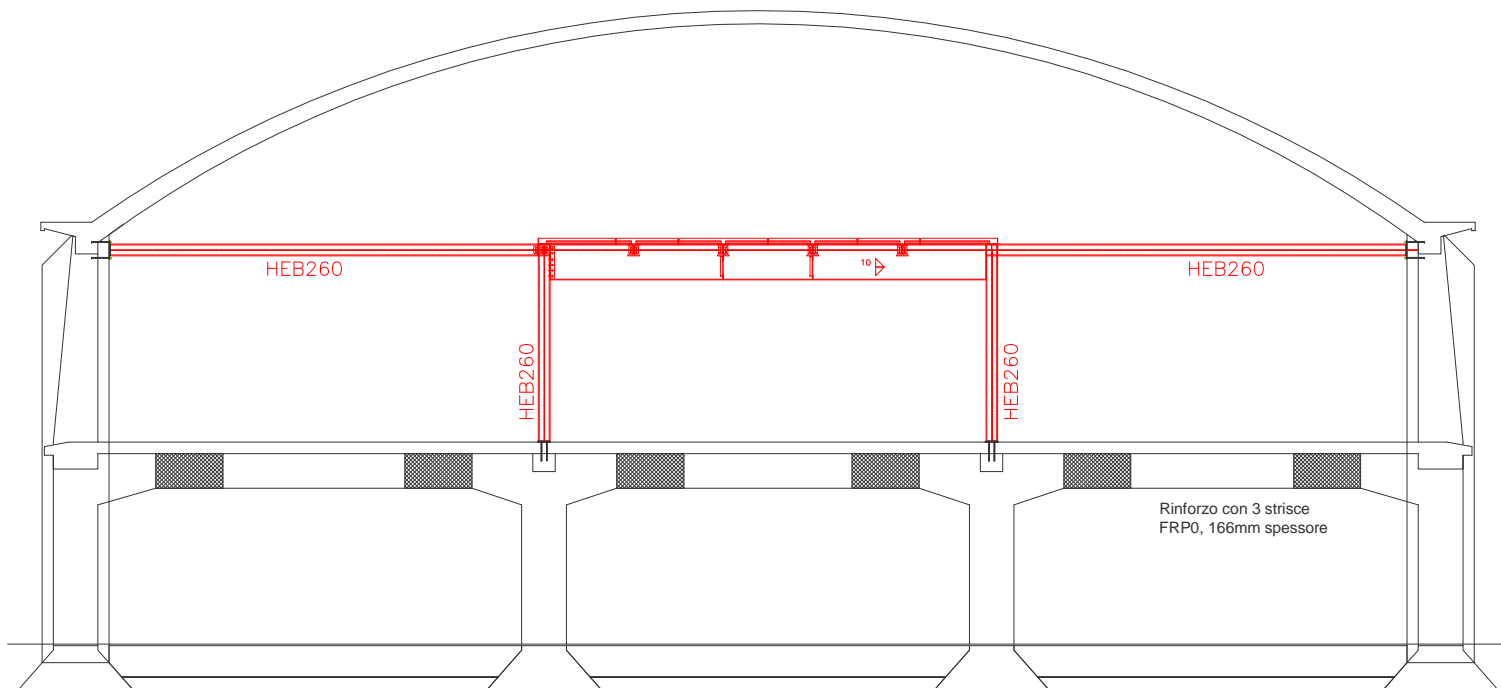
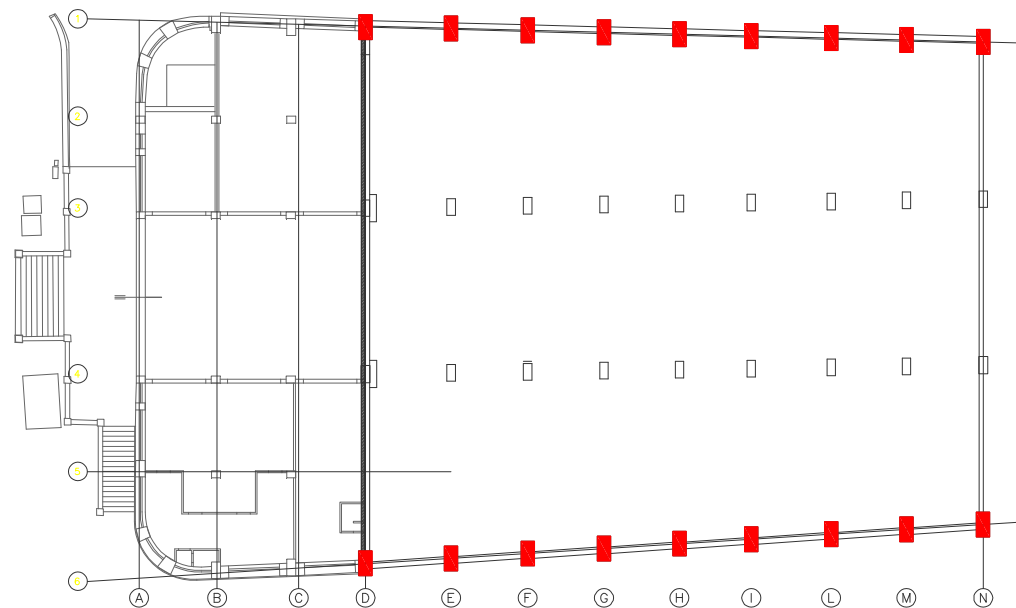
MODIFICHE STRUTTURALI

INTERVENTI DI ADEGUAMENTO:

- **FONDAZIONI:** Graticcio Travi Rovescce
- **TRAVI PIANO INTERRATO:** Fasciatura FRP
- **PILASTRI PERIMETRALI:** Incamiciatura C.A. (previa tesatura catene, realizzazione camicia, rilascio catene)

NUOVI ELEMENTI STRUTTURALI

- **TELAIO IN ACCIAIO PER NUOVO IMPALCATO**

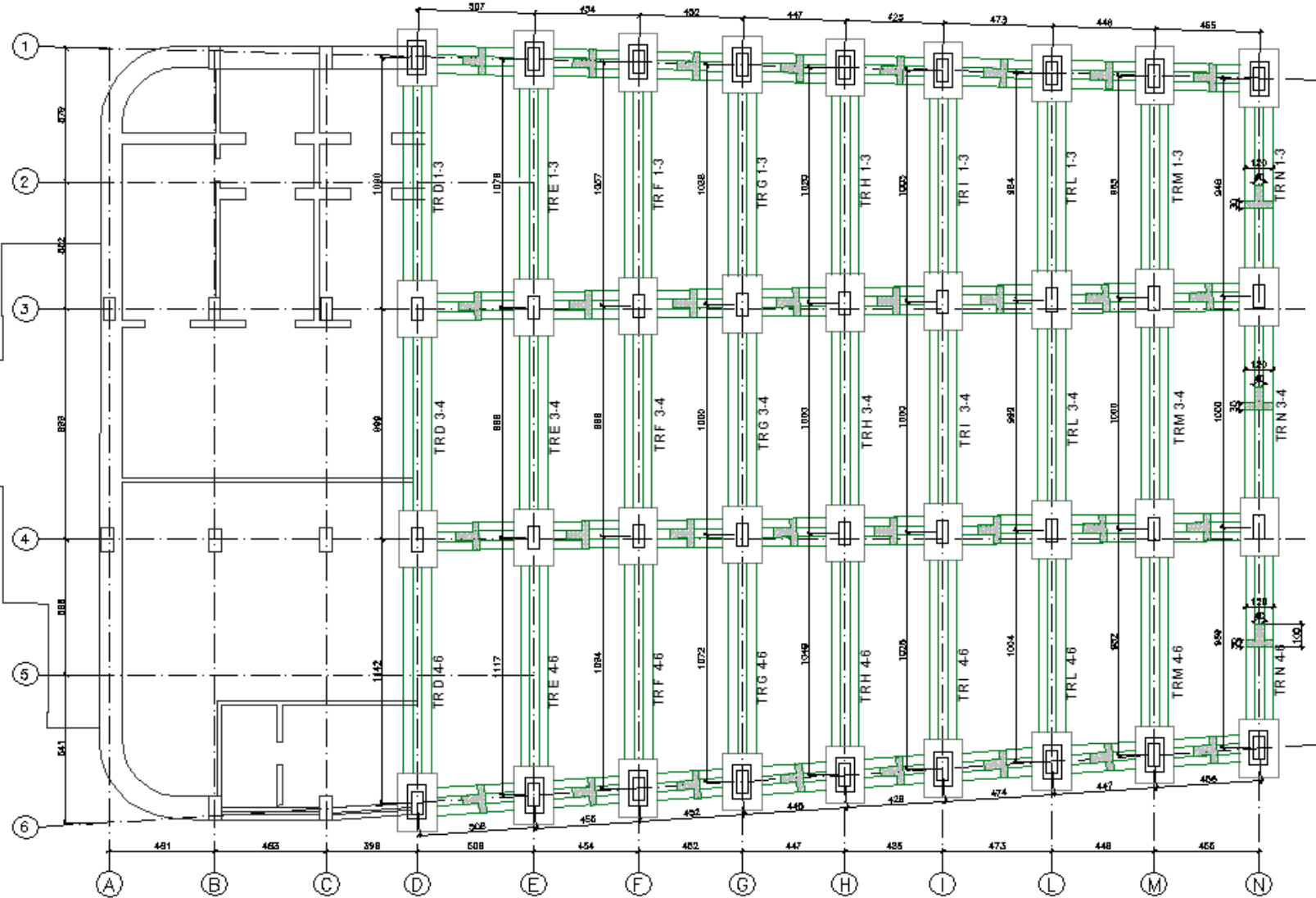




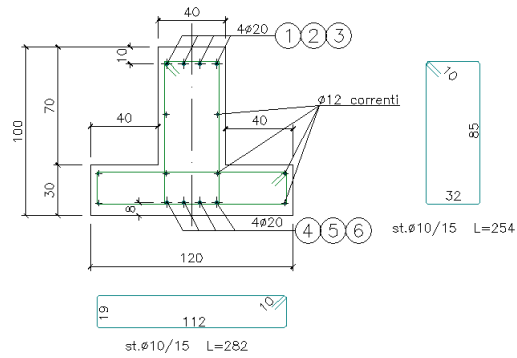
CASO STUDIO 3

Edificio Commerciale C.A.

RINFORZO FONDAZIONI

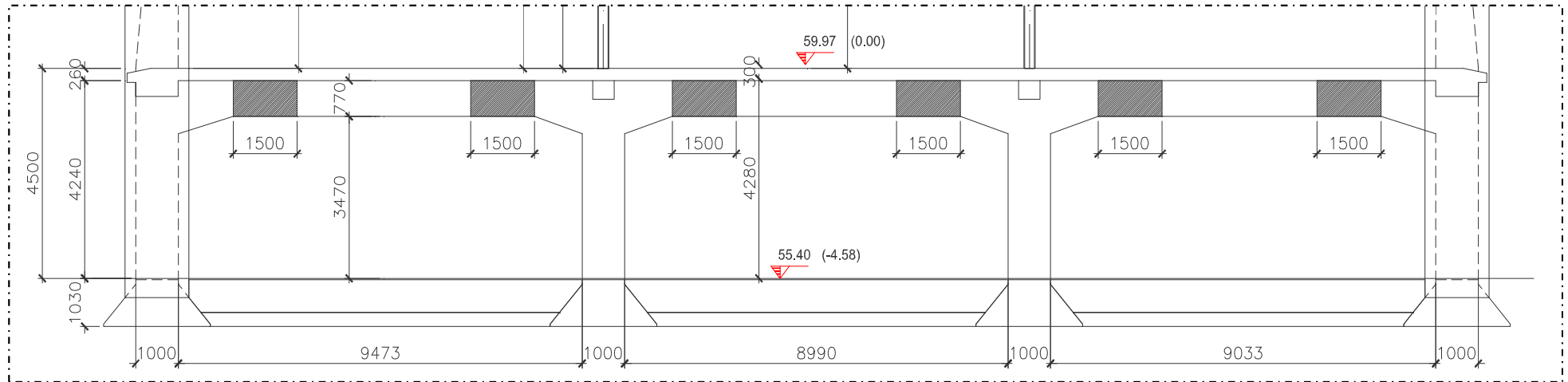


PIANTA FONDAZIONI
Scala 1:100



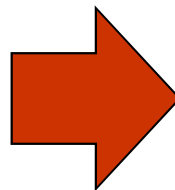
SEZIONE A-A TIPICA TRAVI ROVESCE
ARMATURA FERRI CORRENTI E STAFFE
Scala 1:25

FASCIATURA FRP



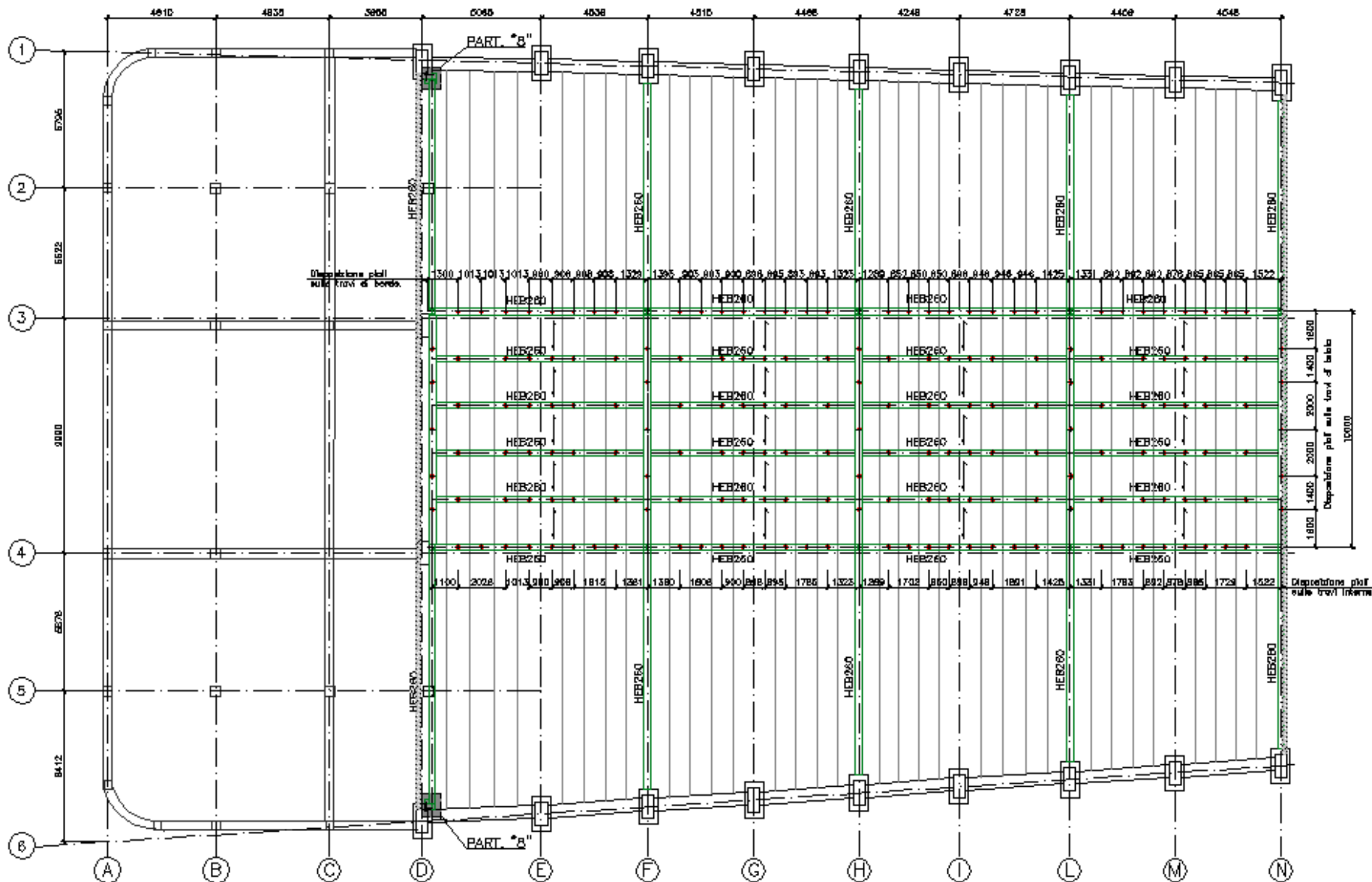
DATI PRINCIPALI:

- **Avvolgimento ad U**
- **ORIENTAMENTO: Direzione Ortogonale all'asse trave**
- **NORMATIVA: CNR DT200-2004**



gfd	1.25		coeff parziale sicurezza FRP
gc	1.5		coeff parziale sicurezza cls
H=	1000	mm	altezza trave
d=	960	mm	h utile trave
Ef	230000	Mpa	modulo elastico FRP
fck	16	MPa	compressione cls
fctm	1.904881262	MPa	resistenza media a trazione cls
t strato	0.166	n°strati	3
tf=	0.498	mm	spessore FRP
wf=	300	mm	larghezza striscia FRP
pf=	0	mm	distanza strisce FRP
beta=	90	°	inclinazione barre
theta=	45	°	
le	173.3922318	mm	lunghezza di ancoraggio FRP
T	0.165620923		energia di frattura
fdd	255.4854679		
ffed	238.3947289	Mpa	
Vrdf=	136.7661024	kN	incremento della resistenza a TAGLIO

TELAIO IN ACCIAIO PER NUOVO IMPALCATO



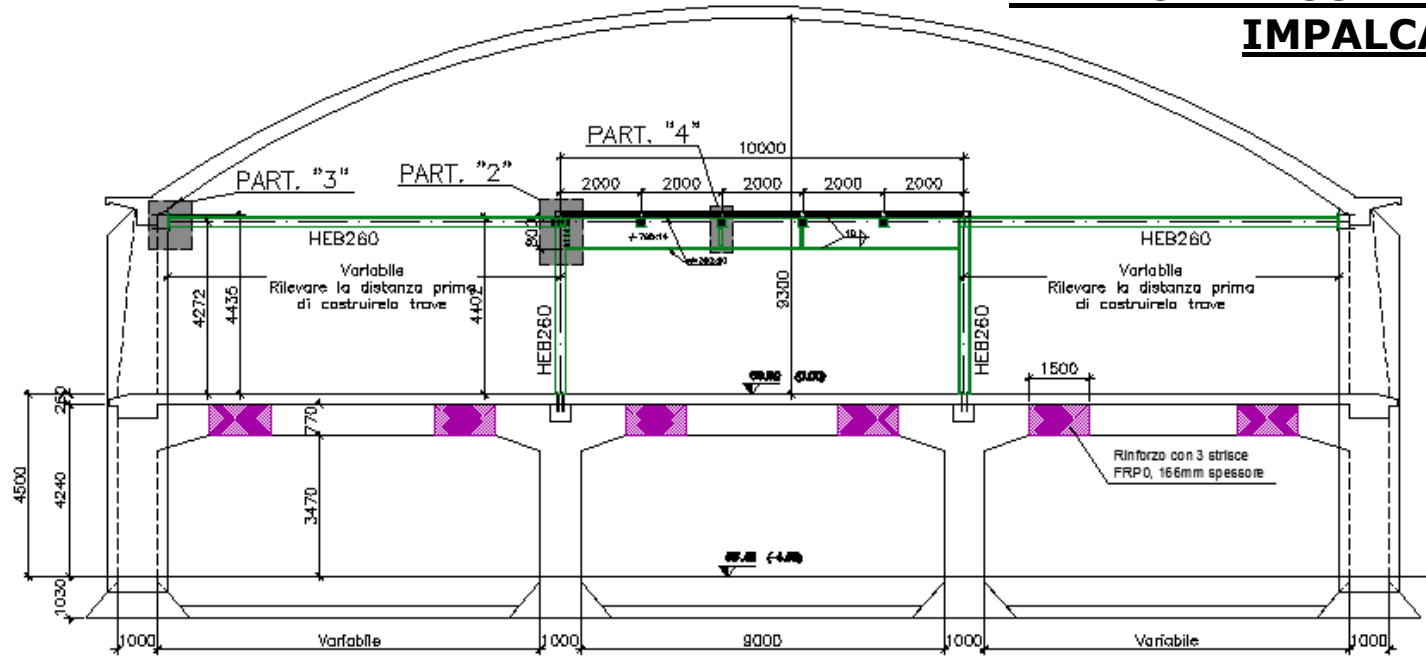
PIANTA LIVELLO SUPERIORE



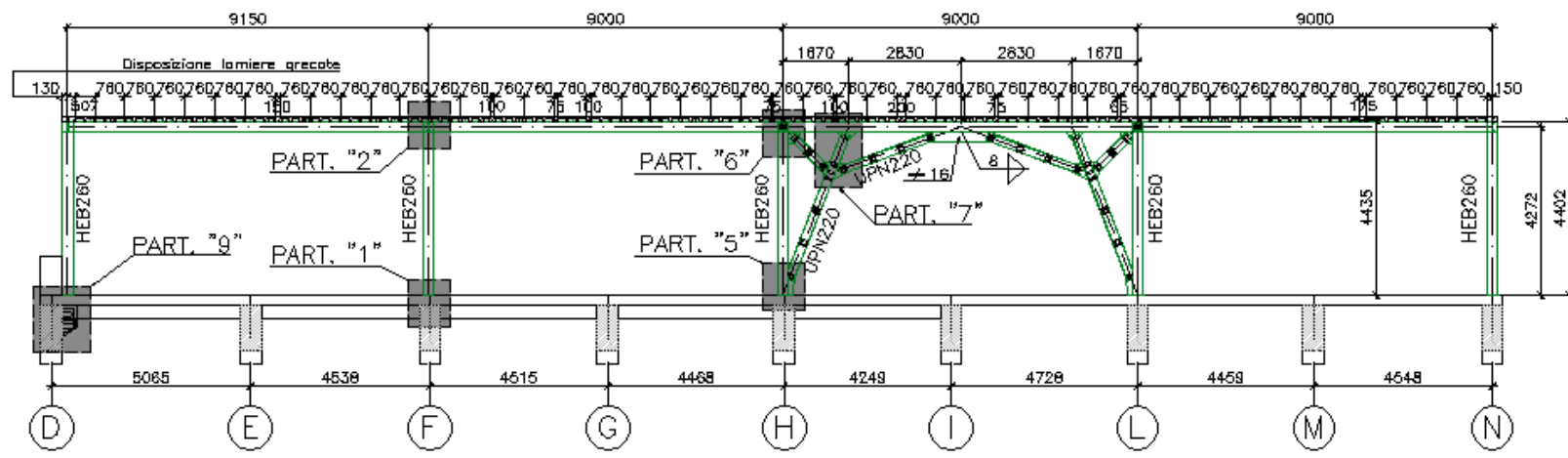
CASO STUDIO 3

Edificio Commerciale C.A.

TELAIO IN ACCIAIO PER NUOVO IMPALCATO



SEZIONETRASVERSALE TIPO



SEZIONE SUL PICCH. 4

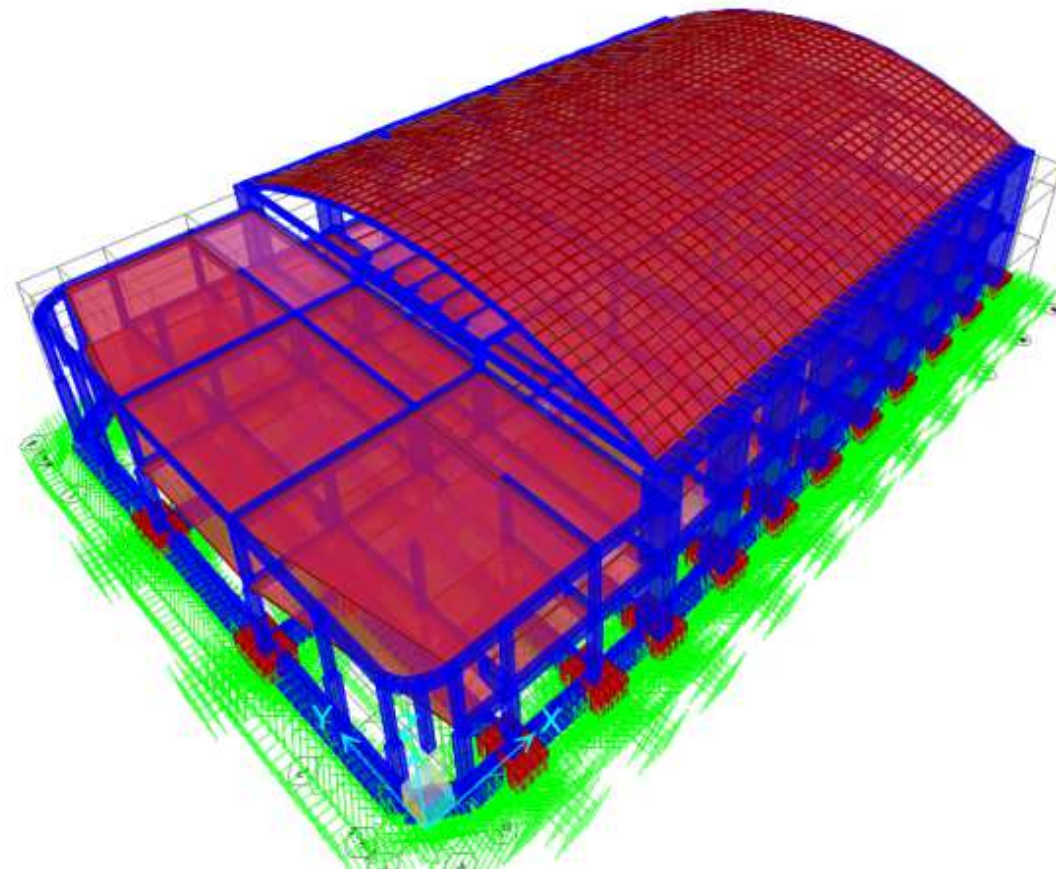
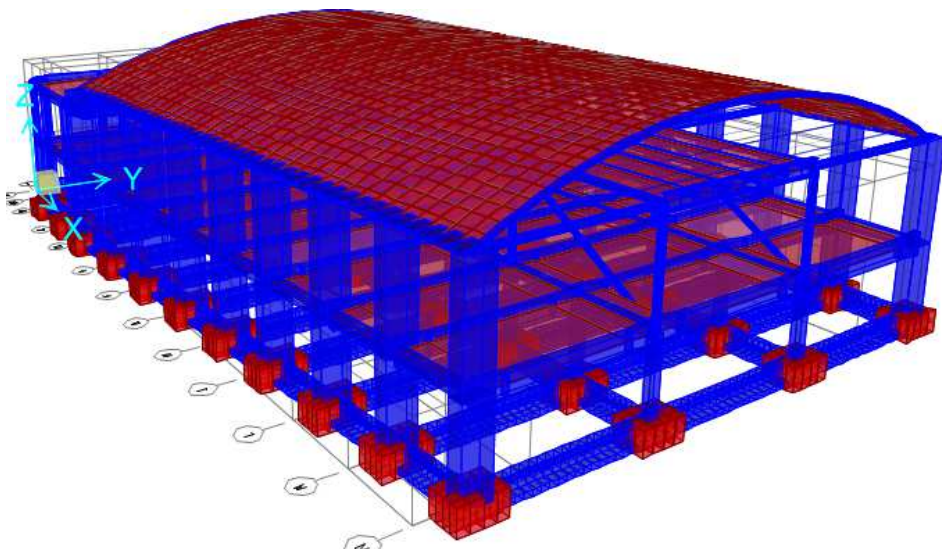
RISULTATI

CARICHI STATICI:

- **Verifica Soddisfatta per tutti gli elementi strutturali, esistenti e di nuova realizzazione**

AZIONI SISMICHE:

- $T_R = 949$ anni
- $q = 1,5$
- **Terreno: B**
- $a_g = 0,17$ g
- **Verifica Soddisfatta per tutti gli elementi strutturali, esistenti e di nuova realizzazione**

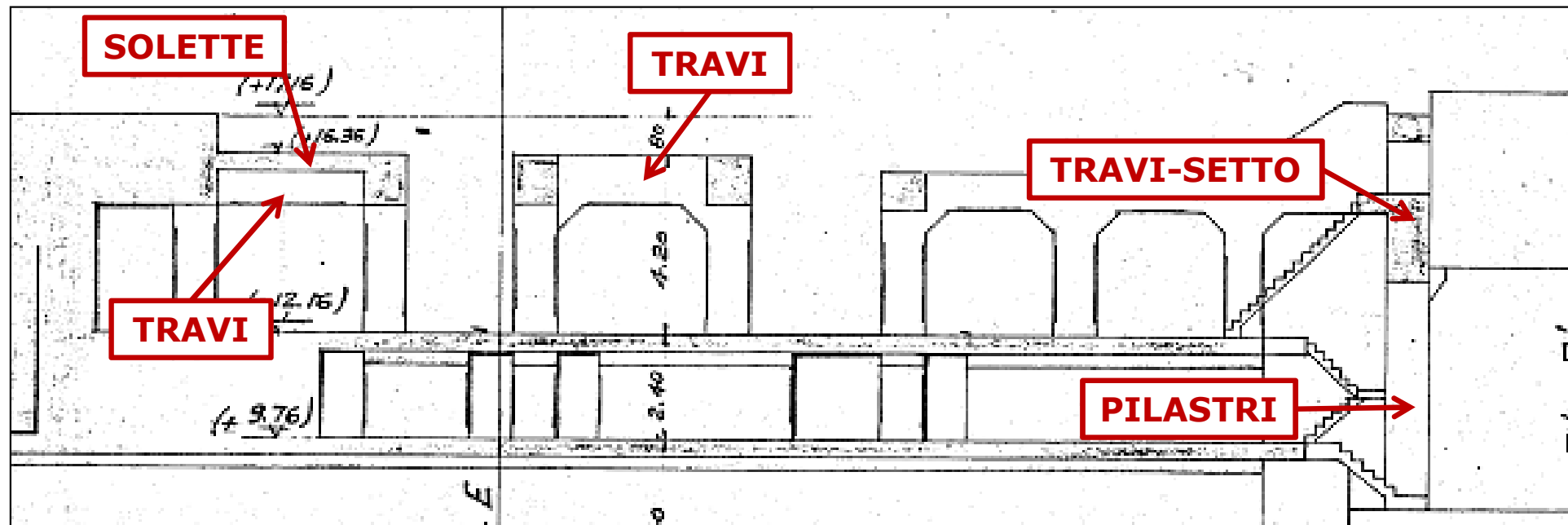
**ADEGUAMENTO SISMICO**

DATI PRINCIPALI:

- Anno Costruzione: 1963
- CLS: "Portland" (C12/15)
- Armature: "Ferro Semiduro" ($\sigma_{adm} = 2000 \text{ kg/cm}^2$)
- Presenza di AGENTI CHIMICI AGGRESSIVI;
- Esteso AMMALORAMENTO ARMATURE/CLS.

PROBLEMATICHE:

- Avanzato ammaloramento strutturale
- Lesioni Locali Travi e/o Pilastri
- Necessità Intervento Provvisorio Urgente
- Intervento di Ripristino da realizzarsi successivamente

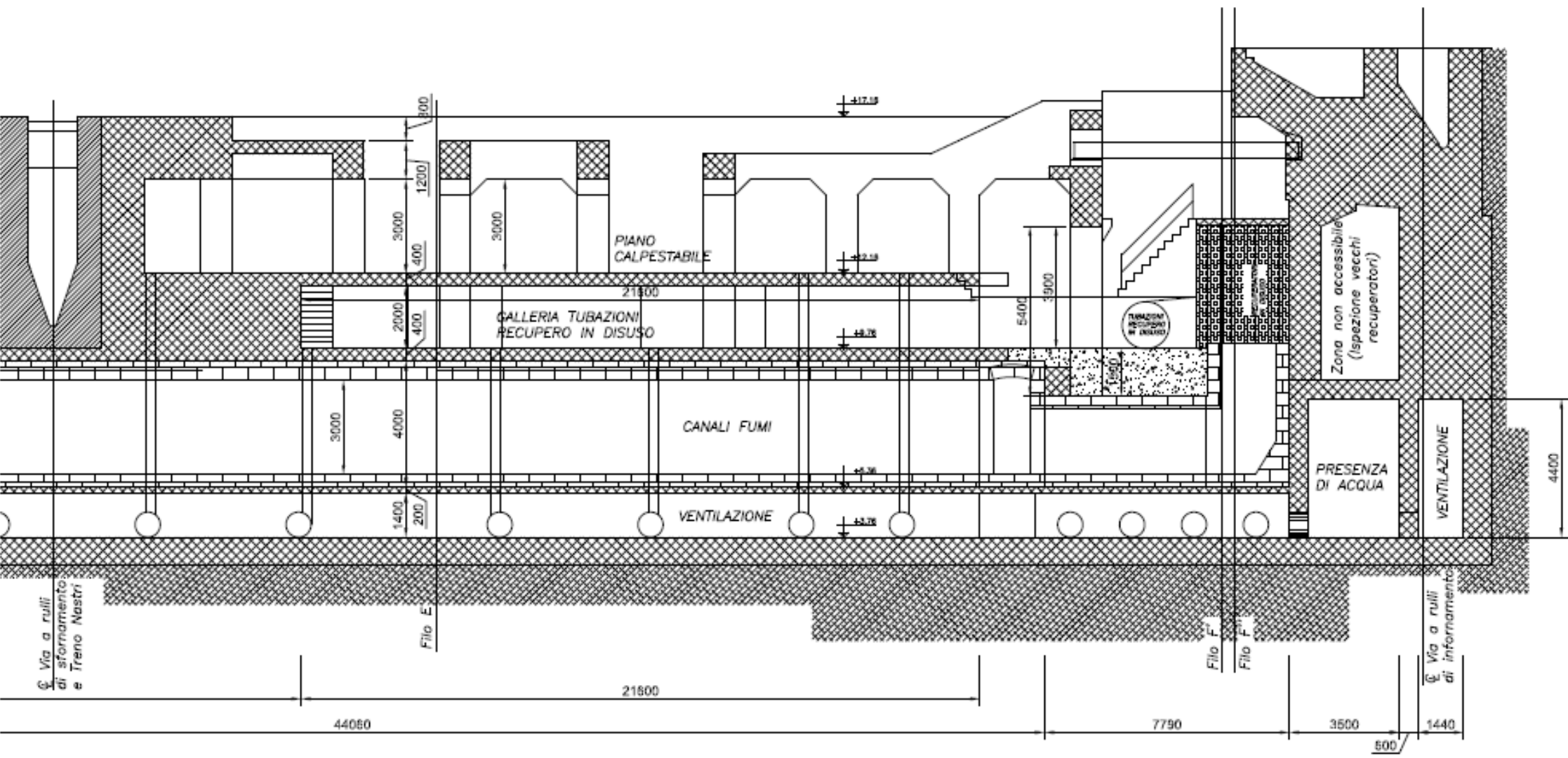


Sezione Longitudinale - Progetto Originale



CASO STUDIO 4

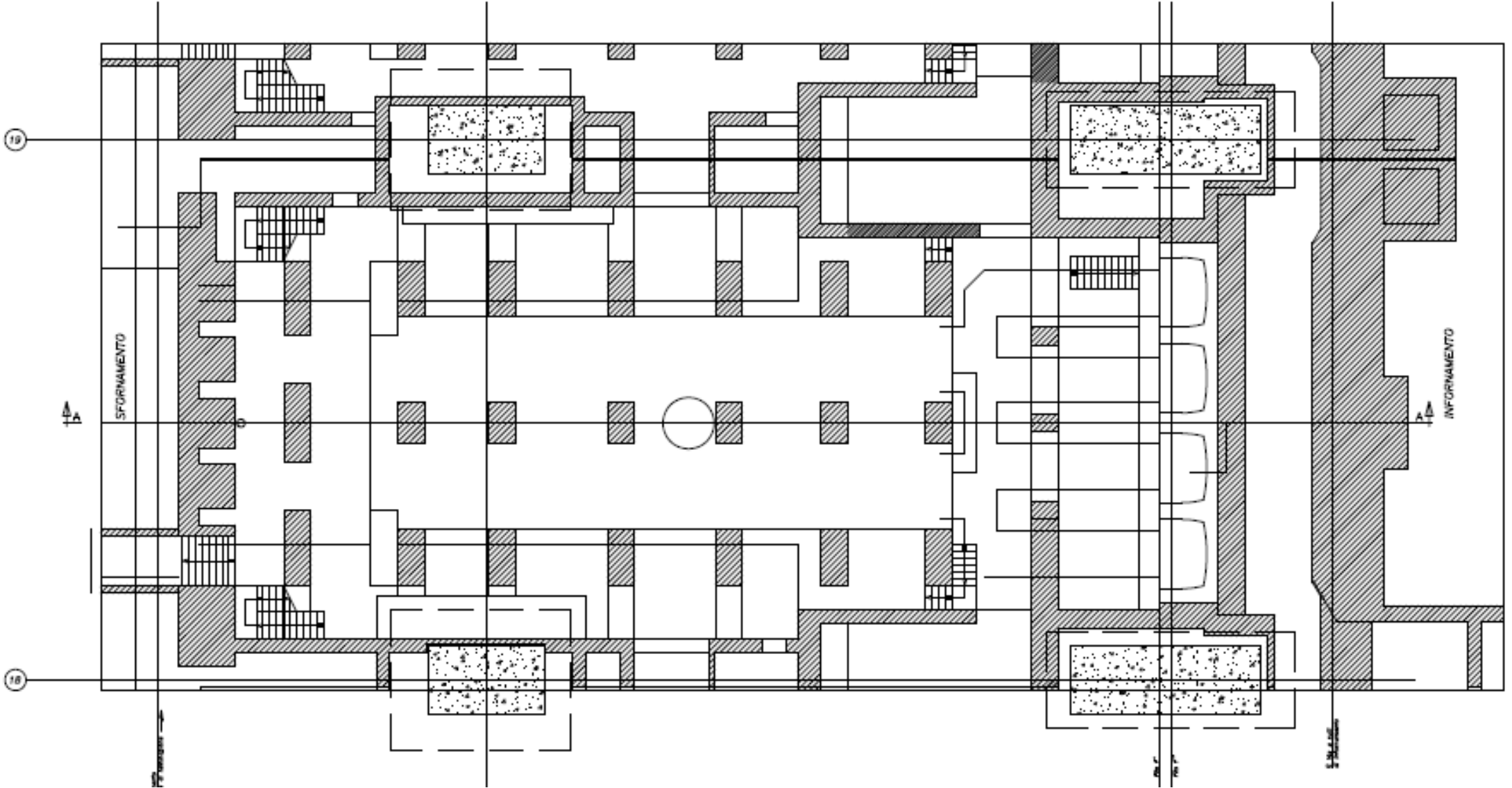
Fondazioni in C.A. Impianto Industriale



Sezione Longitudinale – Stato Attuale



PIANTA A QUOTA +12.16



Pianta a Quota +12.16 m – Stato Attuale



CASO STUDIO 4

Fondazioni in C.A. Impianto Industriale





Ammaloramento Travi



Ammaloramento Solette



Ammaloramento Pilastri



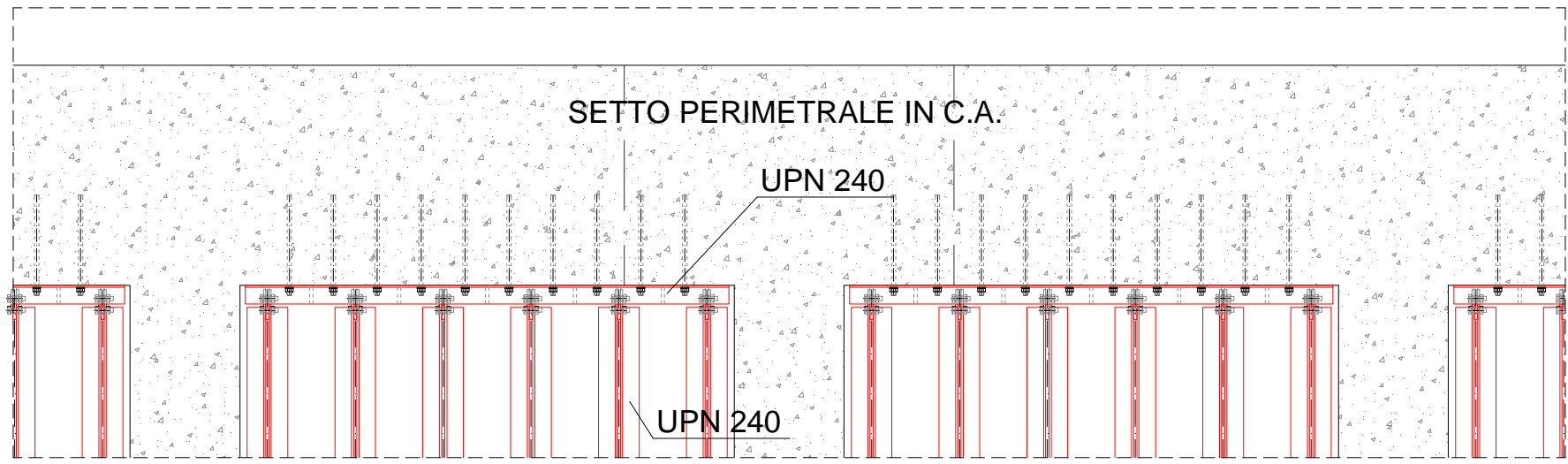
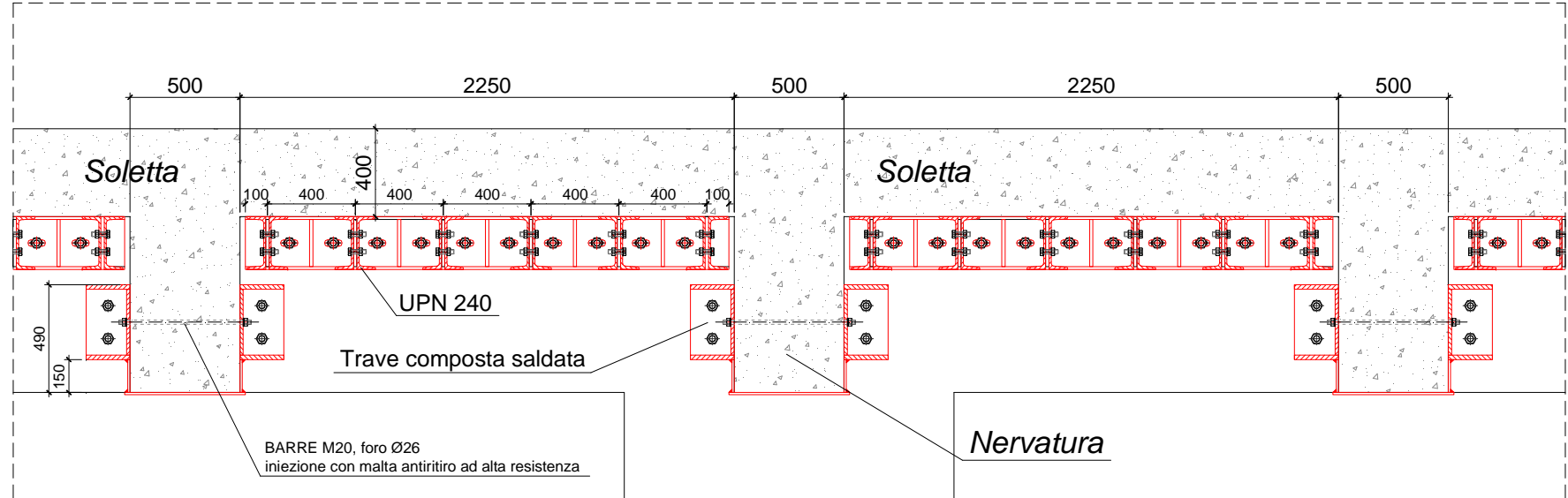
Ammaloramento Travi



Ammaloramento Travi-Setto / Pilastri



Intervento Provvisorio Solaio in C.A.



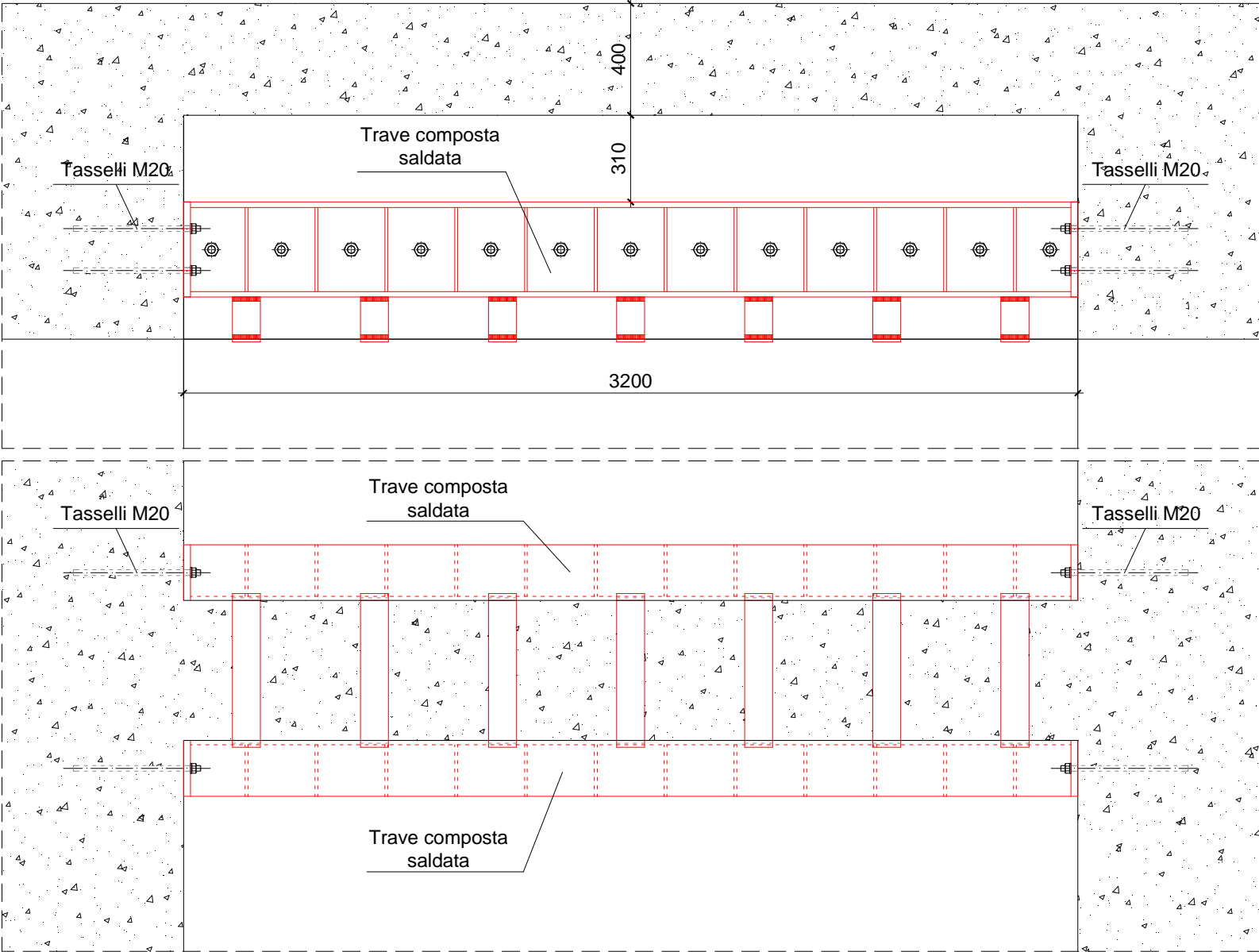


Intervento Provvisorio - Solaio in C.A.





Intervento Provvisorio - Trave in C.A.





CASO STUDIO 4

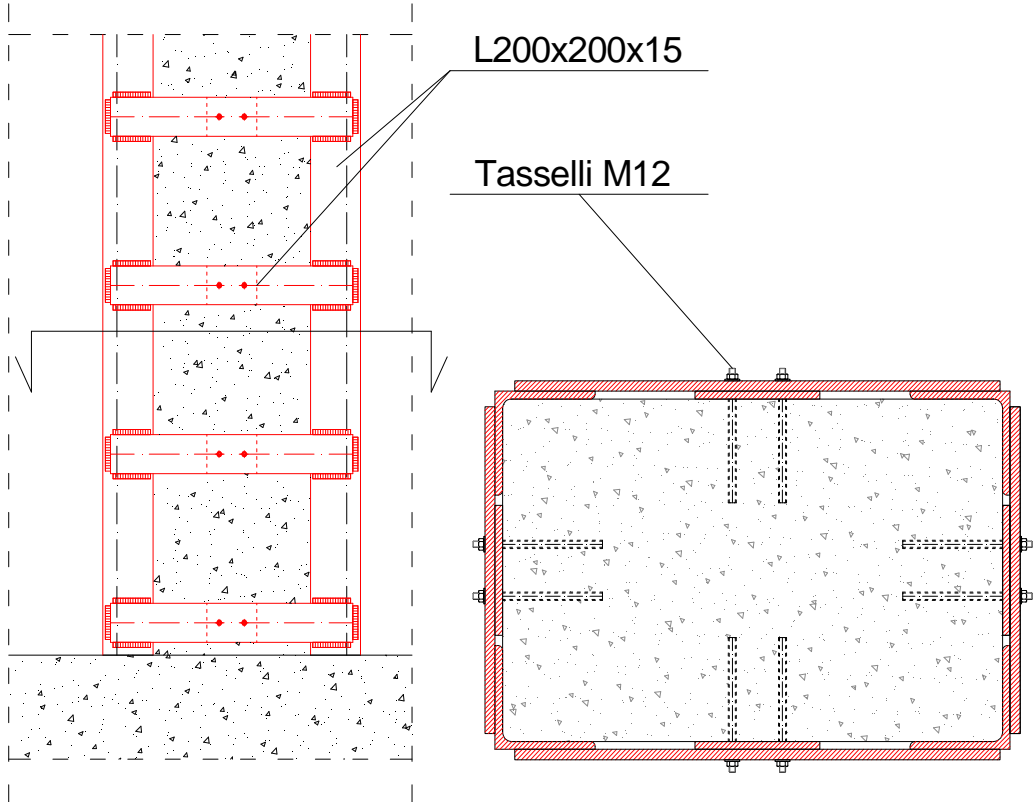
Fondazioni in C.A. Impianto Industriale

Intervento Provvisorio - Trave in C.A.





Intervento Provvisorio – Incamiciatura Colonna in C.A.



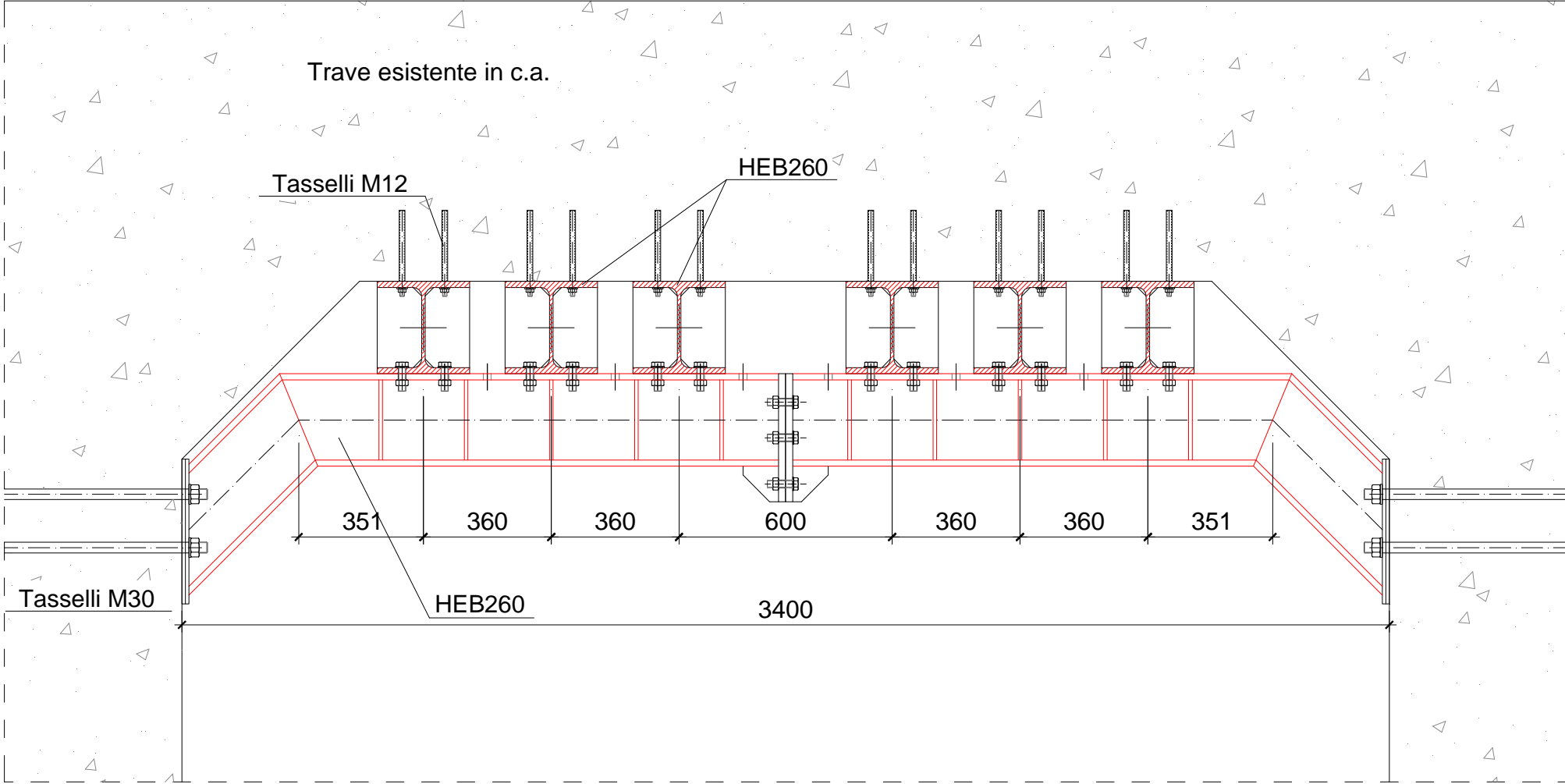


Intervento Provvisorio – Incamiciatura Colonna in C.A.





Intervento Provvisorio - Trave in C.A.





Intervento Provvisorio - Trave in C.A. – Posizionamento Piastre





CASO STUDIO 4

Intervento Provvisorio - Trave in C.A. - Inghisaggio Barre





Intervento Provvisorio - Trave in C.A.





CASO STUDIO 4

Fondazioni in C.A. Impianto Industriale



Intervento Provvisorio - Trave in C.A. – Messa in Contrasto e Sigillatura con Malta



CASO STUDIO 4

Fondazioni in C.A. Impianto Industriale

Intervento Provvisorio – Cerchiatura Base Colonna in C.A.

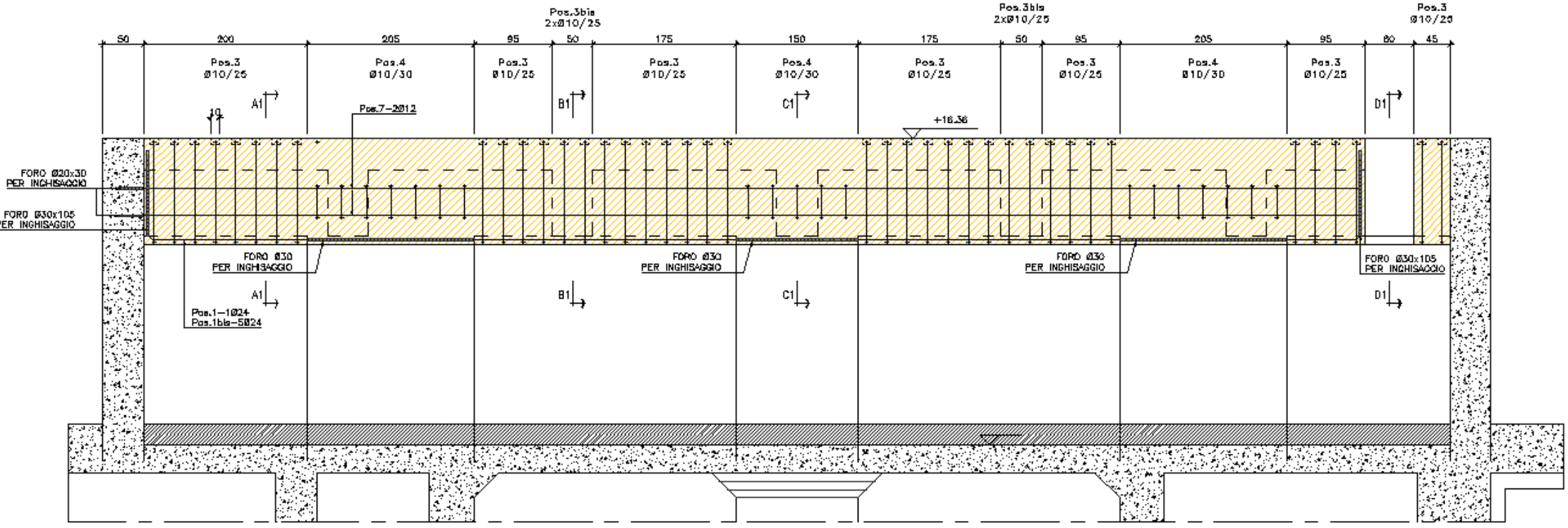




CASO STUDIO 4

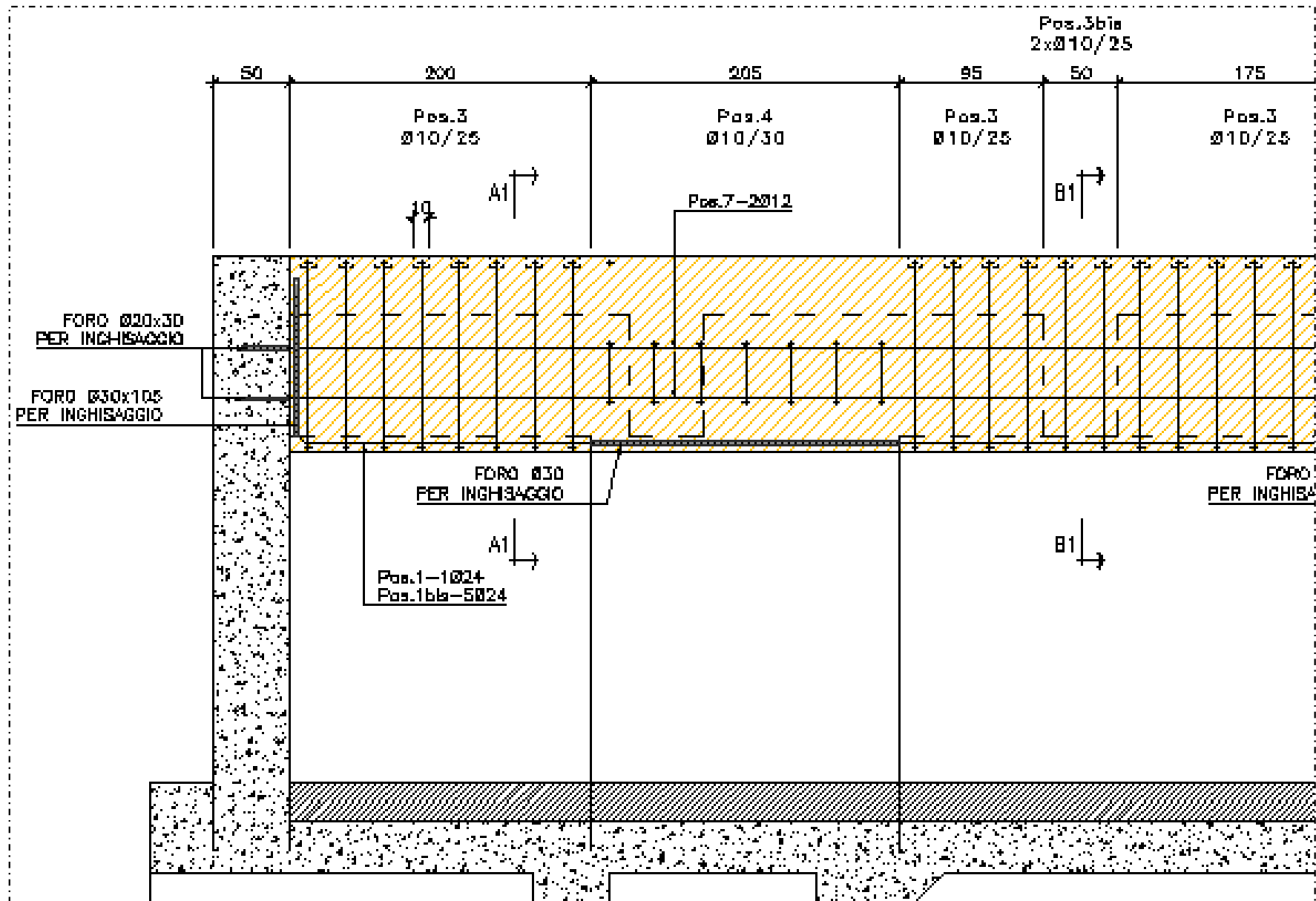
Fondazioni in C.A. Impianto Industriale

Intervento di Ripristino - Trave in C.A.



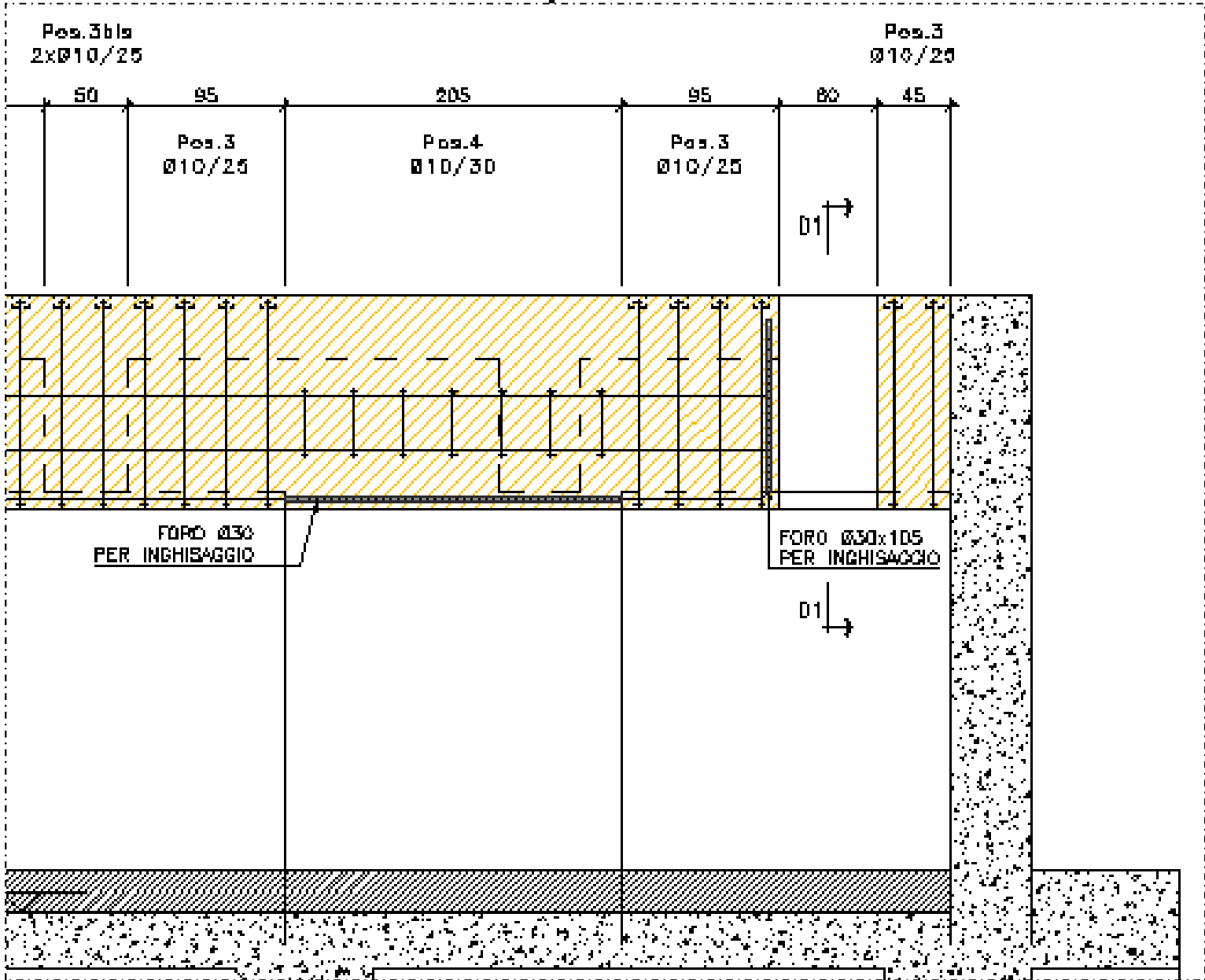
SEZIONE TRASVERSALE

Intervento di Ripristino - Trave in C.A.





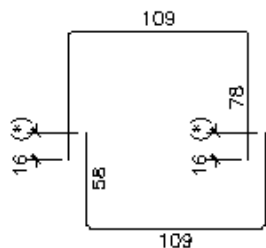
Intervento di Ripristino - Trave in C.A.



Intervento di Ripristino - Trave in C.A.

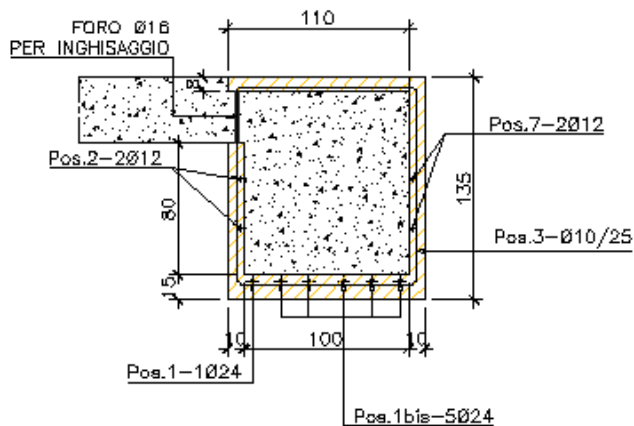
- Rimozione copriferro
- Bonifica armature mediante sabbiatura
- Applicazione malta cementizia idrorepellente (2 mm)
- Inghisaggio
- Getto di ripristino con CLS strutturale XC4-C35/45-XA3, fluidificante ed antiritiro
- COPRIFERRO MINIMO 50 mm
- Acciaio armatura: B450c

Pos.3a-Ø10/25 L=265



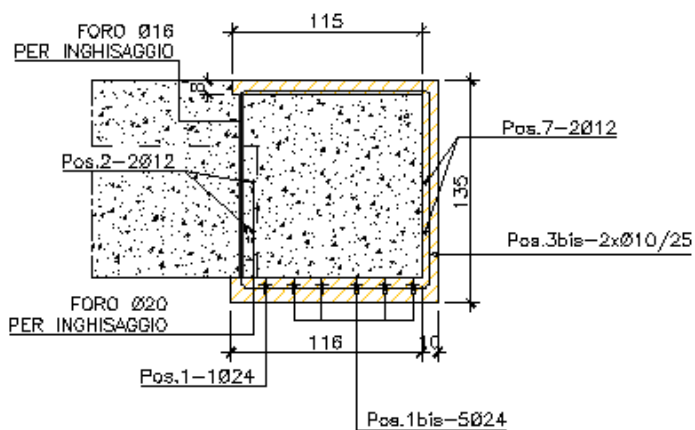
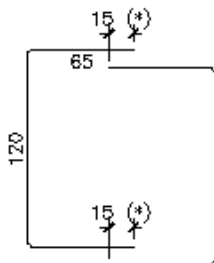
Pos.3b-Ø10/25 L=225

(*) GIUNTO SOVRAPPPOSTO SALDATO "LAP-JOINT" SECONDO UNI-EN-ISO 17860-1

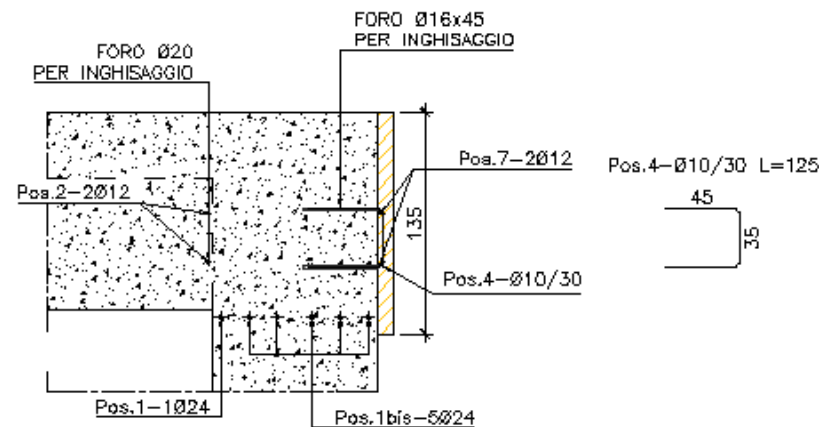


SEZIONE A1-A1

Pos.3bis-2xØ10/25 L=255



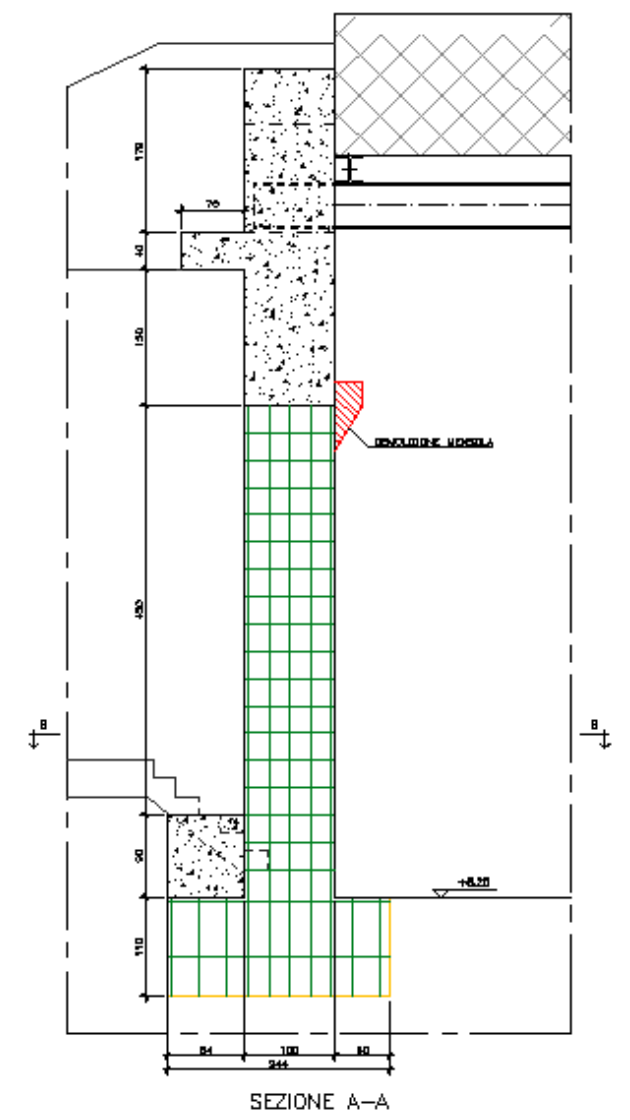
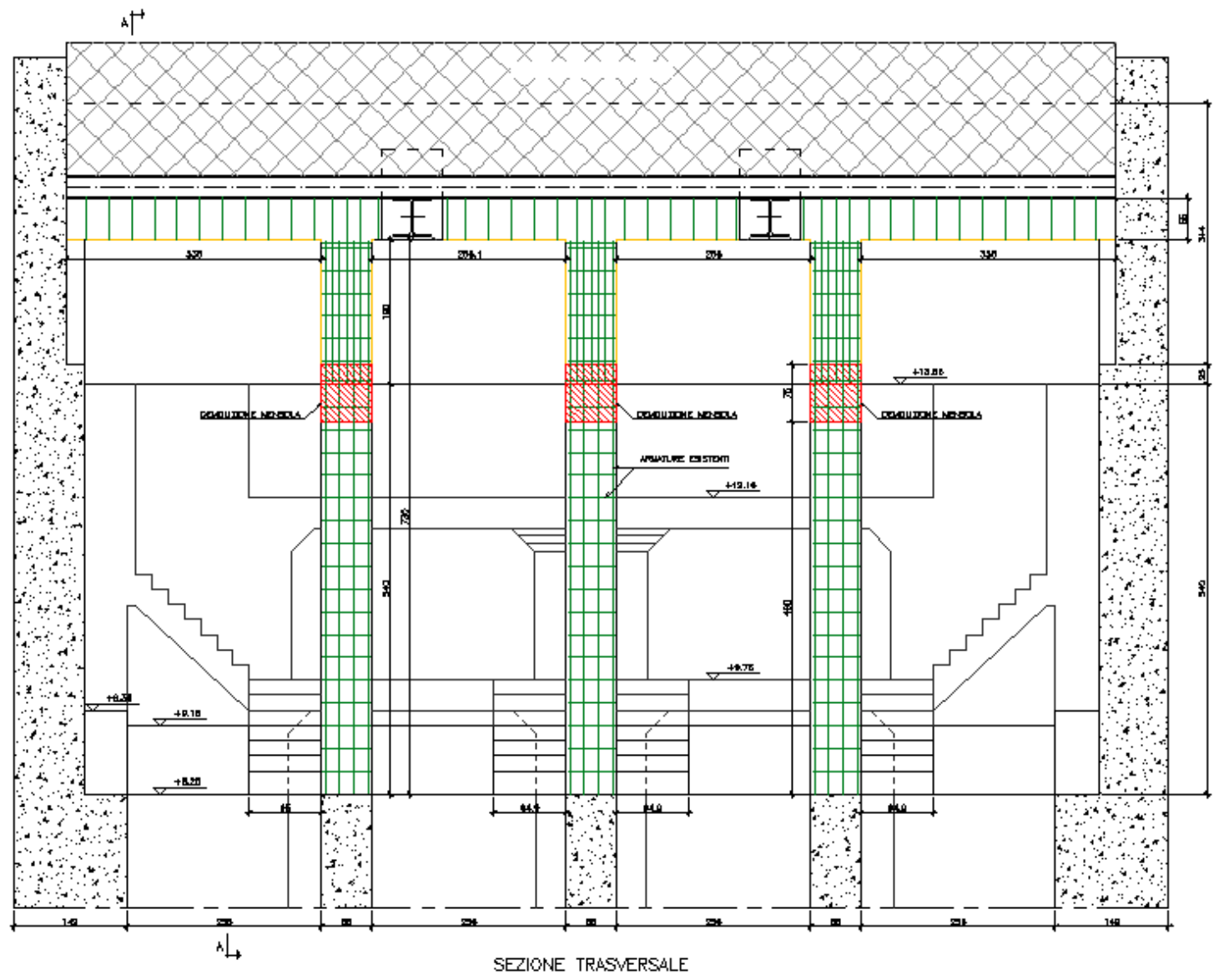
SEZIONE B1-B1



SEZIONE C1-C1

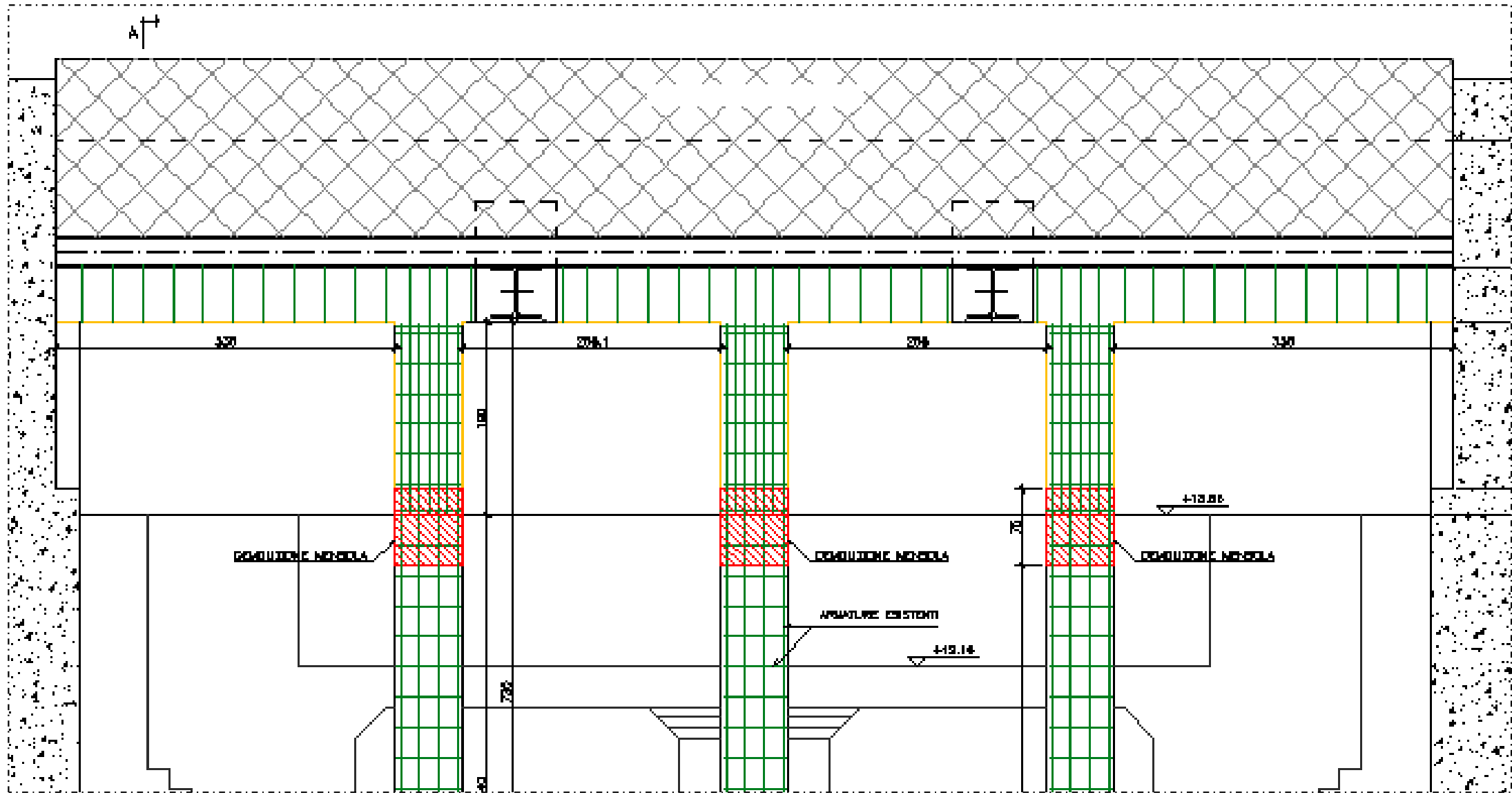


Intervento di Ripristino - Trave in C.A.



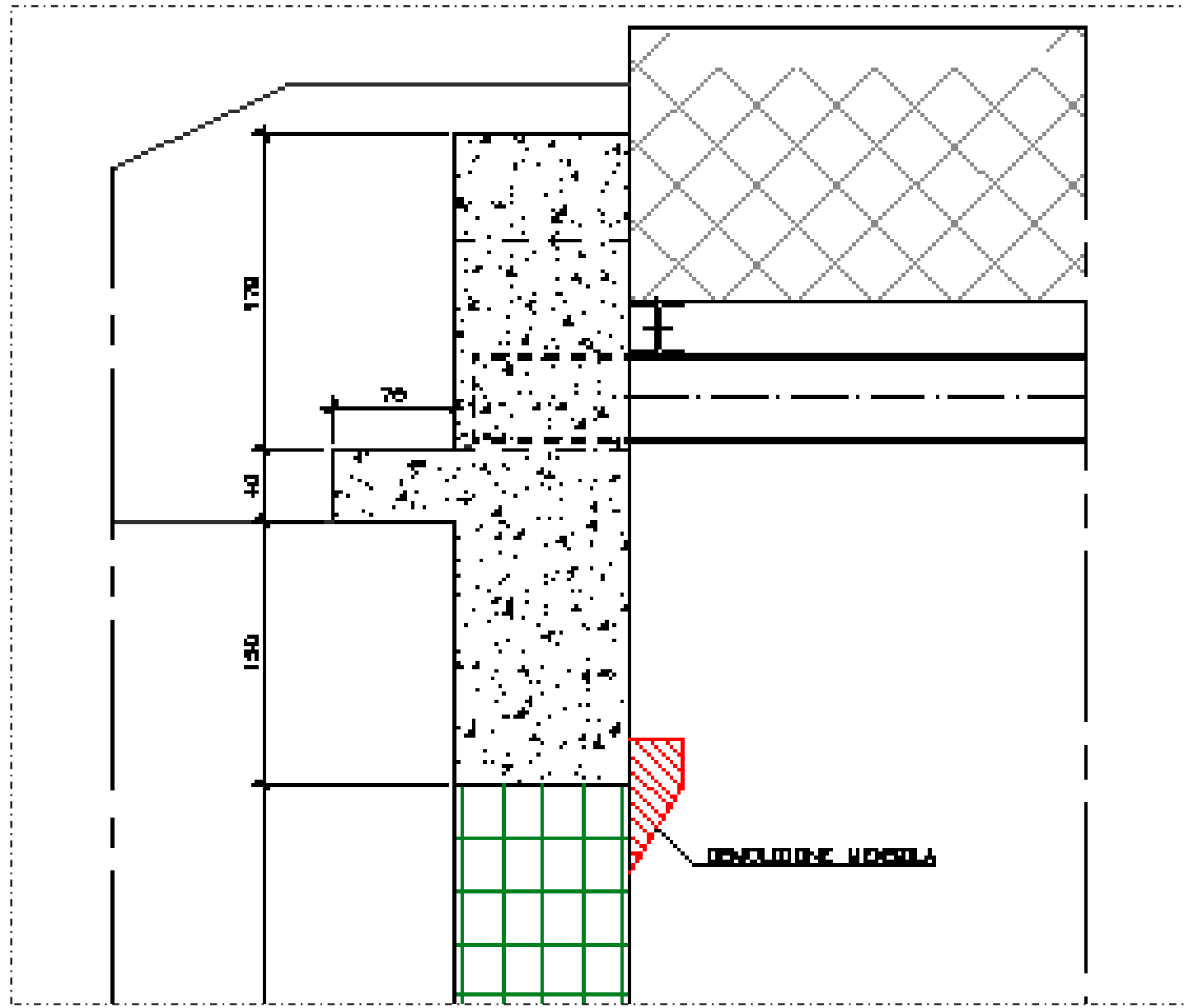


Intervento di Ripristino - Trave in C.A.

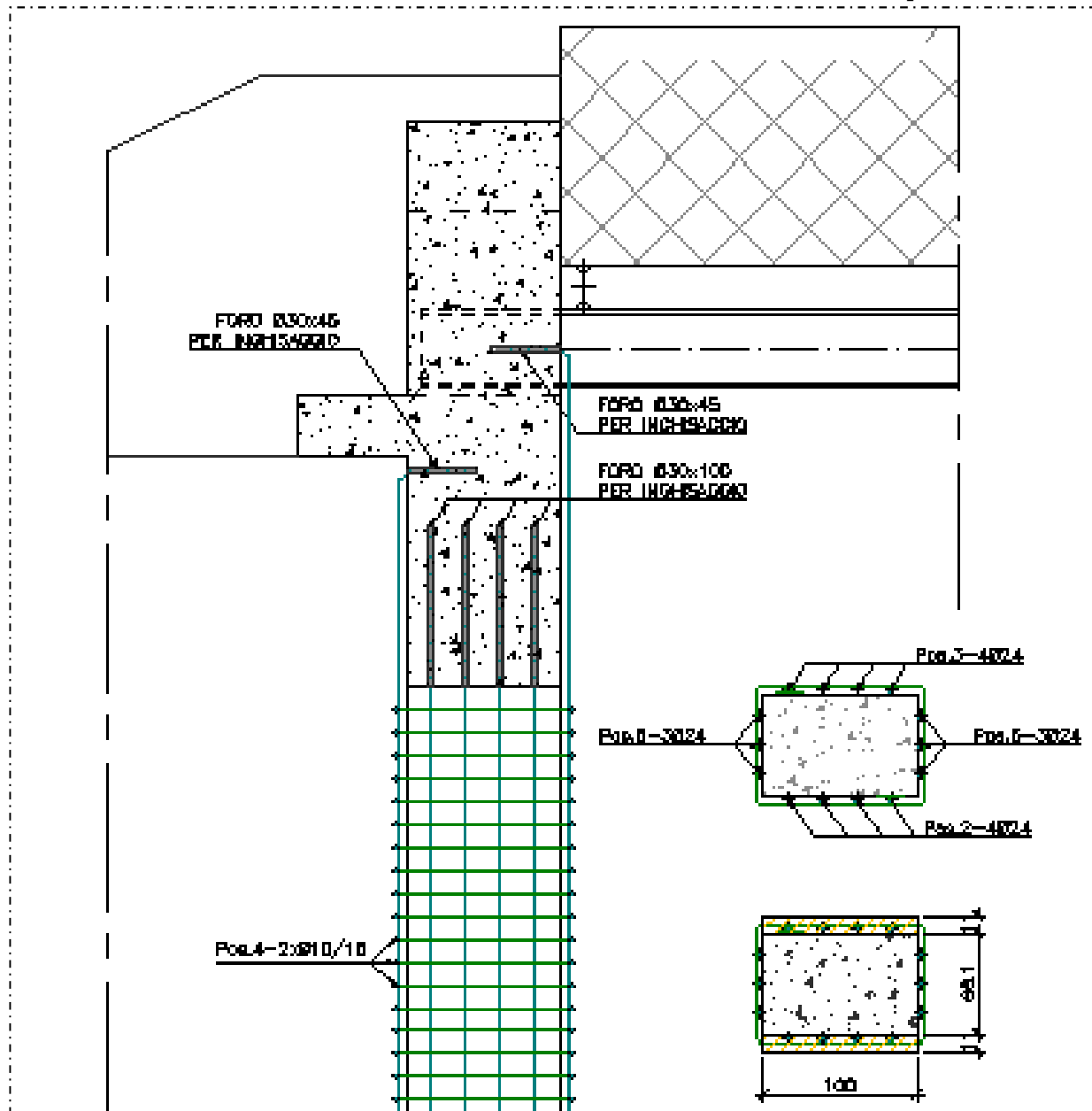




Intervento di Ripristino - Trave in C.A.

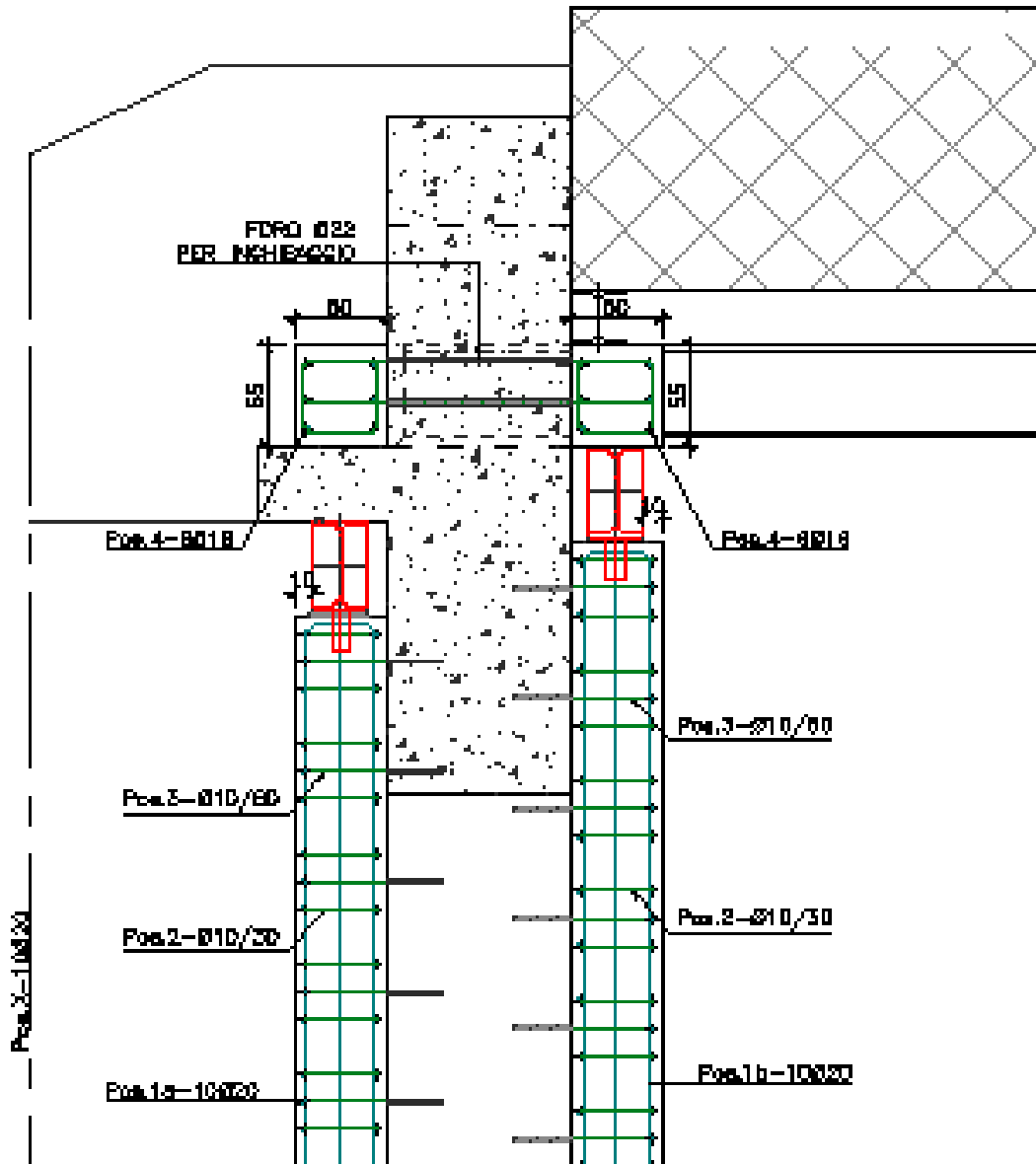


Intervento di Ripristino - Trave in C.A.

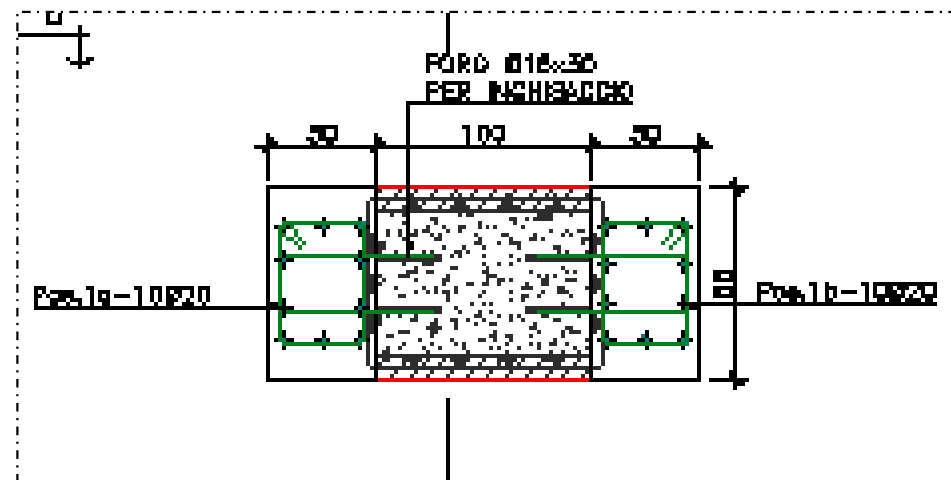


- Rimozione copriferro
- Bonifica armature mediante sabbiatura
- Applicazione malta cementizia idrorepellente (2 mm)
- Inghisaggio
- Getto di ripristino con CLS strutturale XC4-C35/45-XA3, fluidificante ed antiritiro
- COPRIFERRO MINIMO 50 mm
- Acciaio armatura: B450c

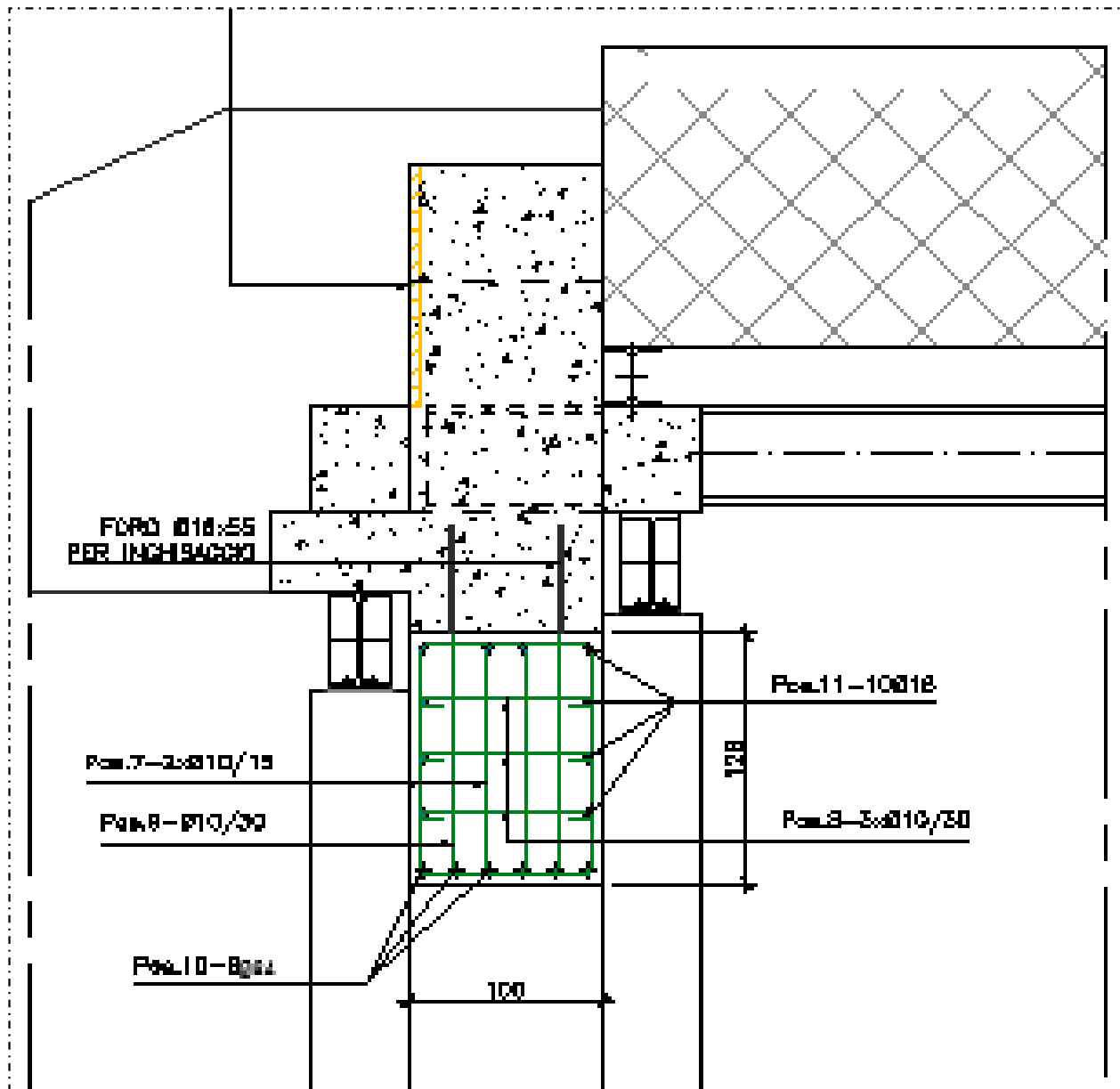
Intervento di Ripristino - Trave in C.A.



- CLS strutturale XC4-C35/45-XA3, fluidificante ed antiritiro
- COPRIFERRO MINIMO 50 mm
- Acciaio armatura: B450c

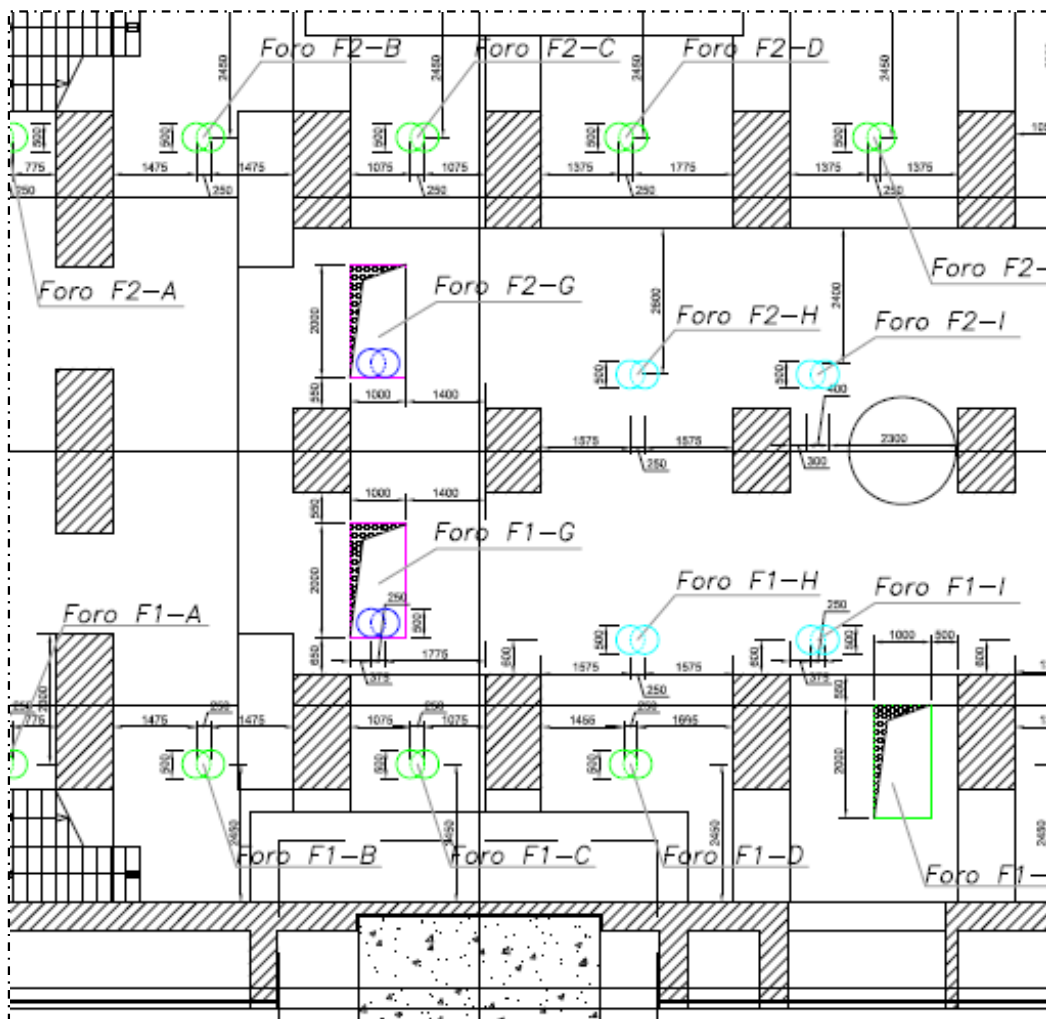


Intervento di Ripristino - Trave in C.A.



- **CLS strutturale XC4-C35/45-XA3, fluidificante ed antiritiro**
- **COPRIFERRO MINIMO 50 mm**
- **Acciaio armatura: B450c**

Intervento di Tombatura dei Livelli Inferiori



SPECIFICHE MATERIALI

CONGLOMERATO CEMENTIZIO IN OPERA

Calcestruzzo strutturale leggero con argilla espansa e cemento d'altoforno, avente le seguenti proprietà:

Resistenza caratteristica cubica R_{ck}	45 MPa
Modulo elastico	25000 MPa
Densità a fresco	1900 kg/m ³
Cemento d'altoforno C	480 kg/m ³
Aggregato leggero	310 kg/m ³
Sabbia 0-4 mm	910 kg/m ³
Superfluidificante	4,5 kg/m ³
Rapporto a/c	0,4

L'aggregato leggero costituente il conglomerato è argilla espansa con le seguenti caratteristiche:

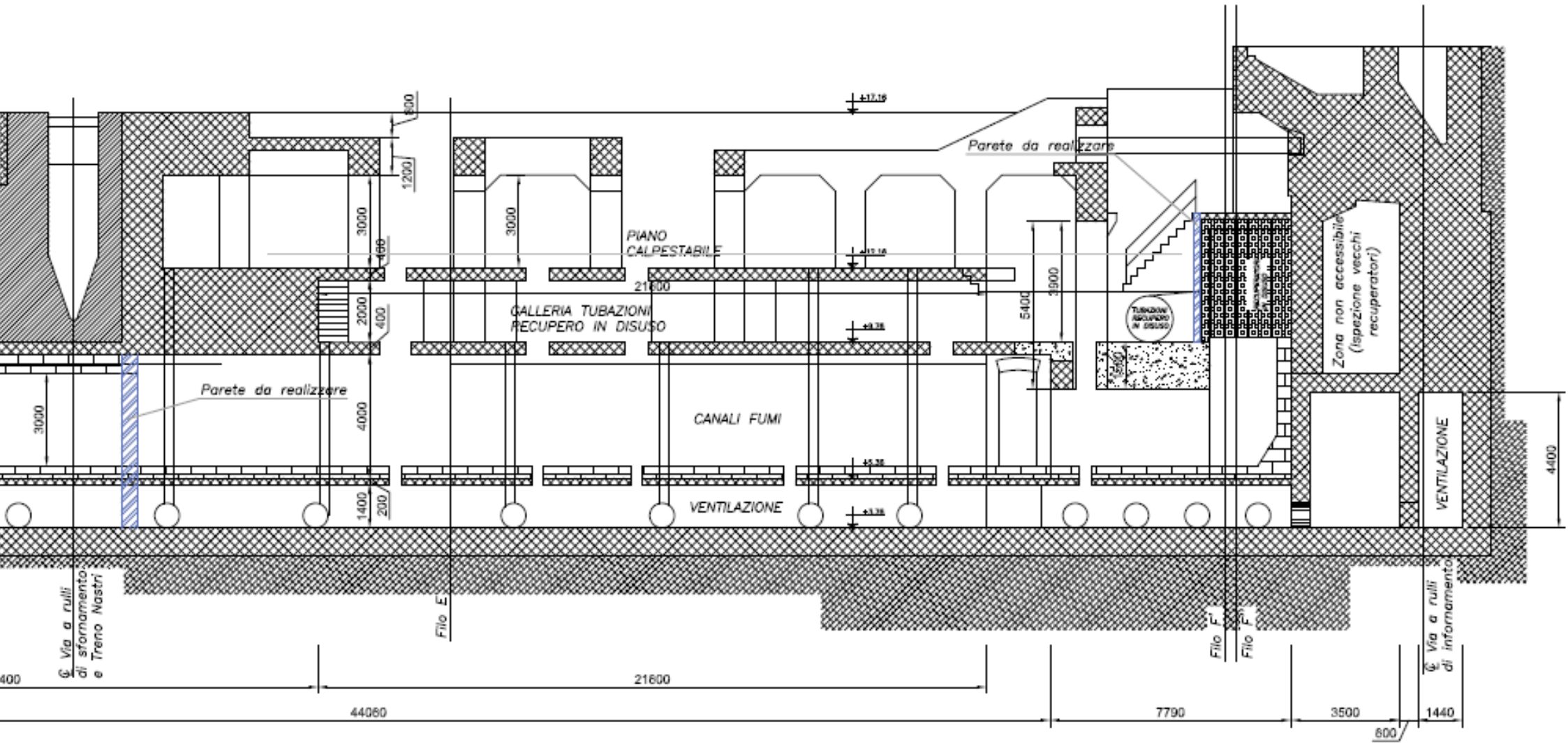
Densità in mucchio	680 kg/m ³
Resistenza alla frantumazione dei granuli	≥ 11 MPa
Conducibilità termica certificata λ	0,13 W/mK
Reazione al fuoco	Euroclasse A1



CASO STUDIO 4

Fondazioni in C.A. Impianto Industriale

Intervento di Tombatura dei Livelli Inferiori

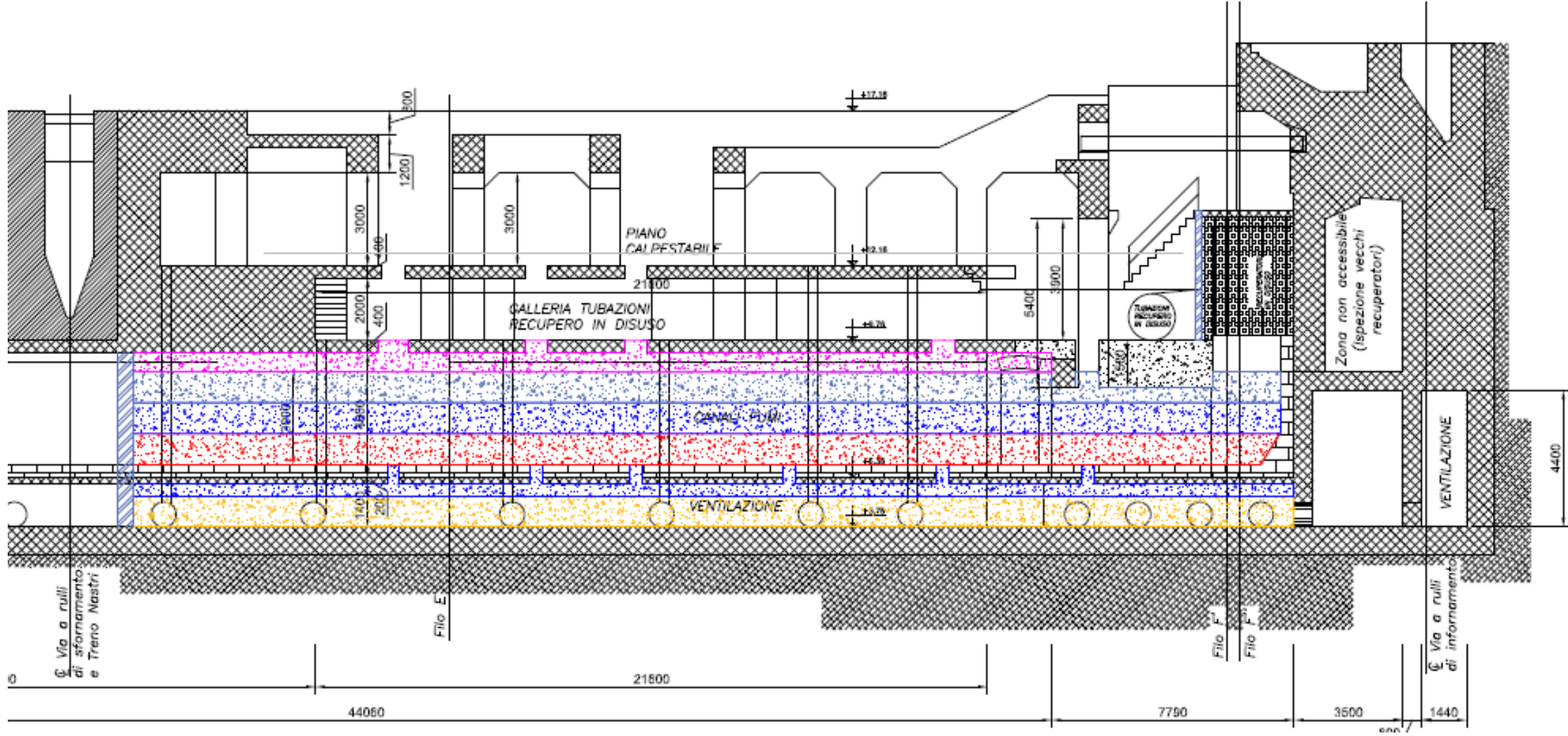




CASO STUDIO 4

Fondazioni in C.A. Impianto Industriale

Intervento di Tombatura dei Livelli Inferiori

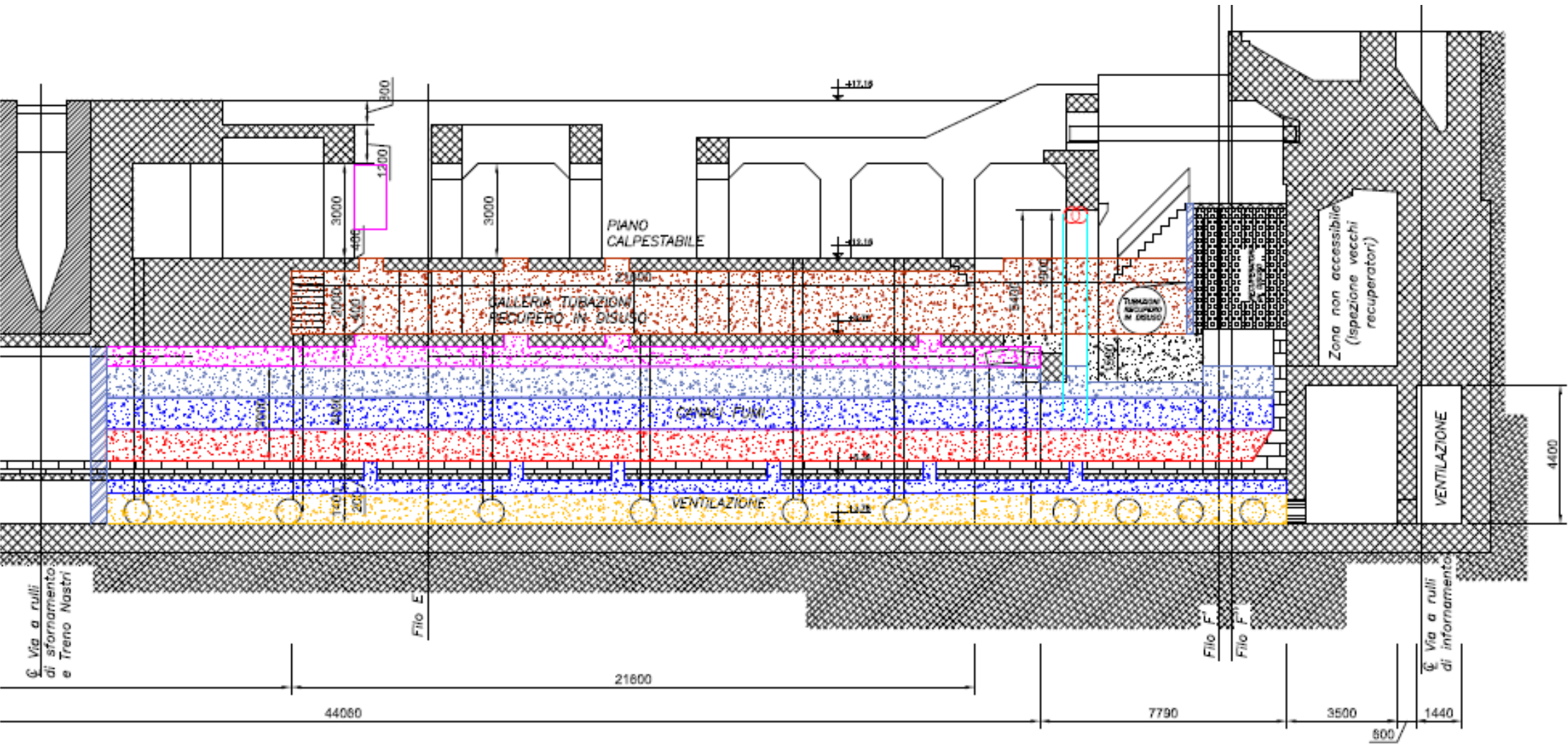




CASO STUDIO 4

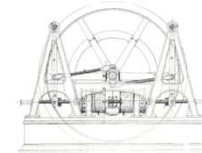
Fondazioni in C.A. Impianto Industriale

Intervento di Tombatura dei Livelli Inferiori





**FEDERAZIONE REGIONALE ORDINI
INGEGNERI DELLA TOSCANA**



**ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI LUCCA**

GRAZIE PER L'ATTENZIONE



Francesco Lippi

Francesco.lippi@ing.unipi.it

Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale - Università di Pisa