POLITECNICO DI TORINO

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Caratterizzazione tipologico-strutturale ed energetica di edifici esistenti nel Comune di Sant'Antonino di Susa

Analisi di un caso studio

Relatori

Prof. Bernardino CHIAIA

Prof. Alessandro Pasquale FANTILLI

Candidato

Valentina AMEDEO

Anno Accademico 2017/2018

Indice

Premessa **1**

CAPITOLO 1 - La scheda CARTIS **5**

1.1 La scheda CARTIS 2014 5

1.2 La compilazione della scheda CARTIS 2014 8

1.2.1 L'identificazione dei Comparti 9

1.2.2 L'identificazione delle Tipologie strutturali 15

1.2.3 Note alla compilazione della scheda 18

CAPITOLO 2 - La caratterizzazione strutturale dell'edificio tipo (C03-CAR1) **23**

2.1 L'edificio tipo 24

2.2 Il progetto originale 27

2.2.1 Caratteristiche meccaniche dei materiali 28

2.2.2 Il progetto strutturale 28

2.3 Il progetto secondo NTC 2008 34

2.3.1 La costruzione del modello 34

2.3.2 Caratteristiche meccaniche dei materiali e classe di esposizione 36

2.3.3 Parametri geotecnici 38

2.3.4 Analisi dei carichi 38

2.3.5 L'azione sismica 39

2.3.6 Condizioni e casi di carico 42

2.3.7 I travetti di solaio 45

2.3.8 Le travi 46

2.3.9 I pilastri 46

2.3.10 I plinti di fondazione 47

2.3.11 Il muro perimetrale 48

2.3.12 Il setto della Scala A 49

2.3.13 Gerarchia delle resistenze 49

2.4 Il grado di difformità 52

2.4.1 Il grado di difformità dei travetti di solaio 53

2.4.2 Il grado di difformità delle travi 55

2.4.3 Il grado di difformità dei pilastri 57

2.4.4 Il grado di difformità del setto Scala A 58

2.4.5 Il grado di difformità del muro perimetrale interrato 60

2.4.6 Il grado di difformità dei plinti di fondazione 60

2.4.7 Il grado di difformità dell'edificio 61

CAPITOLO 3 - La caratterizzazione energetica dell'edificio tipo (C03-CAR1) 63

3.1 Il progetto TABULA 64

3.1.1 CARTIS 2014 e progetto TABULA: tipologia strutturale C03-CAR1 e classe di edifici 65

3.2 Le caratteristiche dell'involucro esterno e dei sottosistemi di climatizzazione invernale 66

3.3 La prestazione energetica 69

CAPITOLO 4 - Il *carbon footprint* 73

4.1 L'impatto ambientale degli edifici esistenti 74

4.2 Il miglioramento energetico 75

4.2.1 La prestazione energetica migliorata 78

4.3 Il calcolo delle emissioni di CO_2 79

4.3.1 eCO_2 connesse all'aspetto strutturale 79

4.3.2 eCO_2 connesse all'aspetto energetico 81

4.4 Valutazioni congiunte degli aspetti strutturale ed energetico in termini di *carbon footprint* 83

4.4.1 Il confronto tra lo stato originale e la condizione migliorata 84

4.4.2 Il confronto tra lo stato originale e la costruzione ex novo 86

4.4.3 L'analisi dei risultati 92

Conclusioni 99

ALLEGATO A - La scheda CARTIS per il Comune di Sant'Antonino di Susa 103

ALLEGATO B - Progetto originale - Schemi dei ferri di armatura 139

B.1 Pianta fondazioni e schemi dei ferri 141

B.2 La tabella dei pilastri 144

B.3 Pianta primo solaio e schemi dei ferri 148

B.4 Pianta secondo solaio e schemi dei ferri 164

B.5 Pianta sottotetto e schemi dei ferri 184

B.6 Pianta solaio di copertura e schemi dei ferri 199

B.7 Muro perimetrale interrato 217

B.8 Setto Scala A 218

ALLEGATO C - Progetto secondo NTC 2008 - Schemi dei ferri di armatura 219

C.1 I travetti di solaio 221

C.2 Le travi 232

C.3 I pilastri 268

C.4 I plinti di fondazione 275

C.5 Il muro perimetrale 277

C.6 Il setto della Scala A 278

Bibliografia e sitografia 279

Premessa

La conoscenza del patrimonio edilizio italiano è divenuta, nel tempo, materia di primario interesse perché alla base di considerazioni inerenti tanto il comportamento strutturale quanto le caratteristiche energetiche del costruito nazionale. Se l'aspetto energetico ha rilevanza nel tentativo di evolvere verso una società a minimo impatto ambientale, quello strutturale è invece basilare allo scopo di ridurre, attraverso la programmazione di interventi di miglioramento e/o adeguamento sismico, l'elevata vulnerabilità sismica che accumuna la maggior parte di edifici residenziali italiani.

Secondo i dati raccolti con l'ultimo censimento ISTAT[1] (2011), in Italia, paese a medio-alta pericolosità sismica, il 74.1% dei quasi 12 200 000 edifici residenziali è stato costruito in epoche precedenti al 1980, con il 65% di questi ultimi che risale ad un periodo compreso tra il 1946 e il 1980. Si tratta, pertanto, di un parco edilizio piuttosto obsoleto, per lo più non progettato secondo i moderni criteri antisismici, basti pensare che fino al 1981 solo un quarto del territorio nazionale era classificato sismico, e spesso concepito senza nessuna attenzione al tema del risparmio energetico, aspetto normato per la prima volta nel 1976[2].

Il crescente interesse verso la descrizione del patrimonio edilizio esistente ha portato allo sviluppo, da parte di diversi organi competenti – GNDT, CNR, SSN, INGV, DPR –, di schedature atte ad acquisire durante campagne di rilevamento, i dati necessari alla valutazione dei fattori esposizione e vulnerabilità sismica, nonché alla classificazione degli edifici in funzione delle loro caratteristiche architettoniche e/o strutturali. Fra quest'ultima tipologia di schedature rientra la scheda CARTIS 2014. Sviluppata nell'ambito del Progetto ReLUIS 2014-2016 condotto dall'Università degli Studi Federico II di Napoli in collaborazione con il Dipartimento della Protezione Civile, la CARTIS è una schedatura volta alla *CAratterizzazione TIpologico-Strutturale* del patrimonio residenziale esistente su media scala (comunale o sub-comunale). Essa verrà sfruttata nella presente trattazione per identificare e descrivere le classi di edifici ordinari costituenti il patrimonio edilizio di Sant'Antonino di Susa (TO).

Volendo investigare nel dettaglio le caratteristiche strutturali ed energetiche di un edificio in calcestruzzo armato progettato in epoche passate, i dati acquisiti mediante la scheda CARTIS,

per il costruito santantoninese, saranno poi impiegati per scegliere la classe di edifici entro la quale identificare il caso studio a cui si farà riferimento.

Per l'analisi strutturale, il confronto tra i quantitativi di armatura previsti nel progetto originale per la realizzazione dell'organismo resistente in calcestruzzo armato e quelli prescritti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008[3] permetterà di indentificare un parametro, il *grado di difformità*, in grado di fornire indicazioni inerenti la vulnerabilità strutturale dell'edificio scelto come caso studio. Per quest'ultimo sarà anche valutata la prestazione energetica: il problema di irreperibilità di informazioni complete inerenti l'involucro edilizio ed i sottosistemi di riscaldamento, verrà superato avvalendosi di quanto contenuto nel Progetto TABULA[4]. Inoltre, il calcolo degli apporti e delle perdite di energia per la definizione del *fabbisogno annuale di energia primaria* riguarderà unicamente la climatizzazione invernale, avendo deciso di trascurare i contributi connessi alla produzione di acqua calda sanitaria.

A TABULA, progetto condotto per diversi Stati europei – Italia compresa – e dedicato alla caratterizzazione energetica delle più comuni classi di edifici residenziali, si farà anche riferimento per la valutazione della prestazione conseguibile per l'edificio tipo, nell'ipotesi che in esso siano eseguiti degli interventi *standard* di miglioramento energetico.

Infatti, pur potendo considerare terminato lo studio per la caratterizzazione strutturale ed energetica dell'edificio una volta determinati il *grado di difformità* e l'efficienza energetica (valutata allo stato di fatto), il calcolo del miglioramento energetico si rivelerà particolarmente utile nella fase conclusiva di analisi dei risultati ottenuti. Le considerazioni non si limiteranno ad un'osservazione separata degli aspetti strutturale ed energetico, ma, mediante l'introduzione delle emissioni di CO_2 legate alla produzione delle barre di acciaio per il calcestruzzo armato e al fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale, si tenterà di dare una lettura che prenda in esame contemporaneamente i due aspetti. L'intento sarà quello di porre in evidenza, attraverso considerazioni preliminari, gli effetti, in termini di *carbon footprint*, di interventi congiunti di miglioramento strutturale ed energetico.

La trattazione è così articolata. In apertura del Primo Capitolo, dopo una breve descrizione del progetto, della struttura e delle finalità della scheda CARTIS 2014, viene sinteticamente raccontato il lavoro di indagine, ricerca e studio preliminare, inerente allo sviluppo urbanistico e alle caratteristiche degli edifici del Comune di Sant'Antonino di Susa, necessario per la compartimentazione del territorio in aree omogenee e per l'identificazione delle tipologie

strutturali in esse contenute. Le schedature debitamente compilate sono presentate tra i documenti in allegato (Allegato A).

Il Secondo Capitolo è invece interamente dedicato alla caratterizzazione strutturale dell'edificio scelto come caso studio. Alla descrizione architettonica e strutturale della costruzione secondo i progetti originali, segue l'introduzione del nuovo progetto realizzato in ottemperanza alle NTC 2008. Gli elaborati originali, così come gli schemi dei ferri di armatura previsti con la riprogettazione sono riportati tra il materiale in allegato (Allegati B e C). La caratterizzazione strutturale termina con la determinazione dei quantitativi di armatura associati ad entrambe i progetti e il calcolo del *grado di difformità* che da essi ne deriva, prima definito per ciascuna tipologia di elemento strutturale, quindi esteso all'intero organismo resistente.

Nel Terzo Capitolo l'introduzione del Progetto TABULA precede alla identificazione delle caratteristiche di trasmissione dell'involucro esterno e del rendimento dei sottosistemi di emissione per la climatizzazione invernale. Il calcolo del *fabbisogno annuale di energia primaria* per il riscaldamento nelle condizioni di stato attuale chiude il Capitolo.

L'analisi dell'impatto ambientale correlato alle caratteristiche strutturali ed energetiche dell'edificio tipo viene presentata nel Quarto Capitolo, nel quale si trova anche la stima della prestazione energetica che segue all'esecuzione di interventi di miglioramento *standard*, così come previsti nel progetto TABULA. In chiusura del Capitolo, l'individuazione degli effetti della riqualificazione energetica e la comparazione diretta, in termini di emissioni di CO_2, tra gli ambiti strutturale ed energetico precedono il raffronto tra il bilancio di emissioni calcolato per l'edificio tipo nella condizione migliorata e quello stimato nell'ipotesi che il fabbricato sia realizzato ex novo. La discussione dei risultati ottenuti chiude la trattazione.

CAPITOLO 1
La scheda CARTIS

Applicata agli edifici ordinari costituenti il patrimonio edilizio di Sant'Antonino di Susa (TO), la scheda CARTIS 2014 consente di costruire un quadro completo delle tipologie strutturali prevalenti presenti nelle diverse aree, definite comparti, in cui è stato suddiviso il territorio comunale. La sua compilazione ha richiesto la ricerca e lo studio preliminare di cartografie e documenti in grado di fornire indicazioni sul patrimonio edilizio esistente e su come esso sia cresciuto e mutato nel tempo.

Prima di introdurre i criteri che hanno portato alla identificazione dei comparti e delle tipologie strutturali prevalenti contenute in essi, in apertura del presente Capitolo viene offerta una breve panoramica sulle finalità e sulla struttura della scheda CARTIS, utile premessa per poter comprendere al meglio le scelte compiute ai fini della compilazione della schedature e le note contenute nel Paragrafo 1.2.3.

La scheda CARTIS 2014, compilata in tutte le sue parti per descrivere il patrimonio edilizio di Sant'Antonino di Susa, viene presentata come documento allegato (si veda l'Allegato A).

1.1 La scheda CARTIS 2014

La scheda CARTIS 2014 nasce e viene sviluppata nell'ambito del progetto ReLUIS 2014-2016 condotto dall'Unità di Ricerca dell'Università degli Studi Federico II di Napoli in stretta collaborazione con il Dipartimento della Protezione Civile. Si tratta di una scheda di I livello, rivolta ai soli edifici ordinari, creata per mettere a frutto le conoscenze maturate nell'ambito di un precedente progetto di caratterizzazione tipologica, «*con l'intento di indagare sul panorama costruttivo nazionale, individuando sotto il profilo qualitativo caratteristiche costruttive locali*»[5]. L'evoluzione delle tecniche costruttive nel corso dei secoli e la loro variabilità territoriale, influenzata da culture e condizionamenti locali, hanno infatti favorito uno sviluppo disomogeneo del patrimonio edilizio, che si traduce in un ricco e variegato panorama di strutture ed edifici disseminati sul territorio nazionale, tale da renderne complicata la descrizione, a meno che non sia condotta un'analisi specifica e puntuale, su porzioni di territorio limitato.

Il periodo di costruzione, i materiali e le modalità esecutive hanno inoltre un'importante influenza sul comportamento degli edifici, ancor più quando si analizza la loro risposta nei confronti dell'azione sismica. La scheda CARTIS non solo consente individuare, riconoscere e descrivere le tipologie strutturali prevalenti negli insediamenti italiani e, conseguentemente, di costruire un inventario del patrimonio edilizio nazionale, ma anche di effettuare, mediante l'elaborazione dei dati raccolti, valutazioni inerenti l'esposizione e, soprattutto, la vulnerabilità sismica del costruito.

La scheda si articola in diverse sezioni che guidano il tecnico compilatore all'identificazione del territorio considerato, alla sua suddivisione in comparti e alla descrizione delle tipologie strutturali prevalenti che si distinguono in essi.

Nella **Sezione 0 – Identificazione Comune e Comparti** devono essere riportati i dati identificativi del Comune, dell'unità di ricerca ReLUIS e del tecnico comunale intervistato, nonché il numero di comparti previsti (parte A). Per la determinazione e la perimetrazione di questi ultimi devono essere considerate «*l'omogeneità del tessuto edilizio per età di primo impianto e/o le tecniche costruttive strutturali impiegate*»[5]. Tra i *dati generali del Comune* sono richiesti gli anni di prima classificazione sismica e di adozione del Piano Regolatore Generale Comunale, i numeri totali di residenti del Comune, di abitazioni e di edifici. Informazioni analoghe, ma relative ai singoli comparti, devono essere indicate nella tabella di sintesi *Elenco comparti* (parte B). La tabella fornisce una visione d'insieme dei comparti e delle tipologie strutturali che si trovano in ciascuno di essi. Per ogni area territoriale omogenea possono essere descritte fino a quattro differenti tipologie strutturali in muratura (MUR) e quattro in calcestruzzo armato (CAR), avendo cura di associare a ciascuna di queste la percentuale di edifici che le appartengono. Una *Planimetria del centro urbano con perimetrazione dei comparti e numerazione degli stessi* completa la Sezione 0. In questa sezione sono dunque racchiusi diversi aspetti che caratterizzano preliminarmente il territorio in esame e che, in una più ampia visione, divengono informazioni utili per la stima dell'esposizione sismica. Fattore che sappiamo essere strettamente connesso alla quantità, qualità e localizzazione degli elementi antropici che compongono la realtà territoriale – quali la popolazione insediata, gli edifici, i sistemi di infrastrutture – le cui condizioni e/o il cui funzionamento può essere alterato da un evento sismico.

Le sezioni successive alla 0 devono essere compilate per ciascuna tipologia strutturale. L'identificazione delle tipologie presenti all'interno di ogni comparto deve essere condotta, così come suggerito nel Manuale per la compilazione, in base alle informazioni richieste nelle sezioni

2 e 3, con particolare attenzione agli aspetti che hanno influenza sul comportamento sismico dell'edificio.

Nella **Sezione 1 – Identificazione tipologia**, oltre a definire il codice della tipologia in esame (IDT) con una stringa alfanumerica composta dai codici ISTAT di Regione, Provincia e Comune e da quelli che caratterizzano Comparto e Tipologia strutturale, deve essere indicata, mediante valori percentuali, la posizione del costruito nel contesto urbano: in aggregato o isolata. Anche questo dato diviene utile ai fini della valutazione di vulnerabilità ed esposizione sismica, essendo indice di possibili interazioni tra edifici contigui. Completano la sezione 1 una fotografia, una pianta e una sezione di un edificio tipo appartenente alla tipologia considerata.

La **Sezione 2 – Caratteristiche generali** racchiude una serie di informazioni relative alla configurazione in pianta ed in elevazione degli edifici appartenenti alla tipologia in esame, all'età di costruzione e alla destinazione d'uso prevalente. Alcune voci, prevedendo una risposta a scelta multipla, offro la possibilità al compilatore di individuare degli intervalli di variabilità tali da consentire di raggruppare un numero maggiore di edifici in un'unica tipologia strutturale.

La Sezione 3, dedicata alla caratterizzazione tipologica della struttura portante, si articola in diverse sottosezioni, in parte dedicate agli edifici realizzati con muratura portante e in parte a quelli con struttura in calcestruzzo armato. Nel primo caso dovrà essere compilata la **Sezione 3.1A – Caratterizzazione tipologica MURATURA**, altrimenti si dovrà far riferimento alla **Sezione 3.1B – Caratterizzazione tipologica CEMENTO ARMATO**. In entrambe le sottosezioni sono presenti alcune voci rivolte alla descrizione della caratteristiche principali della struttura portante: regolarità e tessitura della muratura, caratteristiche di solai e volte, presenza di strutture miste si trovano nella sezione 3.1A, mentre per gli edifici in CA dovranno essere definiti il tipo di telaio, le dimensioni dei pilastri e la loro armatura. Altre voci sono invece dedicate all'individuazione di elementi di vulnerabilità: per le murature sono elencate le principali problematiche che possono riguardare la struttura verticale (per esempio, mancanza di ammorsamenti tra pareti ortogonali e presenza di pilastri isolati), le connessioni, le fondazioni e l'eventuale presenza di irregolarità strutturali. Per le strutture in CA è richiesto di indicare la presenza o l'assenza di giunti di separazione e di elementi tozzi, la posizione delle tamponature rispetto al telaio portante e la loro disposizione al piano terra.
Ulteriori elementi di vulnerabilità, questa volta senza funzione strutturale, vengono considerati nella sottosezione **3.2 – Altre informazioni**, che torna ad essere valida per entrambe le tipologie strutturali. Oltre a questi, viene richiesto di definire il tipo e il materiale di copertura, la

percentuale di aperture in facciata, la tipologia di scale, la regolarità in pianta ed in elevazione e lo stato di conservazione generale.

L'ultima pagina della scheda è lasciata libera, pronta per accogliere eventuali annotazioni del tecnico compilatore.

1.2 La compilazione della scheda CARTIS 2014

La scheda viene compilata per il Comune di Sant'Antonino di Susa, paese di circa 4200 abitanti situato nella Bassa Val di Susa, lungo il versante orografico destro della Dora Riparia. Il suo territorio fa parte della Città Metropolitana di Torino e si sviluppa su una superficie di 9,96 kmq[6].

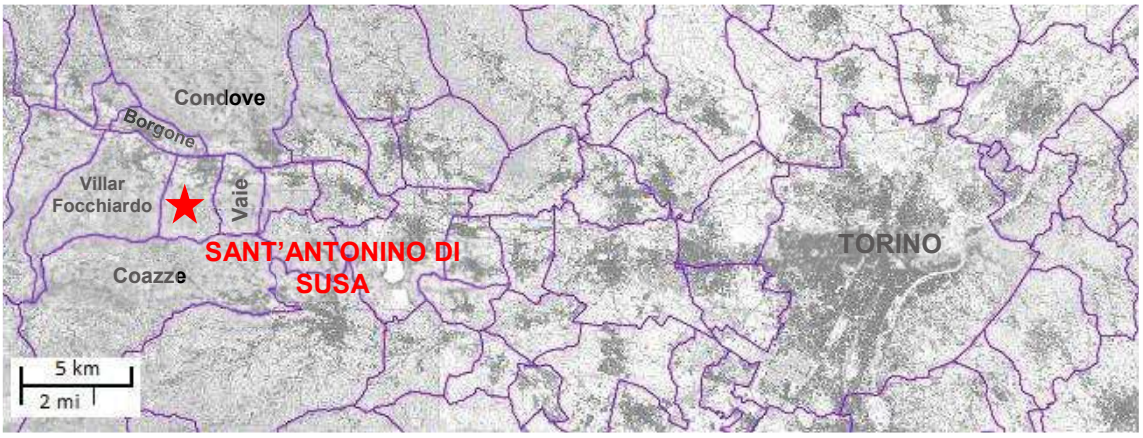


FIG. 1.1 Sant'Antonino di Susa - Il contesto territoriale (Estratto CTR Raster[7])

I primi dati certi sulla presenza di un nucleo edificato risalgono all'XI secolo, infatti diversi sono i documenti dai quali emerge *«l'esistenza, attestata già poco dopo l'anno 1000, di un centro abitato raccolto in un unico insediamento principale "nucleato", o borgo [..]»*[8], noto come Borgo di Sant'Agata e posizionato in corrispondenza dell'attuale centro storico, dove si trovano la Chiesa, la piazza principale e il Municipio. Nel corso dei secoli la popolazione santantoninese e cresciuta e con essa è cresciuto anche il numero di abitazioni, sorte per lo più in aree contigue al centro del Paese, ma anche in prossimità dei nuclei storici che rappresentano il cuore delle borgate Cresto, Maisonetta e Vignassa. A partire dal secondo Dopoguerra, lo sviluppo locale, trainato principalmente da edilizia e commercio, associato all'assenza di una pianificazione di area vasta, ha determinato una crescita urbanistica piuttosto disordinata e disarmonica, ancora oggi ben riconoscibile. Sulla base di queste informazioni storiche e mediante la consultazione di

mappe e del PRGC, si è giunti alla determinazione dei comparti e, successivamente, delle tipologie strutturali prevalenti contenute in ciascuno di essi. Nei due Sottoparagrafi che seguono si spiegano le scelte fatte.

1.2.1 L'identificazione dei Comparti

Ricordando la definizione di comparto, così come fornita dal Manuale per la compilazione della scheda CARTIS 2014 e riportata nel Paragrafo 1.1, è apparso da subito naturale basare la suddivisione del territorio di Sant'Antonino di Susa sull'analisi del Piano Regolatore Generale

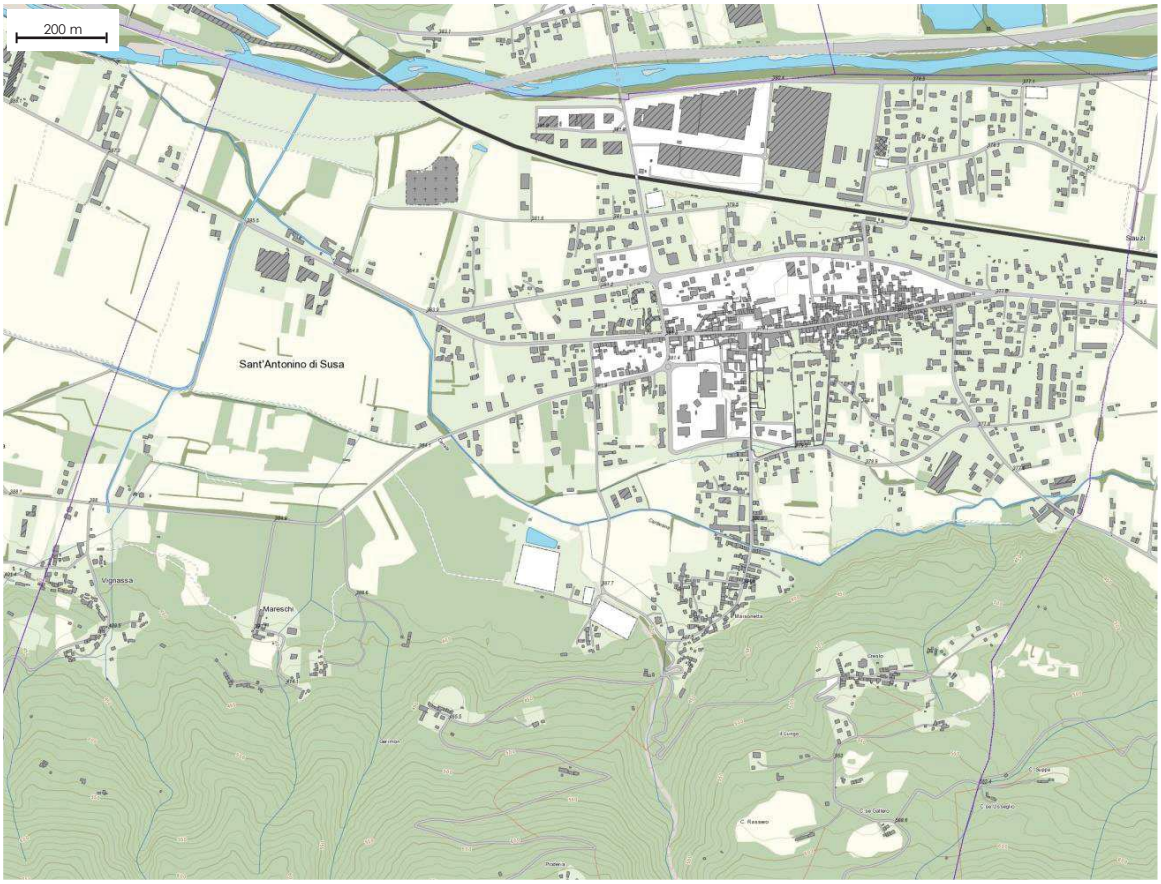


FIG. 1.2 Sant'Antonino di Susa - Estratto Sfondo Cartografico Regione Piemonte[4]

Comunale attuale e di altre mappe storiche[9,10], così da capire quale sia stata l'evoluzione temporale e spaziale del costruito nel territorio comunale. Oggetto dello studio sono stati i soli edifici ordinari, ovvero «*per lo più [..] edifici multipiano caratterizzati da struttura in muratura o calcestruzzo armato intelaiato o a setti, altezze di interpiano e interasse tra elementi strutturali verticali contenuti*»[5]. Per tale ragione le aree edificate impiegate per la produzione industriale e per attrezzature pubbliche polifunzionali (scuola, asilo, impianti sportivi), pur essendo state identificate con il comparto C04, riportato nella Tabella di sintesi *Elenco comparti* della scheda

(Sezione 0, parte B) ed evidenziato in FIG. 1.3, non sono però state oggetto di ulteriori approfondimenti in merito alle tipologie di edifici in esse contenuti.

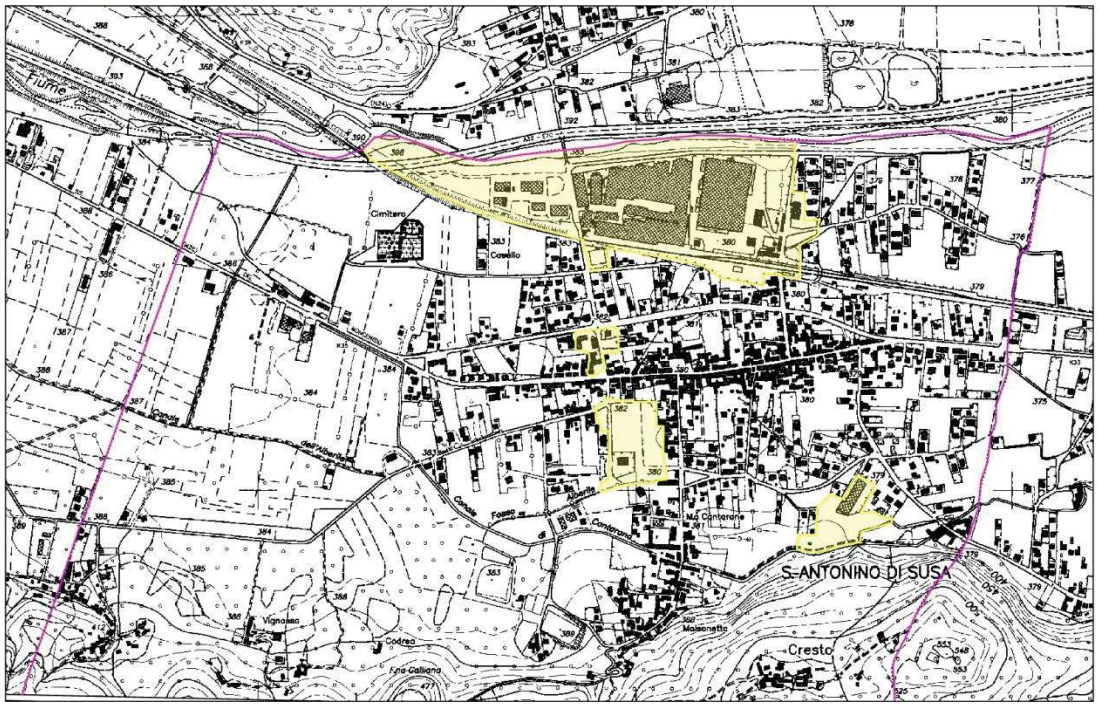


FIG. 1.3 Comparto C04: Zona industriale e aree polifunzionali - Estratto cartografia Sant'Antonino di Susa (Scala 1:20000)

Inoltre, per evitare di appesantire e per rendere più leggibile la cartografia in cui sono evidenziati i diversi comparti, le aree destinate a prato e seminato, alle colture, alle attività agricole e tutte quelle zone che non hanno rilevanza ai fini della compilazione della scheda, non sono state né perimetrate, né identificate entro uno specifica area omogenea.

In totale sono stati individuati 4 comparti. Il Centro storico del Paese, che si sviluppa principalmente lungo Via Torino, costituisce il comparto C01 e la sua perimetrazione (FIG. 1.6) segue fedelmente quella presente nel Piano Regolatore Generale Comunale (FIG. 1.4).

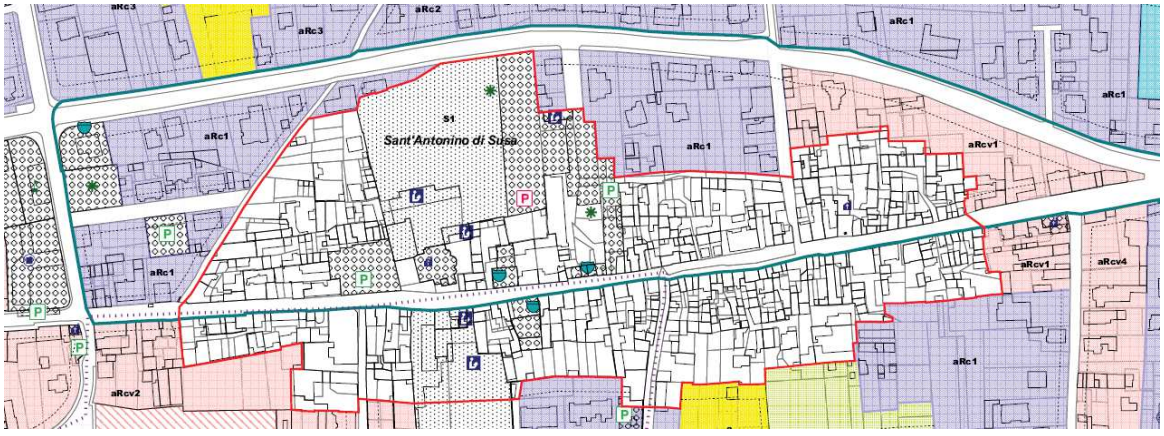


FIG. 1.4 Centro Storico di Sant'Antonino di Susa - Estratto PRGC[11] (Disegno fuori scala)

Fanno parte dello stesso comparto anche le aree di centro storico distaccate che costituiscono i nuclei delle borgate Cresto, Maisonetta, Vignassa e delle più piccole Codrei, Mareschi, Piochera, Santamborno e Pian Palmero. Anche la perimetrazione delle borgate ricalca parzialmente quella usata nel PRGC per identificare i nuclei frazionali (FIG 1.5).

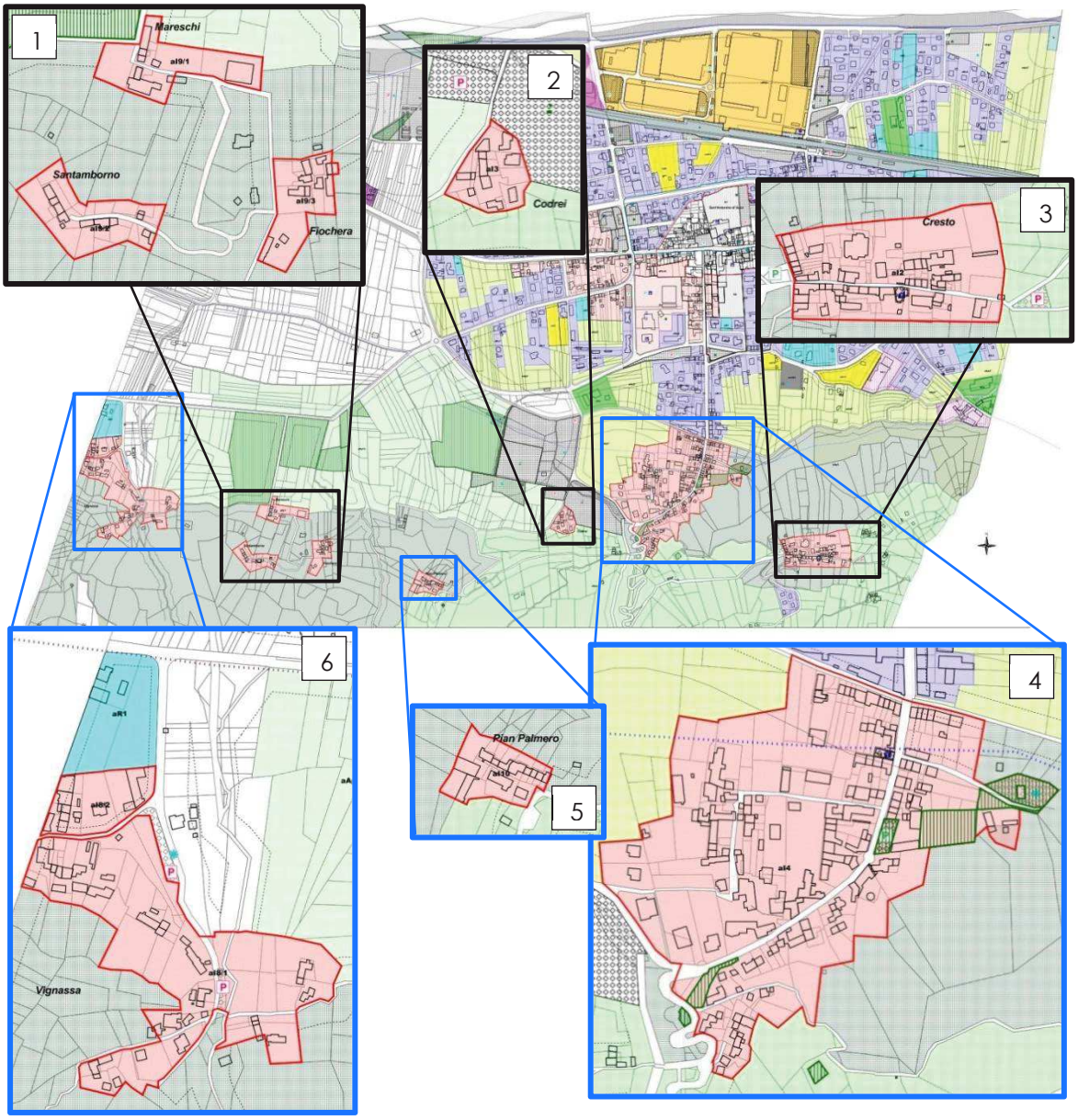


FIG. 1.5 Nuclei frazionali di Sant'Antonino di Susa: Santamborno, Mareschi, Piochera [1], Codrei [2], Cresto [3], Maisonetta [4], Pian Palmero [5] e Vignassa [6] - Estratto PRGC[11]

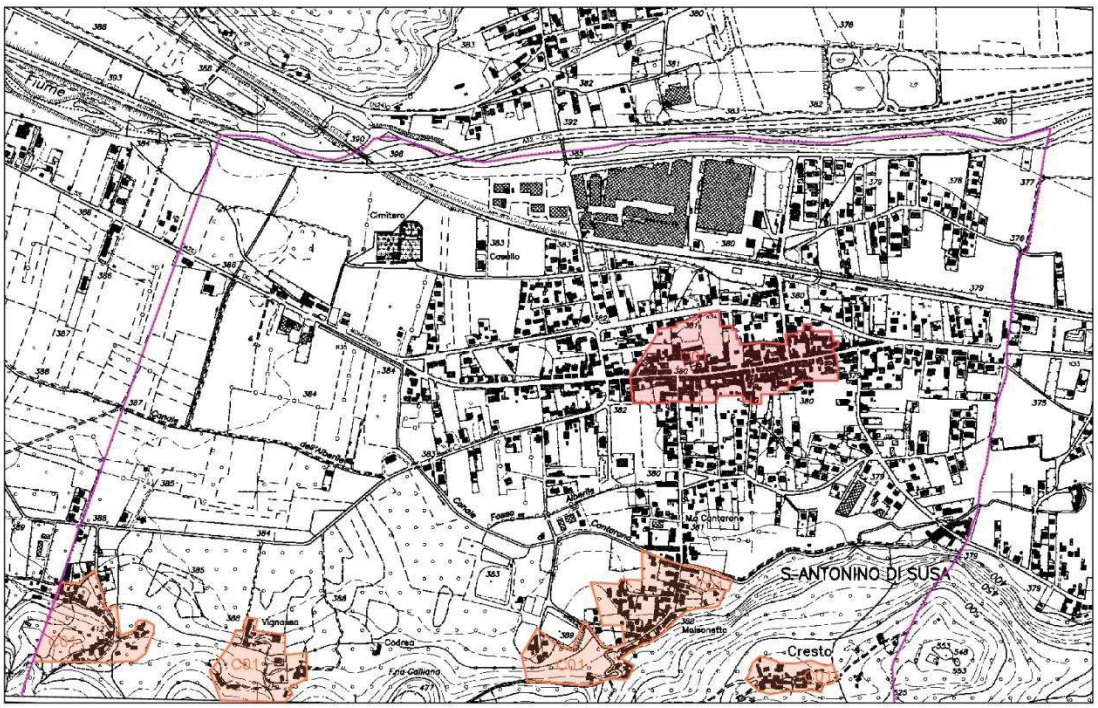


FIG. 1.6 Comparto C01: Centro storico e nuclei frazionali - Estratto cartografia Sant'Antonino di Susa (Scala 1:20000)

Per l'individuazione del comparto C02 si è partiti dal considerare quelle che nel PRGC vengono definite le Aree Residenziali Consolidate di Vecchia Formazione (FIG. 1.7), nelle quali si trovano per lo più edifici costruiti nella prima metà del Novecento.

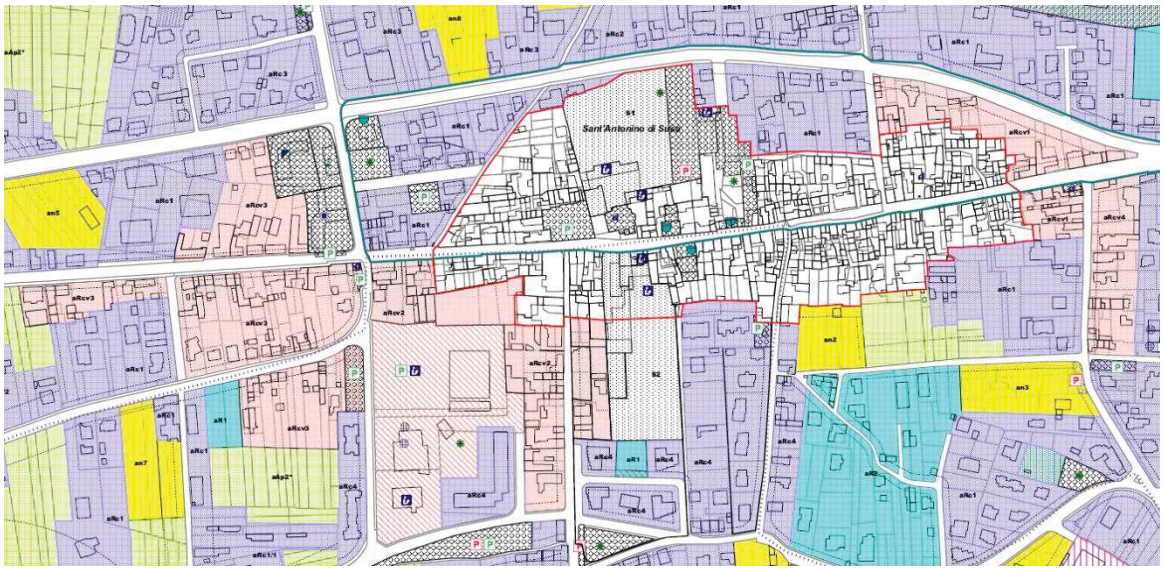


FIG. 1.7 Aree residenziali consolidate di vecchia formazione Sant'Antonino di Susa - Estratto PRGC[11] (Disegno fuori scala)

L'esclusione delle costruzioni realizzate dopo il 1960, associata all'inclusione di edifici realizzati nel periodo 1861-1961, anche se appartenenti ad altre aree normative del PRGC, ha portato alla configurazione finale del comparto (FIG. 1.8). La conformazione piuttosto articolata delle aree

che lo compongono, la loro frammentazione e posizione sul territorio sono aspetti che attestano ulteriormente il carattere disordinato che contraddistingue lo sviluppo urbanistico di Sant'Antonino.

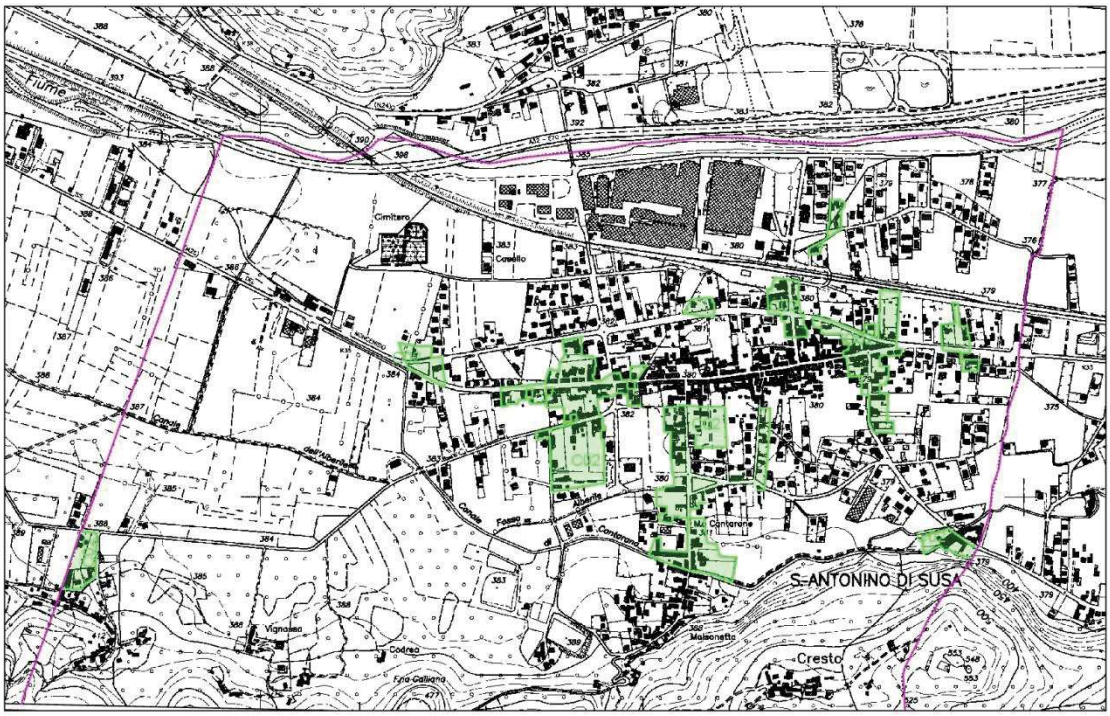


FIG. 1.8 Comparto C02: Espansione 1 - Estratto cartografia Sant'Antonino di Susa (Scala 1:20000)

Le caratteristiche del tessuto edilizio del Paese sono state vincolanti anche per la perimetrazione del comparto C03: l'impossibilità di definire zone omogenee, contraddistinte dalla presenza di edifici con caratteristiche strutturali e/o età di primo impianto similari, di dimensione contenuta ha portato alla definizione di un unico comparto (FIG. 1.10). Esso comprende una porzione di territorio piuttosto vasta che indicativamente corrisponde alle zone normative del Piano Regolatore definite Aree Residenziali Consolidate di nuova formazione, Aree di Completamento e Aree Residenziali di Nuovo Impianto (FIG. 1.9).

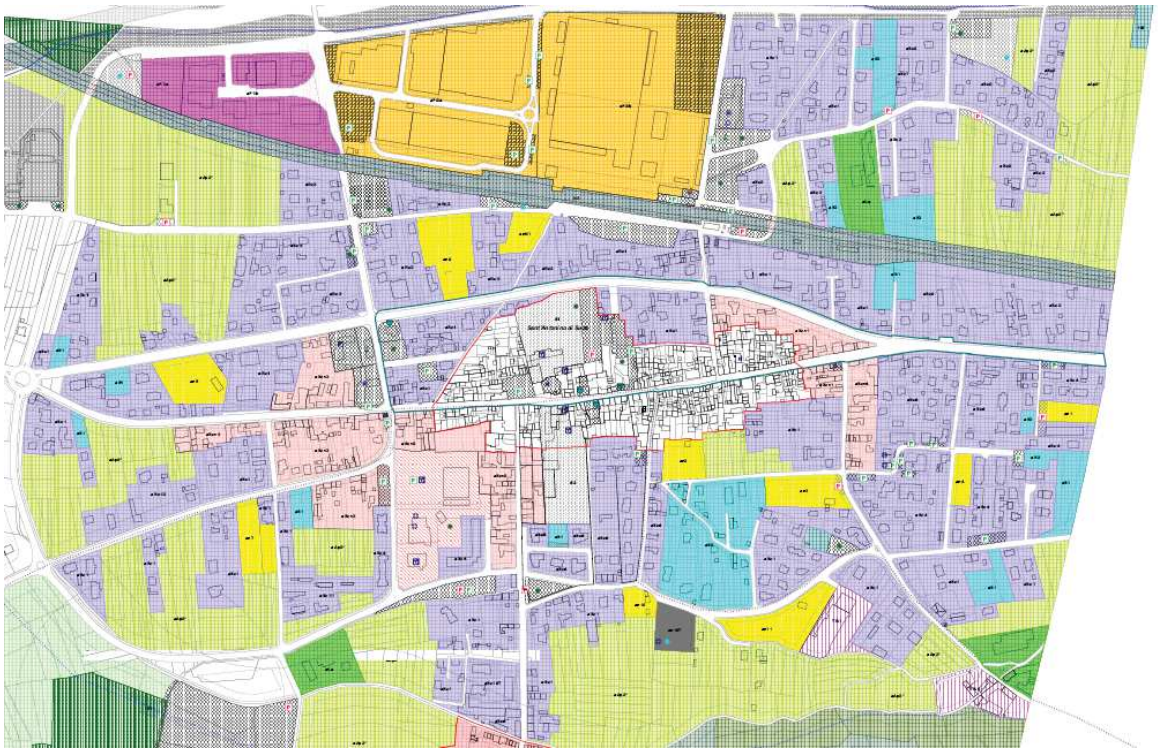


FIG. 1.9 Aree residenziali consolidate di nuova formazione, aree di completamento e aree residenziali di nuovo impianto Sant'Antonino di Susa - Estratto PRGC[11] (Disegno fuori scala)

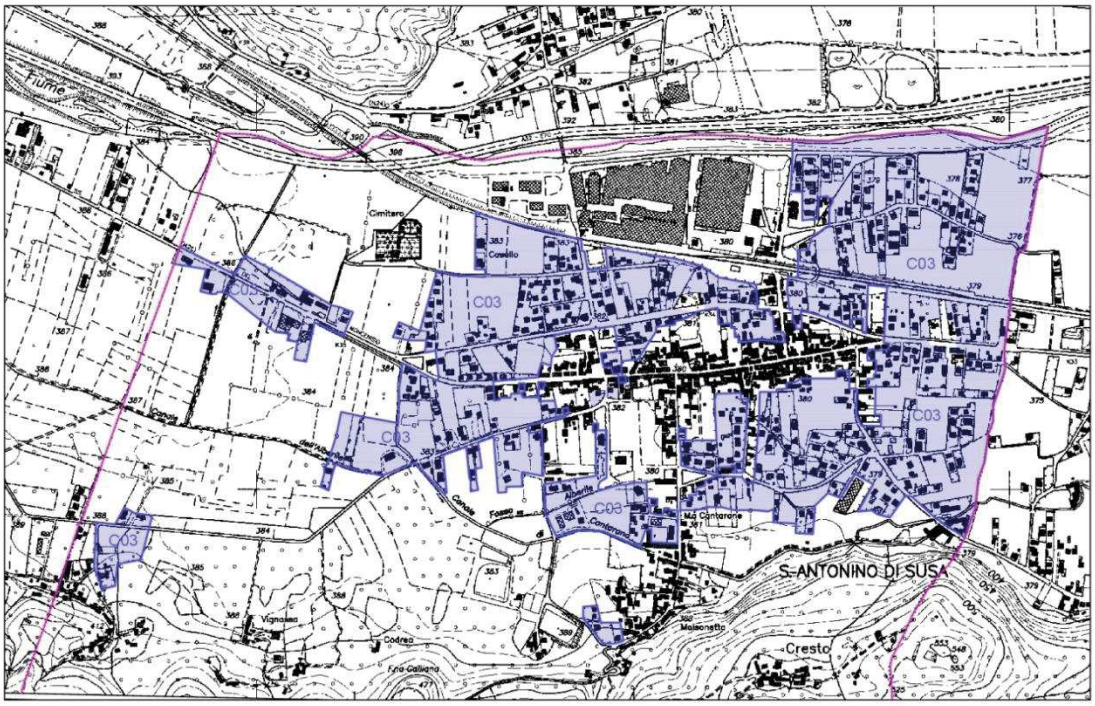


FIG. 1.10 Comparto C03: Espansione 2 - Estratto cartografia Sant'Antonino di Susa (Scala 1:20000)

1.2.2 L'identificazione delle Tipologie strutturali

Nel comparto C01, che comprende il centro storico del paese e gran parte dei nuclei frazionali, sono raggruppati gli edifici più antichi di Sant'Antonino. In apertura del presente Capitolo si è fatto cenno al periodo di primo insediamento del territorio, che si colloca in principio dell'anno Mille. L'attuale configurazione delle aree in esame è però legata a epoche più recenti. Documenti e mappe tra XVIII e XIX secolo, come quella di FIG. 1.11, mostrano infatti come a quel tempo sia il centro storico che i nuclei frazionali avessero raggiunto un'estensione paragonabile a quella attuale: la maggior parte degli edifici contenuti all'interno del comparto C01 risale pertanto a quel periodo. Si tratta di costruzioni realizzate precedentemente al 1860, aventi struttura portante in pietra, con caratteristiche planimetriche e volumetriche similari, tali da rendere possibile la definizione di una sola tipologia strutturale, identificata con il codice MUR1. Le uniche caratteristiche variabili, quali le tipologie dei solai e delle volte, sono comunque state prese in considerazione e inserite nella scheda sfruttando le opzioni a scelta multipla.

FIG. 1.11 Sant'Antonino di Susa - Estratto Carta degli Stati Sabaudi del 1852[10]

All'interno del comparto C02 sono raggruppati edifici costruiti tra il 1861 e il 1961. In questo arco temprale sono state realizzate abitazioni con struttura portante in muratura,

prevalentemente in pietra (C02-MUR1). Con la tipologia strutturale C02-MUR1 vengono descritti edifici in pietra costruiti per lo più tra il 1900 e il 1945 e comunque non prima del 1861. Si tratta di costruzioni che, per dimensioni, materiali e struttura portante, sono assimilabili a quelle viste nel comparto C01, eccezion fatta per il tipo di scala impiegato, spesso non più a volta rampante, ma costituito da una pedata in pietra incastrata nella muratura portante da un lato e supportata da un muro in mattoni appositamente realizzato all'altra estremità.

Come spiegato nel Sottoparagrafo 1.2.1, la disomogeneità del tessuto edilizio di Sant'Antonino è stata determinante per la perimetrazione del comparto C03. Esso comprende un'area piuttosto estesa del territorio comunale ed il patrimonio edilizio che si trova racchiuso al suo interno risulta essere alquanto disomogeneo, sia per l'età di primo impianto che per le tecniche costruttive e strutturali che lo contraddistinguono. L'intento di limitare il numero di tipologie strutturali definite per il comparto, così come suggerito nel Manuale per la compilazione della scheda CARTIS, ha portato alla definizione di tre classi di edifici, sufficienti, grazie alla possibilità di sfruttare, ove possibile, le risposte a scelta multipla, a descrivere il patrimonio edilizio contenuto nel comparto C03.

La descrizione delle 3 tipologie prevalenti, una individuata per gli edifici in muratura (C03-MUR1) e due definite per gli edifici in calcestruzzoo armato (C03-CAR1 e C03-CAR2), non consente solo di porre in evidenza le peculiarità strutturali del costruito, ma anche di chiarire quali siano le epoche di costruzione alle quali tali edifici appartengono, tenuto conto che il comparto C03 comprende costruzioni ordinarie realizzate in un periodo di tempo che dal 1946 arriva ai giorni nostri.

La tipologia C03-MUR1, in assoluto prevalente nel comparto C03, racchiude edifici realizzati tra il 1946 e il 1982, per i quali è stata compilata la sezione della scheda CARTIS 3.1A – *Caratterizzazione tipologica MURATURA*, anche se nella pratica si tratta di strutture miste, non più realizzate con sola muratura portante, ma sfruttando l'accoppiamento della muratura perimetrale a cassa-vuota con un sistema di pilastri centrali in calcestruzzo armato (informazioni che nella sezione 3.1A della scheda sono riportate alla voce *i. Strutture miste*). A questa tipologia appartengono sia edifici realizzati con copertura leggera in legno (prevalentemente nell'arco di tempo tra il 1946 e il 1971) che con copertura pesante in calcestruzzo armato (sistema adottato per lo più a partire dagli anni Settanta).

Per gli edifici del comparto C03 costruiti con struttura portante in calcestruzzo armato è stato necessario individuare due tipologie strutturali: C03-CAR1 per le costruzioni realizzate tra il 1946

e il 1981 e C03-CAR2 per descrivere gli edifici più recenti, costruiti tra il 1982 e oggi. Il 1982 rappresenta un importante spartiacque perché è l'anno a cui risale la prima classificazione sismica del territorio santantoninese[12], che entra nell'elenco delle zone con grado di sismicità S=9 (zona sismica di II categoria).

La compilazione della sezione 3.1B – *Caratterizzazione tipologica CEMENTO ARMATO* per entrambe le tipologie in calcestruzzo armato, ed il successivo confronto incrociato delle informazioni raccolte, consente di porre in evidenza similitudini e differenze fra le due categorie di edifici. La struttura portante è costituita da telai monodirezionali (C03-CAR1) o bidirezionali (C03-CAR2) aventi travi in spessore di solaio e tamponature poco consistenti o assenti. A seconda dell'età di costruzione, per effetto dello sviluppo della normativa tecnica - con particolare attenzione alle prescrizioni per le costruzioni in zona simica - e dei metodi di calcolo usati per la progettazione, per le due tipologie in cemento armato si registrano variazioni delle caratteristiche degli elementi resistenti e modifiche dei quantitativi di armatura in essi contenuti. Concentrando l'attenzione unicamente sulla caratteristiche dei pilastri (così come richiesto nella sezione 3.1B, voce *i. Armature pilastri*), per essi emerge un incremento percentuale di armatura longitudinale (per effetto del crescente numero di ferri nella sezione e dell'aumento dei diametri impiegati) che riguarda le costruzioni più recenti. Le staffe dei pilastri della tipologia C03-CAR2 presentano inoltre diametri più grandi e interassi più contenuti se paragonati a quelli degli elementi portanti verticali della tipologia C03-CAR1. Anche il tipo di giunti di separazione adottati fra edifici contigui muta nel tempo: nel periodo 1946-1971 i giunti non hanno caratteristiche tali da poter essere considerati a norma (infatti per la classe C03-CAR1 la percentuale assegnata alla voce *b. giunti di separazione* fuori norma si attesta al 20%), condizione che invece è raggiunta dalla maggioranza di edifici costruiti dopo il 1982. Le maglie strutturali e le dimensioni planimetriche rimangono pressoché immutate tra le due tipologie, mentre cambiano il numero di piani e il tipo di copertura: le abitazioni in calcestruzzo armato costruite tra il 1946 e il 1981 – si tratta degli edifici appartenenti alla tipologia strutturale C03-CAR1 – hanno tetti realizzati in legno o in cemento armato e presentano generalmente un maggior numero di piani rispetto alle costruzioni descritte dalle tipologia C03-CAR2, che hanno invece sviluppo in elevazione più contenuto e copertura pesante realizzata, nella maggior parte dei casi, in cemento armato.

Per finire, si ricorda che il comparto C04 non comprende nessuna tipologia strutturale poiché individuato con l'intento di perimetrare quelle porzioni di territorio in cui sono presenti edifici

non ordinari, ovvero costruzioni che non devono essere considerate nella compilazione della scheda CARTIS.

Nella Tabella 1.1 sono elencati i quattro comparti e le cinque tipologie strutturali identificate per il Comune di Sant'Antonino di Susa e precedentemente descritte. Il confronto fra le tipologie, indipendentemente dal comparto a cui esse appartengono, consente di effettuare alcune osservazioni generali sull'evoluzione delle tecniche costruttive e sui diversi materiali impiegati per le costruzioni.

COMPARTO	TIPOLOGIE STR.	ETA' DI COSTRUZIONE	% TIPOLOGIA NEL COMPARTO
C01	MUR1	<1860	98
C02	MUR1	1861-1900 & 1900-1945	98
C03	MUR1 CAR1	1946-1961 → 1976-1981	55 25
	CAR2	1982-OGGI	20
C04	Edifici non ordinari		

TAB. 1.1 Comparti e tipologie strutturali identificati per il Comune di Sant'Antonino di Susa

Se nelle epoche più antiche la pietra rappresentava l'unico materiale facilmente reperibile per realizzare costruzioni stabili e durature, con il passare del tempo, l'introduzione di altri materiali e tecniche di costruzione ha portato all'affermazione di ulteriori tipologie strutturali: la diffusione degli edifici in muratura portante in pietra (C01-MUR1 e C02-MUR1), prevalenti fino alla prima metà del Novecento, si è drasticamente ridotta a favore della realizzazione di costruzioni con struttura mista (C03-MUR1) o telai in calcestruzzo armato (C03-CAR1 e C03-CAR2).

Dal confronto fra le percentuali di diffusione delle tipologie nel comparto C03, è interessante notare, inoltre, come nell'arco di tempo che dal 1946 arriva ai giorni nostri, le costruzioni miste risultino essere prevalenti rispetto a quelle realizzate con struttura in CA. Tuttavia l'impiego di telai in calcestruzzo armato si è consolidato nel tempo, divenendo il sistema costruttivo predominante a partire dagli anni Ottanta.

1.2.3 Note alla compilazione della scheda

In questa paragrafo sono racchiuse doverose precisazioni inerenti la compilazione della scheda CARTIS per il Comune di Sant'Antonino di Susa che non hanno trovato spazio nei Sottoparagrafi precedenti.

- Nella Tabella di sintesi *Elenco comparti* (Sezione 0 della scheda), alle tipologie strutturali C01-MUR1 e C02-MUR1, uniche nel comparto, sono associate delle percentuali inferiori al 100%. Il mancato raggiungimento del valore percentuale massimo è indice della presenza all'interno del comparto di edifici che, per caratteristiche costruttive e strutturali, non rientrano nella tipologia descritta, ma che, al contempo, data la loro limitata diffusione, non è stato possibile definire mediante l'introduzione di un'ulteriore tipologia strutturale. Mentre gli edifici del comparto C02 non descritti appartengono a epoche similari a quelli definite per la tipologia C02-MUR1, differenziandosi essenzialmente da questa ultima per il tipo di muratura impiegata, non più pietra, ma mattoni, nel comparto C01 si trovano costruzioni che, vista la loro posizione nel territorio, non è stato possibile includere in un differente comparto. Si prenda come esempio la palazzina di 5 piani fuori terra costruita in centro Paese negli anni Sessanta, all'angolo tra Piazza Libertà e Via Torino.
- Per la determinazione del *numero di edifici* residenziali presenti in ciascun comprato (colonna *e* della Tabella di sintesi *Elenco comparti*, Sezione 0) sono stati impiegati i dati contenuti all'interno di uno stradario aggiornato al mese di Novembre 2014. L'analisi del numero di accessi carrabili associato a ciascuna via del Paese ha permesso infatti di quantificare il numero di edifici presenti in ciascuna porzione in cui è stato suddiviso il territorio. Le voci *d. Residenti e. Superficie coperta* e *f. Abitazioni* della Tabella di Sintesi non sono state compilate poiché non si disponeva di dati sufficientemente affidabili e aggiornati.
- A differenza di quanto suggerito dalla simbologia adottata nella scheda, che prevede la possibilità di scelta multipla in presenza di caselle quadrate (☐) e di un'unica scelta quando le caselle sono tonde (◯), e seguendo le indicazioni presenti all'interno del Manuale per la compilazione della scheda CARTIS, per alcune voci sono state selezionate più opzioni, malgrado la simbologia ne prevedesse una sola. Nello specifico ciò è accaduto nella sezione 2 – *Caratteristiche generali* alla voce *f. Età di costruzione*, per la quale il Manuale consente la scelta di due opzioni per indicare il range di variabilità dell'età di costruzione, e nella sezione 3.2 – *Altre informazioni* alla voce *a. Copertura*, per la quale è possibile indicare al più due tipologie differenti di tetti.

  L'incremento del numero di opzioni di scelta concesso dal Manuale ha consentito maggiore variabilità nella descrizione delle classi di edifici e, conseguentemente, ha permesso di limitare il numero di tipologie strutturali identificate per rappresentare il

patrimonio edilizio del Paese, senza per questo dover ricorrere a descrizioni parziali o incomplete.

- Per tutte le tipologie strutturali in muratura, la risposta – SI, NO o NON SO – alla *Presenza di travi di colmo di notevoli dimensioni mal collegate* (Sezione 3.1 A, voce *l. Ulteriori elementi di vulnerabilità per le murature*, riga 10) è dipesa, una volta appurata la scarsa qualità della connessione, dal rapporto tra l'altezza tipica della sezione della trave di colmo (*h*) e il suo sviluppo in lunghezza (*l*), tenuto conto che i rapporti *h/l* tipici per il predimensionamento delle travi in legno sono compresi tra 1/20 e 1/17. Pertanto, le travi di colmo delle coperture della tipologia C01-MUR1, che presentano generalmente una sezione circolare con diametro medio di 30 cm (il quadrato inscritto nella sezione ha perciò lato pari a circa 21 cm) e una lunghezza di 5 m, non sono state considerate di grandi dimensioni, mentre le travi di colmo con sezione tipica quadrata di lato 40 cm e con lunghezza variabile 4-6 m delle coperture in legno della tipologia C03-MUR1 sono state considerate avere grandi dimensioni.
- Nella descrizione delle tipologie strutturali, per le voci a risposta singola, in presenza di un sostanziale equilibrio nella percentuale di diffusione della caratteristica esaminata nella tipologia, la scelta è sempre ricaduta sull'opzione più sfavorevole per il comportamento strutturale dell'edificio, per la sua risposta all'azione sismica e/o per la sua vulnerabilità ed esposizione sismica.

  Un analogo criterio è stato adottato anche per la determinazione delle caratteristiche inerenti le *Armature pilastri* (Sezione 3.1 B, *voce i*): la percentuale di *Armatura longitudinale* nel pilastro, l'interasse e il diametro delle staffe (righe 1,2 e 3, rispettivamente) sono state definite prendendo in esame le soluzioni tipiche adottate nei periodi 1946-1981 (C03-CAR1) e 1982-oggi (C03-CAR2) per poi scegliere i valori più rappresentativi, ma sempre tendenti alle soluzioni più sfavorevoli.
- Per diverse tipologie strutturali dei comparti C02 e C03 è stato necessario inserire, nella pagina dedicata alle Note, alcune precisazioni a completamento di quanto selezionato in diverse voci nelle sezioni precedenti.

  Per la tipologia C02-MUR1 l'opzione *D – Scale con gradini a sbalzo* scelta alla voce *g. Tipologia scale* della sezione 3.2 – *Altre informazioni*, descrive solo parzialmente il sistema costruttivo adottato. Quest'ultimo infatti è caratterizzato, così come specificato nelle Note, dall'utilizzo di una pedata in pietra incastrata da un lato nella muratura portante e sorretta da mattoni in laterizio all'altra estremità.

Nelle Note della tipologia MUR1 del comparto C03 viene invece specificato che la percentuale definita alla voce *c. Presenza di Catene o Cordoli* tiene conto anche di quegli edifici che presentano solo i cordoli di piano e non quello in sommità. Tale precisazione risulta doverosa in quanto il Manuale per la compilazione della scheda CARTIS non chiarisce se, per la valutazione della percentuale di catene o cordoli, si debba fare riferimento ai soli cordoli in sommità o, come inteso e fatto per tutte le tipologie strutturali, ai cordoli in corrispondenza di tutti i piani dell'edificio.

CAPITOLO 2

La caratterizzazione strutturale dell'edificio tipo (C03-CAR1)

La compilazione della scheda CARTIS 2014 ha permesso di porre in evidenza le diverse tipologie costruttive caratterizzanti il patrimonio edilizio del Comune di Sant'Antonino di Susa: per quanto concerne gli edifici realizzati in calcestruzzo armato, sono state individuate due tipologie strutturali, entrambe contenute all'interno del comparto C03. A partire da questo Capitolo l'attenzione sarà interamente rivolta ad un singolo edificio, appartenente alla tipologia C03-CAR1, per il quale sarà svolta l'analisi strutturale che, insieme al calcolo della prestazione energetica condotto nel Capitolo successivo, sarà alla base delle considerazioni e dei confronti, in termini di emissioni di CO_2, proposti al termine della trattazione.

La scelta dell'edificio tipo da considerare per le suddette analisi è ricaduta su di uno esistente appartenente alla tipologia strutturale caratterizzata, all'interno della scheda CARTIS, dal codice C03-CAR1, ovvero alla classe di edifici in calcestruzzo armato che, per epoca di costruzione (1946-1981), presenta caratteristiche strutturali ed energetiche che si discostano maggiormente da quanto prescritto dalle normative più attuali. Lo studio di un edificio appartenente a questa categoria è particolarmente significativo dal punto di vista strutturale perché, così come emerge dalla scheda CARTIS, la prima classificazione sismica del territorio santantoninese risale al 1982[12], anno in cui Sant'Antonino viene inserito nell'elenco di Comuni con grado di sismicità S=9, corrispondente alla zona sismica di II categoria. Pertanto, il caso studio analizzato, risalente ai primi anni Ottanta, è stato progettato per resistere ai soli carichi gravitazionali, ma si trova in un territorio avente medio-bassa pericolosità sismica (classe sismica 3s secondo la normativa più attuale[13]).

Nei Paragrafi che seguono, dopo una breve descrizione dell'edificio tipo, verrà sviluppata l'analisi strutturale, mediante la quale, a partire dal progetto originale, si ridefiniranno i quantitativi di armatura, al fine di soddisfare le prescrizioni contenute nelle NTC 2008. Il confronto di tali quantitativi con quelli previsti originariamente consentirà di calcolare il parametro *grado di difformità* e di caratterizzare strutturalmente l'edificio scelto come caso studio.

Gli elementi strutturali concepiti così come previsto negli elaborati originali e le tavole del nuovo progetto sono riportate tra i documenti in allegato. Si consultino gli Allegati B e C.

2.1 L'edificio tipo

L'edificio residenziale oggetto di studio è una villetta monofamiliare costruita in principio degli anni Ottanta nel Comune di Sant'Antonino di Susa. Costituita da 3 piani fuori terra ed un piano interrato, essa ha struttura portante in calcestruzzo armato.

Di seguito vengono riportate le piante e le sezioni estratte dagli elaborati architettonici. Poiché nell'edificio sono previste due rampe di scale, la prima che dal piano interrato porta al primo piano e la seconda che collega primo piano e piano sottotetto, a queste si farà riferimento identificandole come *Scala A* e *Scala B*, rispettivamente.

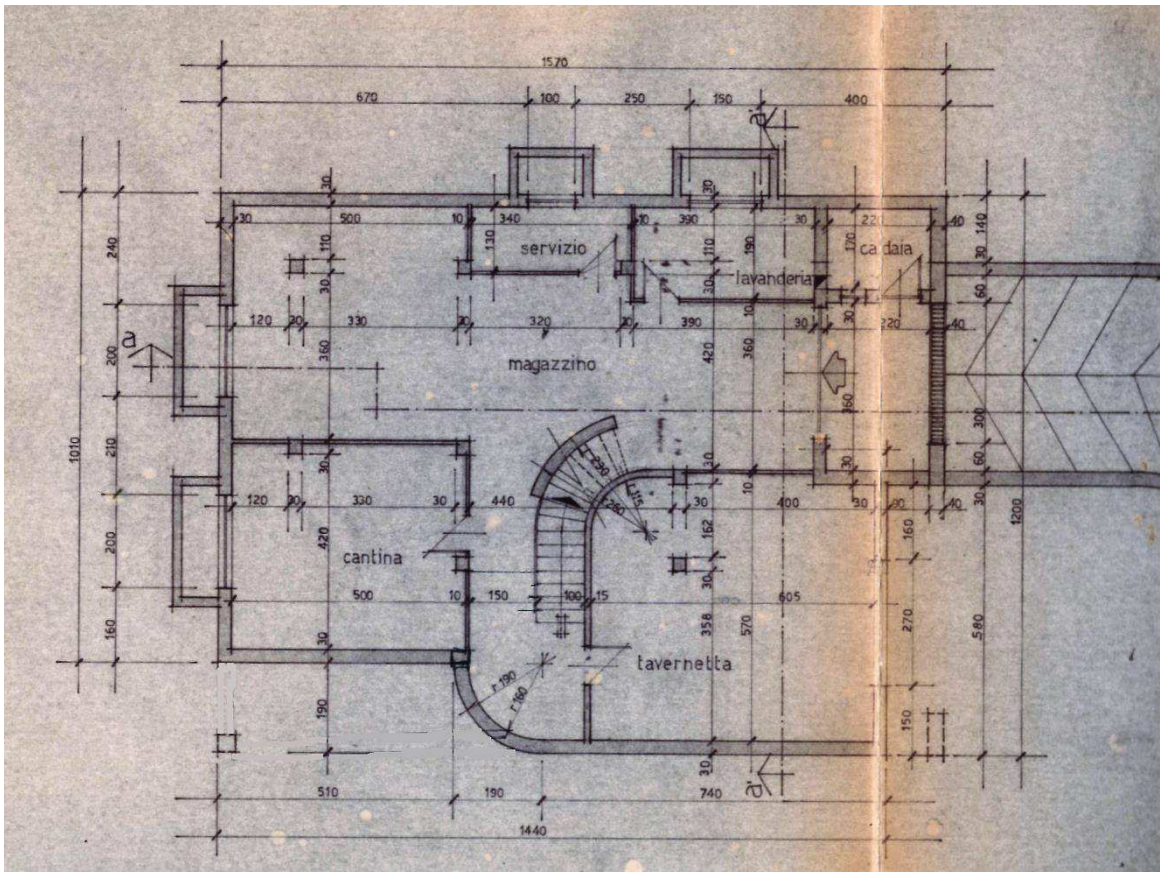


FIG. 2.1 Edificio tipo – Pianta Piano Interrato (Disegno fuori scala)

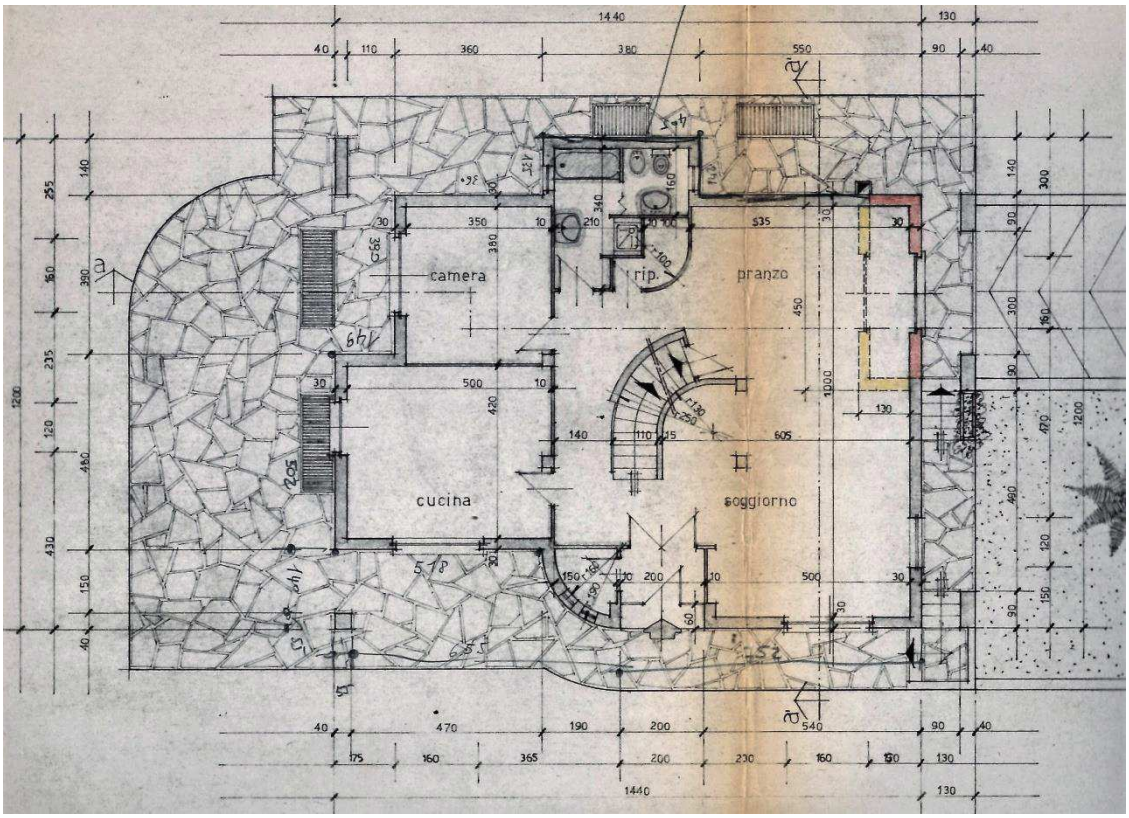


FIG. 2.2 Edificio tipo – Pianta Piano Terra (Disegno fuori scala). Nella tavola sono indicate in giallo le opere di demolizione ed in rosso quelle di costruzione. Si faccia riferimento a queste ultime.

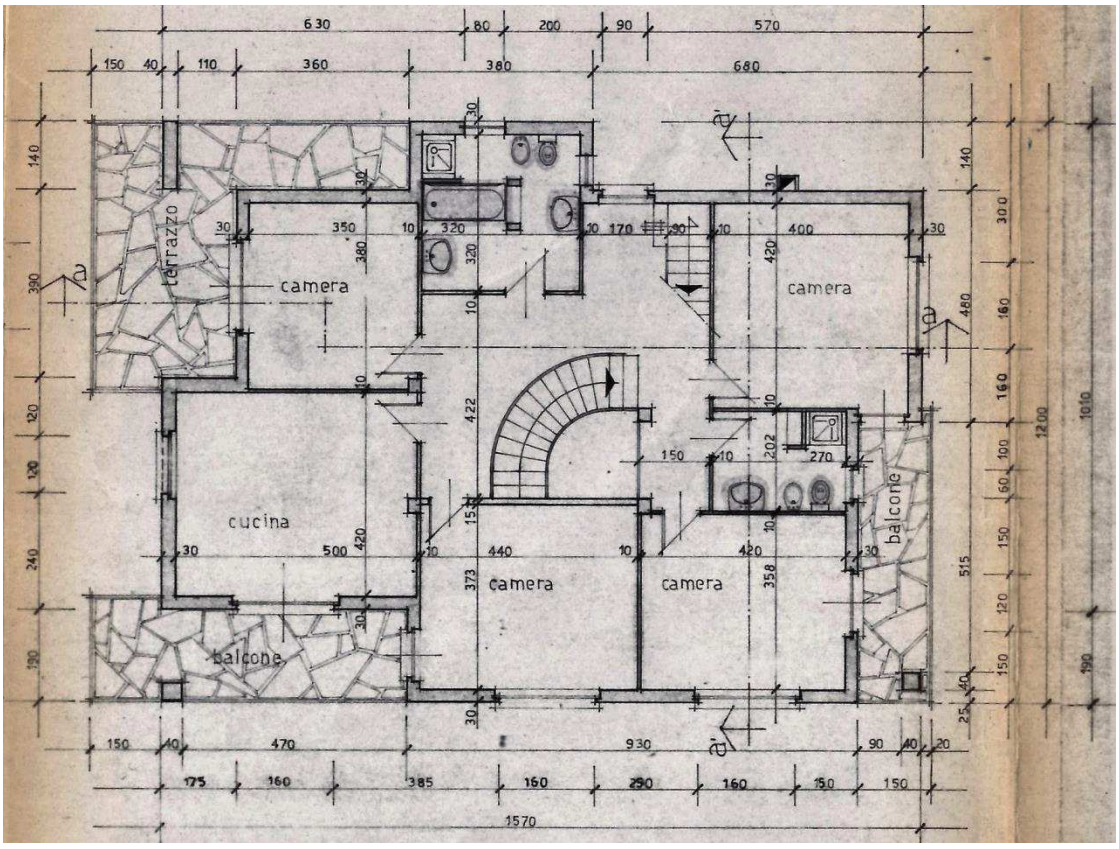


FIG. 2.3 Edificio tipo – Pianta Piano Primo (Disegno fuori scala)

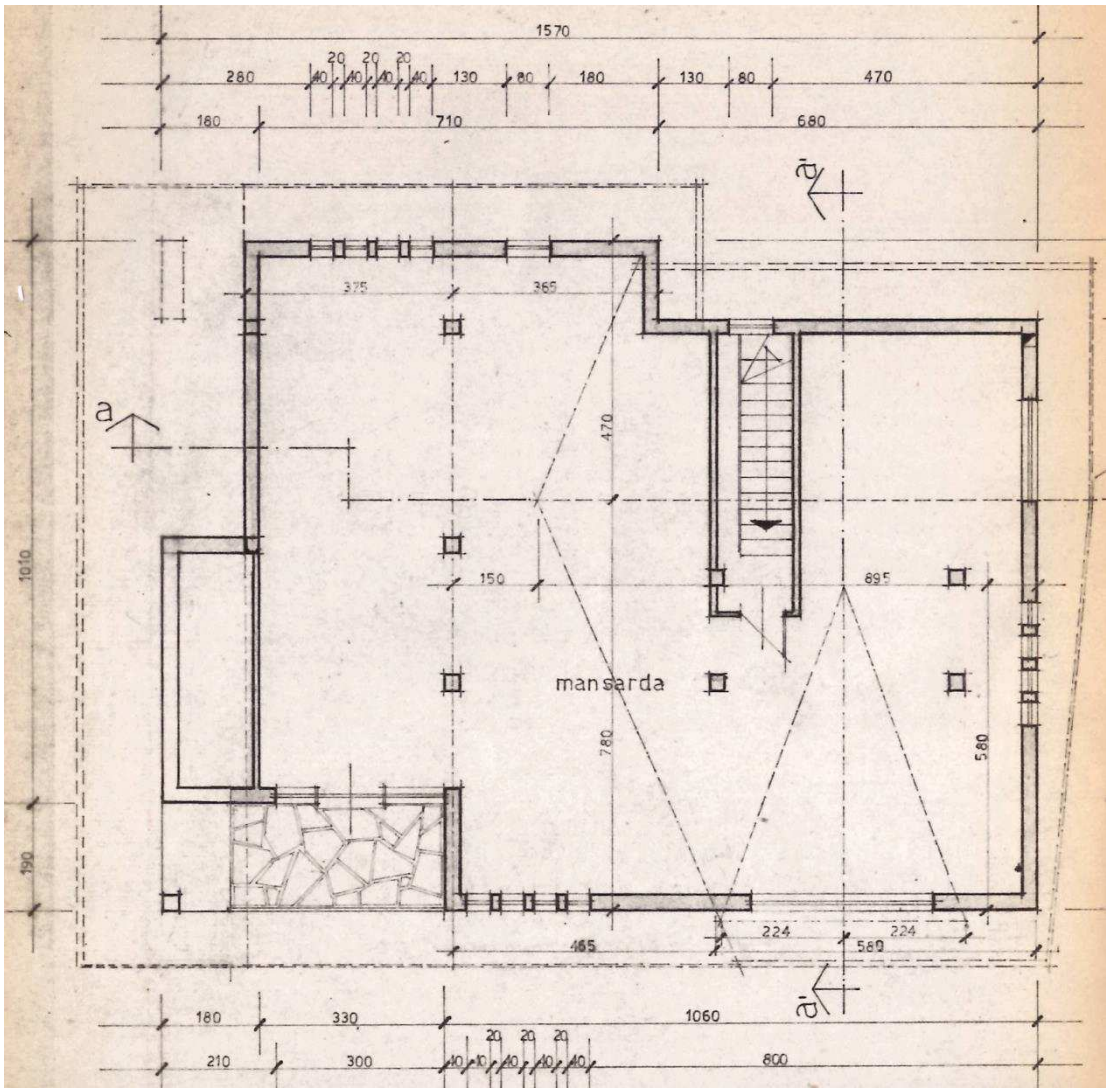


FIG. 2.4 Edificio tipo – Pianta Piano Sottotetto (Disegno fuori scala)

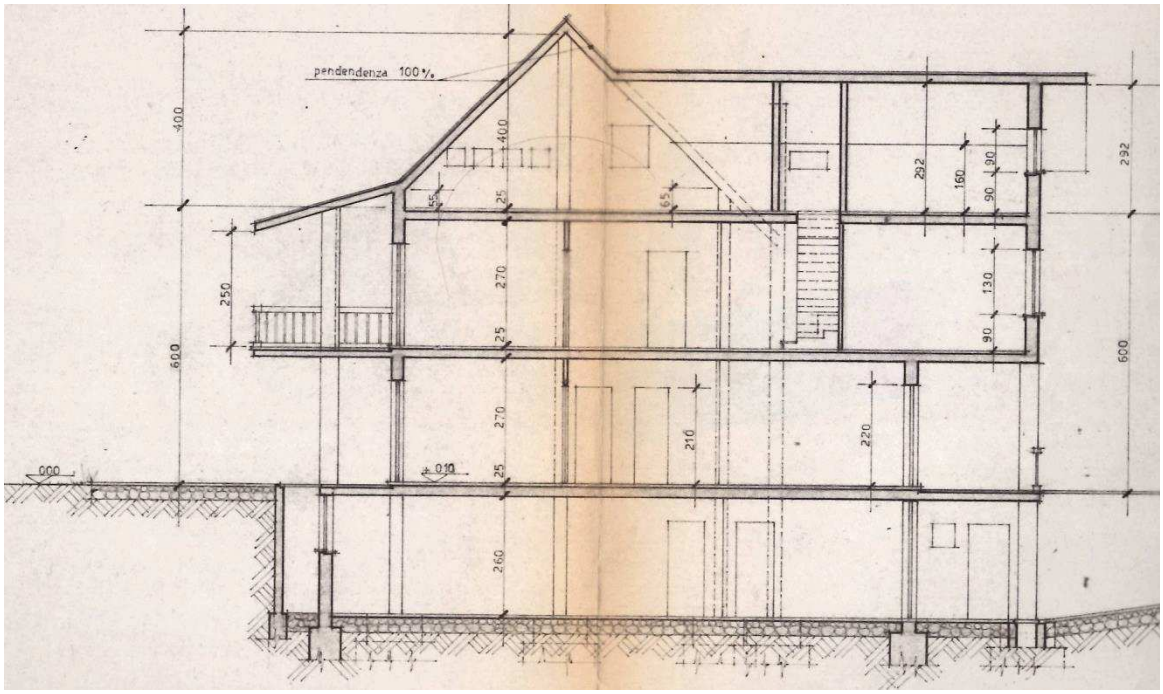


FIG. 2.5 Edificio tipo – Sezione a-a (Disegno fuori scala)

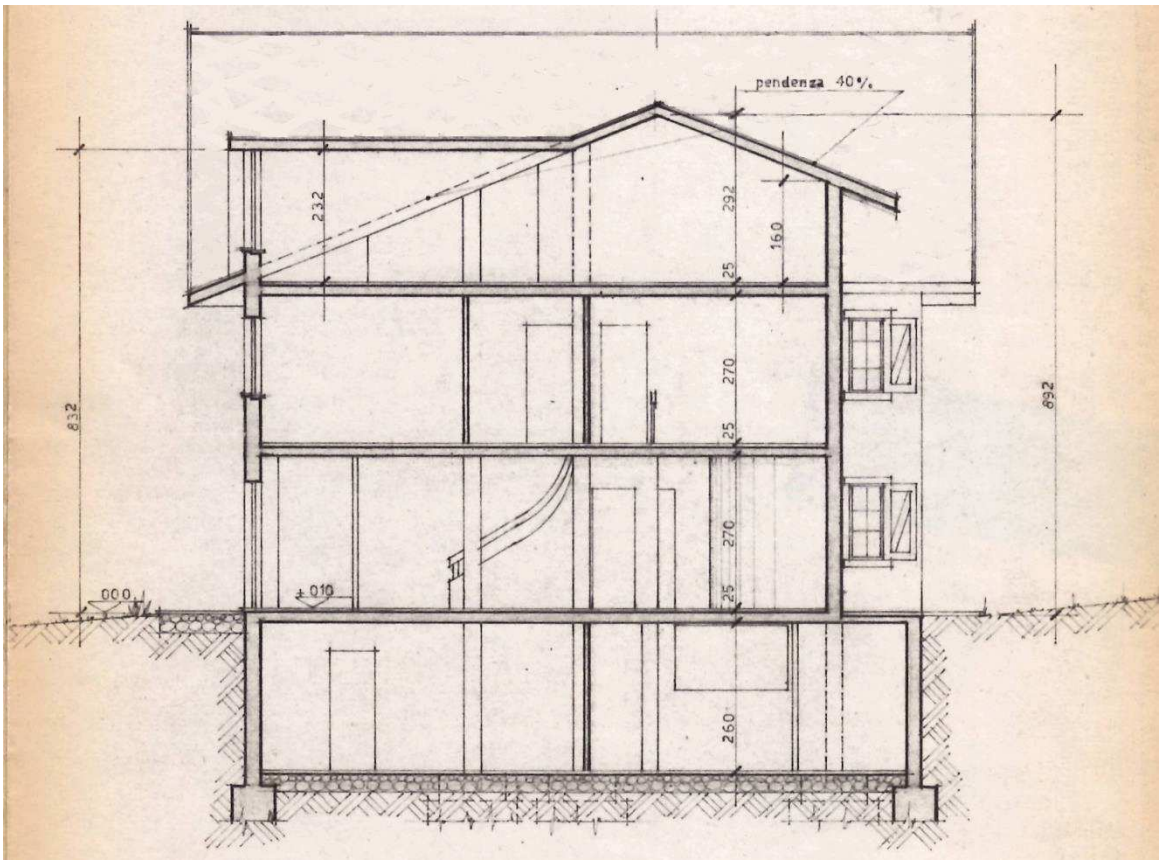


FIG. 2.6 Edificio tipo – Sezione a'-a' (Disegno fuori scala)

2.2 Il progetto originale

Il deperimento del supporto cartaceo degli elaborati originali non consente di riportare le tavole di carpenteria nella loro forma autentica. Tuttavia l'intero progetto originale è stato fedelmente riprodotto mediante l'utilizzo del software CDM DOLMEN[14].

La consultazione degli elaborati originali si è resa necessaria non solo per la costruzione del modello 3D impiegato per l'analisi strutturale e per la progettazione secondo le NTC 2008 (si vedano i Paragrafi successivi), ma anche per il calcolo dei quantitativi di armatura originariamente previsti. Questi ultimi sono presentati nel dettaglio nel Paragrafo 2.5, dedicato alla valutazione del *grado di difformità*.

2.2.1 Caratteristiche meccaniche dei materiali

Secondo quanto indicato sugli elaborati a disposizione, il calcestruzzo impiegato per le fondazioni e le strutture in elevazione presenta le seguenti caratteristiche:

- Resistenza caratteristica $R_{bk} \geq 250\ kg/cm^2$;
- $kg\ cemento/m^3\ di\ calcestruzzo = 300\ kg$;
- Cemento tipo 325.

Il magrone di sottofondazione è invece caratterizzato da:

- Resistenza caratteristica $R_{bk} \geq 125\ kg/cm^2$;
- $kg\ cemento/m^3\ di\ calcestruzzo = 200\ kg$;
- Cemento tipo 325.

L'acciaio è di tipo FeB44k.

2.2.2 Il progetto strutturale

L'edificio è realizzato con struttura portante in calcestruzzo armato e solai in latero-cemento aventi spessore (18+4) cm. Lo scheletro resistente è costituito da travi in spessore di solaio (H=22 cm) di base variabile da 30 a 100 cm, e pilastri quadrati di lato 30 cm. A questi si aggiungo il muro perimetrale che si sviluppa, a partire dal piano di fondazione, per l'intera altezza del piano interrato, e il setto in corrispondenza della Scala A, avente forma in pianta ad arco di circonferenza. Il sistema di fondazioni è costituito da plinti quadrati, da un plinto doppio e dalle suole di fondazione del muro perimetrale e della parete della Scala A.

Di seguito sono presentate unicamente le piante strutturali, alle quali si farà riferimento non solo per il Progetto originale, ma anche per il Progetto secondo NTC 2008. Per l'analisi dettagliata degli schemi dei ferri originali di tutti gli elementi strutturali si rimanda ai contenuti dell'Allegato B, suddivisi in funzione dell'orizzontamento di riferimento o in relazione all'elemento strutturale considerato.

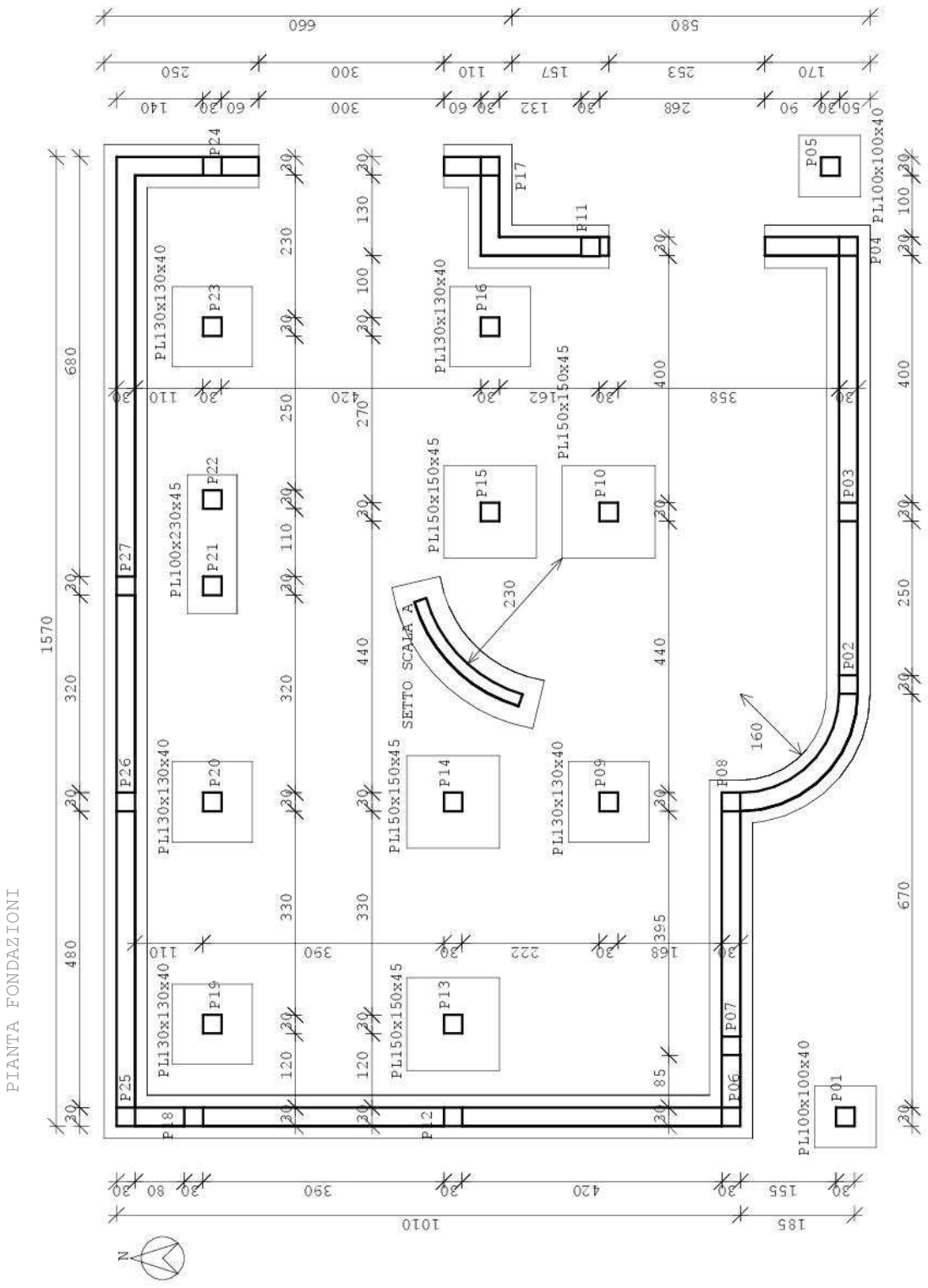


FIG. 2.7 Pianta fondazioni (Scala 1:100)

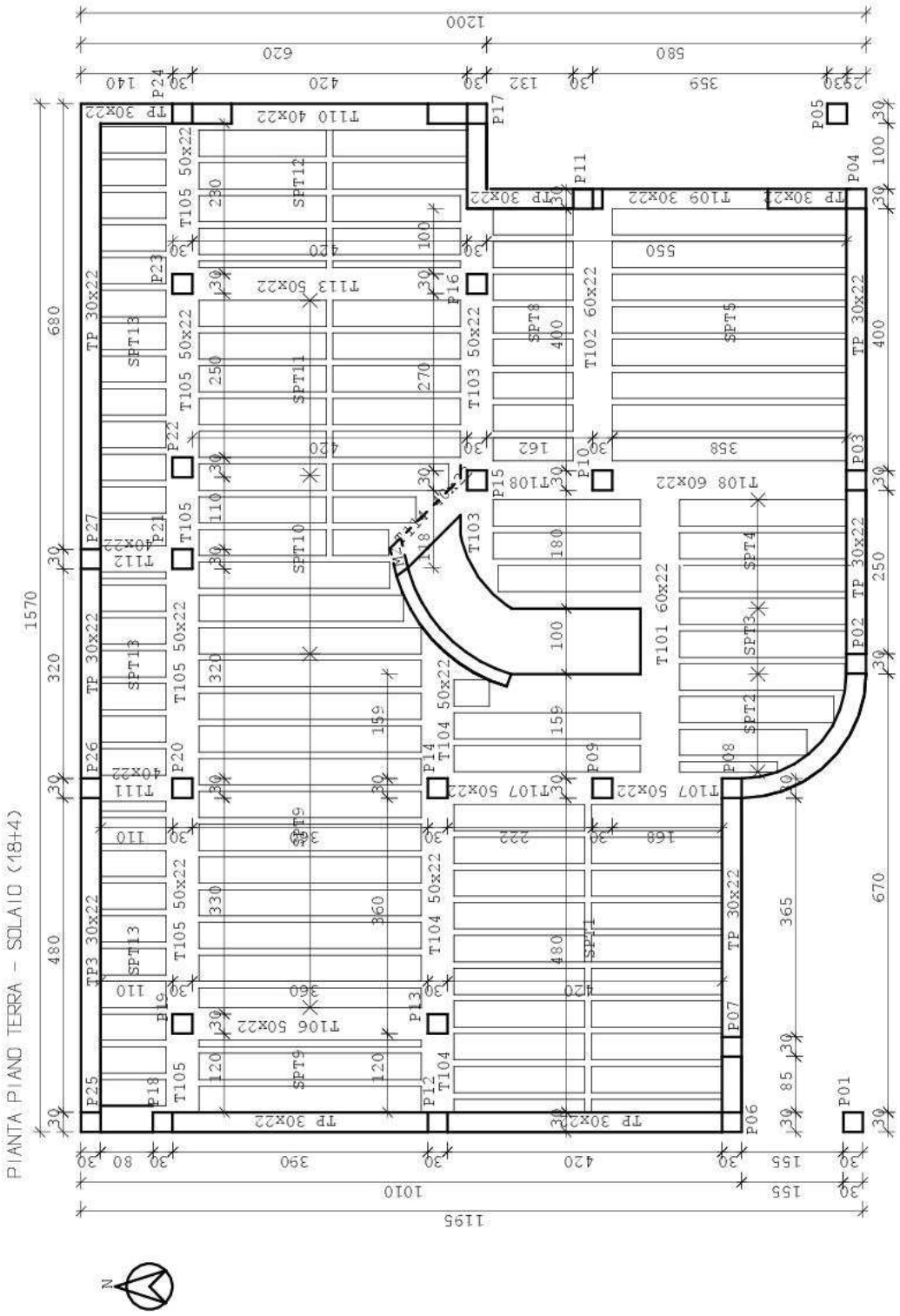


FIG. 2.8 Progetto originale – Pianta Piano Terra(Scala 1:100)

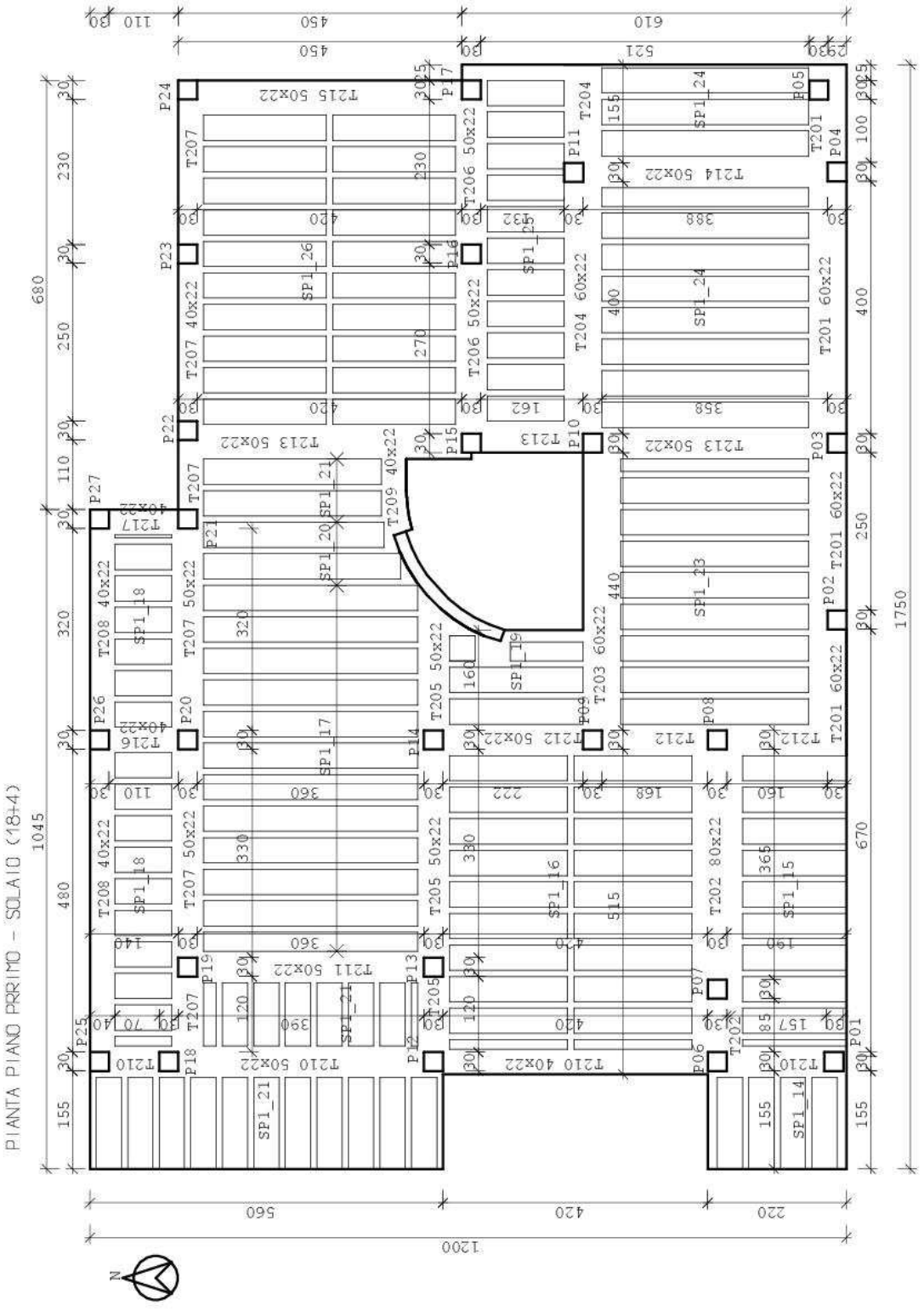


FIG. 2.9 Progetto originale – Pianta Piano Primo(Scala 1:100)

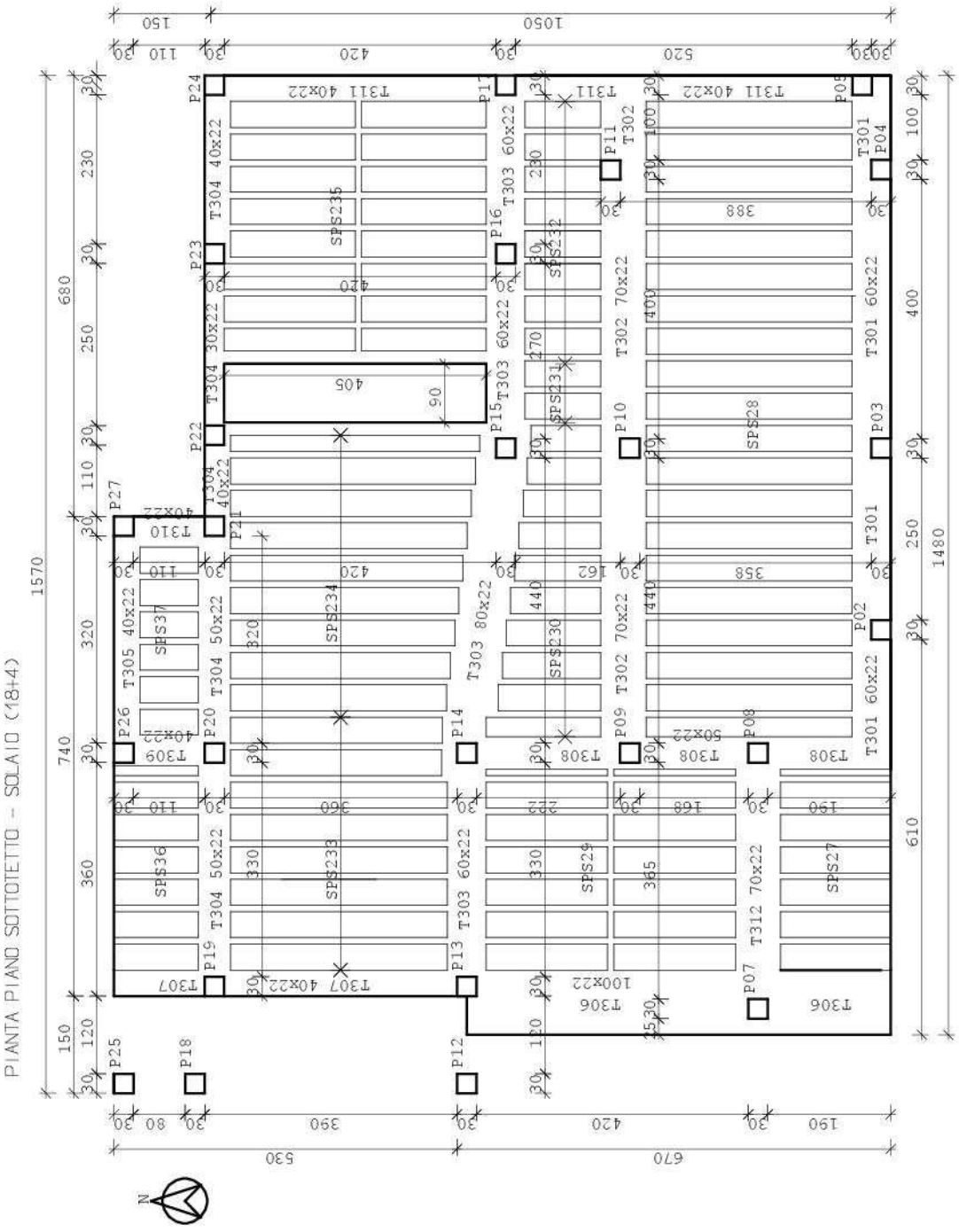


FIG. 2.10 Progetto originale – Pianta Piano Sottotetto (Scala 1:100)

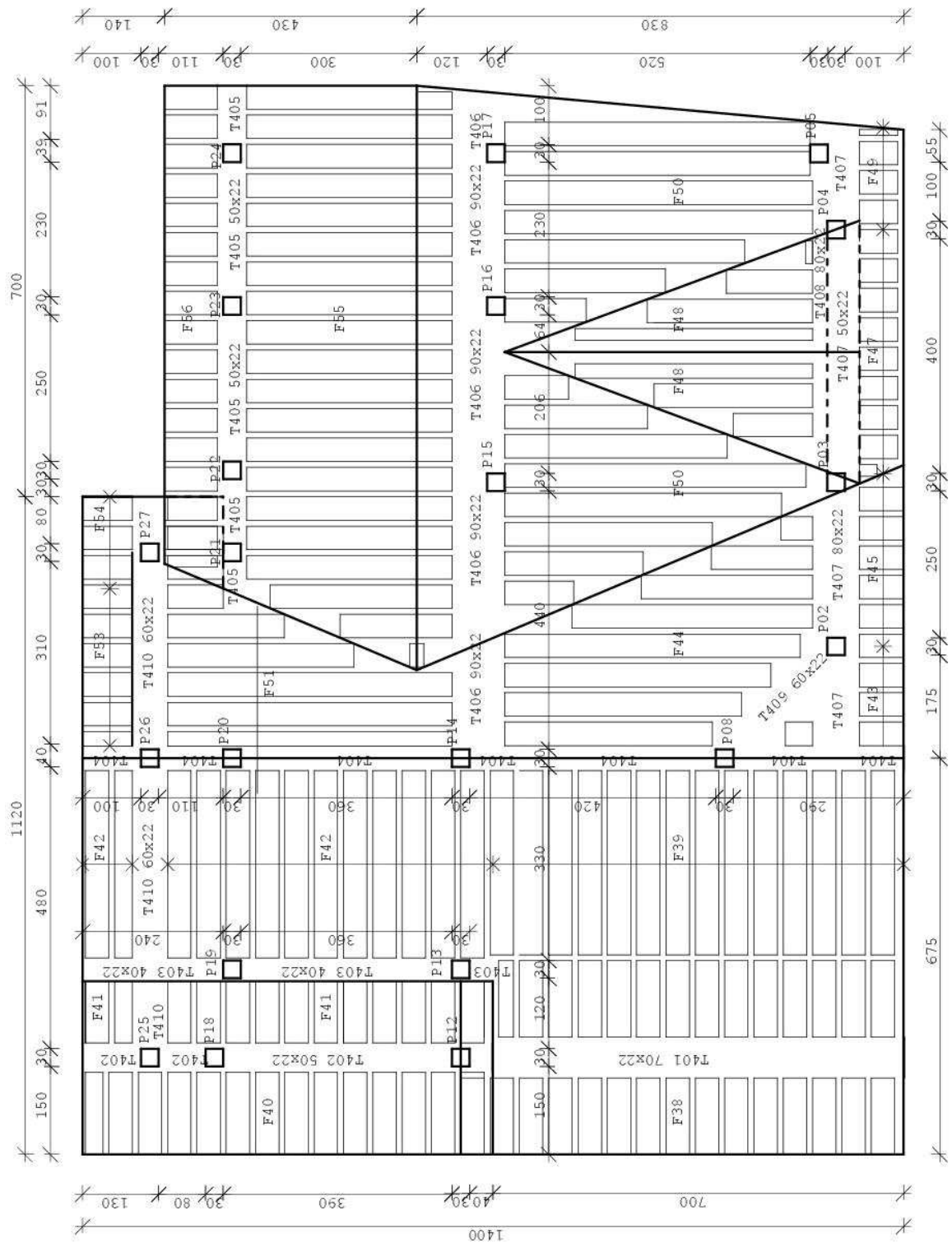


FIG. 2.11 Progetto originale – Pianta Copertura - Solaio (18+4) (Scala 1:100)

2.3 Il progetto secondo NTC 2008

La necessità di limitare le differenze tra la struttura originale e quella ricalcolata in ottemperanza alle NTC 2008 condiziona le scelte progettuali fatte in questa fase. I vincoli alla progettazione che ne derivano, introdotti e discussi nei Sottoparagrafi successivi, riguardano tanto le caratteristiche dimensionali degli elementi strutturali, quanto le proprietà meccaniche dei materiali impiegati.

Questo approccio alla progettazione, spesso all'origine di scelte progettuali non ottimali, si rivela necessario per minimizzare le differenze tra il progetto originale e quello nuovo, così da rendere possibile un immediato confronto tra le due soluzioni e consentire di caratterizzare strutturalmente il caso studio, mediante il calcolo del *grado di difformità.*

Si precisa che, tenuto conto delle finalità della trattazione, i tabulati, ottenuti dalla verifica di ciascun elemento strutturale secondo le prescrizioni delle NTC 2008, non sono nel seguito riportati. Tuttavia, i Sottoparagrafi successivi permettono di acquisire le informazioni di base e alcuni risultati ottenuti con la riprogettazione dell'edificio tipo.

2.3.1 La costruzione del modello

Il modello impiegato per il progetto e la verifica degli elementi strutturali, implementato con l'ausilio del software CDM DOLMEN, è stato realizzato a partire dai dati geometrici acquisiti mediante la consultazione degli elaborati architettonici e strutturali originali. Pertanto, le piante di carpenteria a cui fare riferimento per il progetto secondo le NTC 2008, sono le stesse introdotte per il progetto originale (FIG. 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 e 2.11).

Per la struttura, modellata con il metodo degli elementi finiti applicato al sistema tridimensionale (FIG 2.12), vengono utilizzati elementi monodimensionali (per travi e pilastri) ed elementi bidimensionali (per le pareti). I vincoli sono considerati puntuali ed inseriti tramite le sei costanti di rigidezza elastica, oppure come elementi asta poggianti su suolo elastico.

La disposizione e le dimensioni della travi e dei pilastri, l'orditura dei solai e il loro spessore, la geometria del muro perimetrale interrato e del setto in corrispondenza della Scala A sono stati mantenuti inalterati (FIG. 2.13), così da poter annullare, per il confronto diretto tra il progetto originale e quello sviluppato secondo le NTC 2008, le differenze dimensionali delle due strutture resistenti.

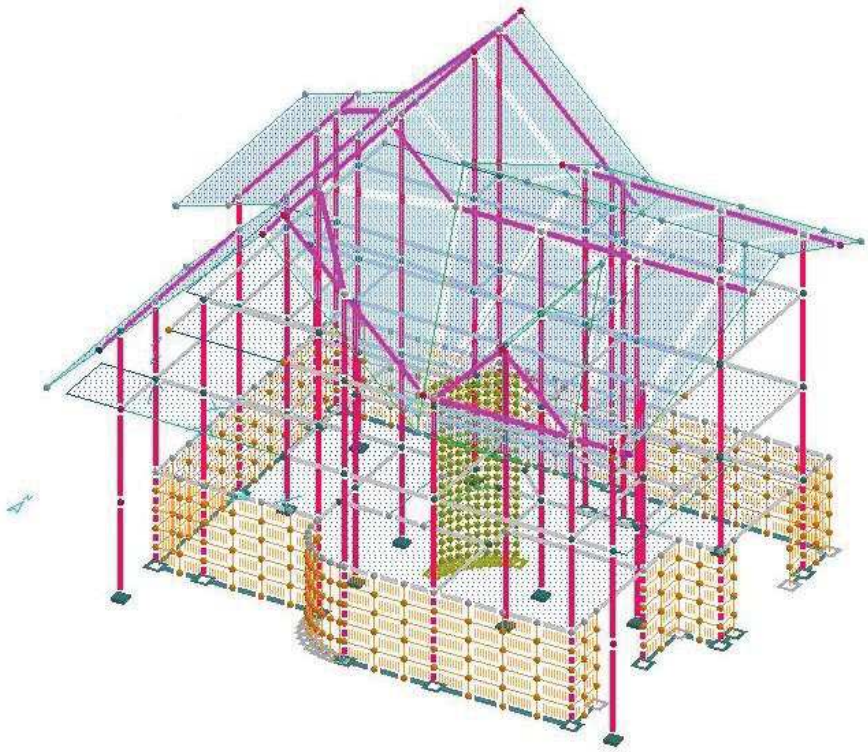


FIG. 2.12 Modello tridimensionale - Assonometria 30,30

FIG. 2.13 Modello tridimensionale con gli ingombri degli elementi strutturali - Assonometria 30,30

Tuttavia, tenuto conto delle limitazioni geometriche imposte dalle NTC 2008 per le travi *a spessore* di solaio (§7.4.6.1.1), per le quali, in presenza di azione sismica, la dimensione di base massima non deve superare «*la larghezza del pilastro, aumentata da ogni lato di metà dell'altezza della sezione trasversale della trave stessa*»[3], per alcune travature (Tabella 2.1) è stato necessario considerare una base ridotta (di larghezza 50 cm) rispetto alle dimensioni originali. A quest'ultima si è fatto però riferimento unicamente nella fase di verifica delle travi, avendo calcolato tanto i pesi propri, quanto le masse sismiche in funzione delle dimensioni di base originali.

TRAVE	BASE ORIGINALE [cm]	BASE PER VERIFICHE AGLI SL [cm]
T101 – T102 – T108 – T201 – T203 – T204 – T301 – T409 – T410	60	50
T302 – T312 – T401	70	50
T202 – T407 – T408	80	50
T406	90	50
T306	100	50
T303	60/80	50

TAB. 2.1 Elementi trave – Base ridotta per verifiche agli Stati Limite

Si noti che la denominazione delle travi, così come quella di ogni altro elemento strutturale, non è stata cambiata rispetto al progetto originale.

2.3.2 Caratteristiche meccaniche dei materiali e classe di esposizione

Come indicato in apertura del presente Paragrafo, la scelta delle caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati per la realizzazione degli elementi strutturali è stata vincolata dalle prescrizioni previste nel progetto originale. Poiché la resistenza caratteristica del calcestruzzo prevista in quest'ultimo non deve essere inferiore a 250 daN/cm^2 e che il tipo di acciaio raccomandato è il FeB44k, per tutte le opere strutturali, si prevede l'uso di calcestruzzo di classe C20/25 e acciaio di tipo B450C. Per il magrone di sottofondazione deve essere usato, in analogia a quanto previsto nel progetto originale, calcestruzzo avente resistenza cubica caratteristica superiore a 125 daN/cm^2.

Le caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati sono elencante in Tabella 2.2 e 2.3.

Calcestruzzo di classe C20/25		
Resistenza cubica caratteristica del materiale [daN/cm^2]	R_{ck}	250
Resistenza cilindrica caratteristica del materiale [daN/cm^2]	f_{ck}	207.5
Inizio del tratto a tensione costante della legge costitutiva	ε_{c2}	0.002
Deformazione ultima del calcestruzzo	ε_{cu}	0.0035
Coefficiente parziale di sicurezza allo SLU del materiale	γ_c	1.5
Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata	α_{cc}	0.85
Resistenza cilindrica di progetto del materiale [daN/cm^2]	f_{cd}	117.6
Modulo elastico medio a compressione [daN/cm^2]	E_{cm}	302005
Diagramma costitutivo	Parabola-Rettangolo	

TAB. 2.2 Calcestruzzo C20/25 - Caratteristiche meccaniche e coefficienti correttivi

Acciaio per cemento armato B450/C		
Tensione caratteristica di snervamento [daN/cm^2]	f_{yk}	4500
Tensione caratteristica di rottura [daN/cm^2]	f_{tk}	5175
Deformazione ultima caratteristica	ε_{uk}	0.075
Coefficiente parziale di sicurezza allo SLU del materiale	γ_s	1.15
Tensione di progetto di snervamento [daN/cm^2]	f_{yd}	3913.04
Modulo elastico [daN/cm^2]	E_s	2100000
Deformazione ultima di progetto	ε_{ud}	0.0675
Deformazione di snervamento di progetto	ε_{yd}	0.0019
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15
Diagramma costitutivo	Modello bilineare incrudente	

TAB. 2.3 Acciaio B450/C - Caratteristiche meccaniche e coefficienti

L'edificio, che appartiene alla classe strutturale S4 e alla classe di esposizione XC1 (condizioni ambientali ordinarie), viene progettato per una vita utile di 50 anni.

Il copriferro nominale di progetto previsto per tutti gli elementi strutturali è definito nel modo seguente:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 5 = 20\ mm$$

In cui:

- $c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10\ mm\} = \max\{8; 15; 10\} = 15\ mm$
  Il copriferro minimo necessario per garantire l'aderenza tra le armature $c_{min,b} = 8\ mm$ è assunto pari al diametro massimo delle barre usate come armatura trasversale. Il copriferro minimo di durabilità $c_{min,dur}$ è stato definito in funzione della classe strutturale e della classe di esposizione ambientale.
- La tolleranza di esecuzione Δc_{dev} è fissata a 5 mm, nell'ipotesi che siano eseguiti controlli di qualità con misura del ricoprimento in fase di realizzazione.

Il copriferro nominale calcolato assume dunque lo stesso valore indicato negli elaborati originali.

2.3.3 Parametri geotecnici

La progettazione e la verifica dei plinti di fondazione e del muro perimetrale interrato richiedono la conoscenza dei seguenti parametri geotecnici:

- Peso specifico $\gamma = 18.0\ kN/m^3$;
- Angolo di resistenza al taglio $\varphi' = 27°$;
- Coesione $c' = 0\ kPa$.

2.3.4 Analisi dei carichi

Le azioni, modellate tramite opportuni carichi concentrati o distribuiti su nodi ed aste, sono state definite a partire dai seguenti valori:

- I pesi propri sono stati determinati automaticamente dal programma di calcolo in funzione delle caratteristiche dimensionali degli elementi strutturali. Il peso specifico del calcestruzzo armato viene assunto pari a $\gamma_{CA} = 25\ kN/m^3$.
- I carichi permanenti portati:
  - Solaio in latero-cemento di spessore (18+4) cm.....2.5 kN/m^2
    Adottato per tutti gli orizzontamenti e per il solaio di copertura.
  - Sottofondo e pavimentazione di spessore totale 4 cm .....0.8 kN/m^2
  - Tramezzi interni (mattoni forati e intonaco) .....1.6 kN/m^2
    Carico definito in funzione del peso per unità di lunghezza degli elementi divisori così come previsto al §3.1.3.1 delle NTC 2008 e applicato ai soli orizzontamenti del Piano Terra e del Primo Piano.
  - Muratura perimetrale esterna di spessore 30 cm .....9 kN/m
    Muratura a cassa-vuota con mattoni forati, strato isolante e intonaco esterno ed interno. Carico applicato in corrispondenza delle travi di bordo dei piani PT e P1.
  - Copertura (tegole, manto isolante e manto impermeabilizzante) .....0.8 kN/m^2
  - Scala A .....6.0 kN/m
    Applicato sulla trave di aggancio al primo solaio, T101.
  - Scala A .....4.0 kN/m
    Applicato sulla trave di aggancio al solaio del Piano Primo, T213.

- Scala B..... 16 kN/m

  Applicato sulle travi di aggancio al solaio dei piani Primo, T207, e Sottotetto, T303.

- I carichi variabili:
  - Categoria A, Ambienti ad uso residenziale..... 2 kN/m^2
  - Categoria C2, Balconi..... 4 kN/m^2
- Il carico della neve:
  - Neve40 ..... 1.80 kN/m^2

    Carico neve al suolo $q_{sk} = 1.77\ kN/m^2$; Coefficiente di forma $\mu_1 = 1.02$; $C_E = C_t = 1$.

    Da applicare alle falde di copertura aventi pendenza del 40%.
  - Neve100 ..... 0.70 kN/m^2

    Carico neve al suolo $q_{sk} = 1.77\ kN/m^2$; Coefficiente di forma $\mu_1 = 0.40$; $C_E = C_t = 1$.

    Da applicare alle falde di copertura aventi pendenza del 100%.

A questi carichi deve aggiungersi l'azione sismica, per la definizione della quale si rimanda al Sottoparagrafo 2.3.5.

I carichi di superficie introdotti vengono ripartiti dal programma di calcolo in modo automatico sulle membrature (travi, pilastri, pareti, solette).

2.3.5 L'azione sismica

La costruzione dello spettro di risposta, necessario per determinare l'azione sismica, è basata sui seguenti parametri:

- Ubicazione dell'edificio: Sant'Antonino di Susa (long. 7.275, lat. 45.106900), zona sismica di classe 3s;
- Vita nominale della costruzione $V_N = 50\ anni$ e coefficiente d'uso della costruzione $c_U = 1$ (classe d'uso II); Periodo di riferimento $V_R = 50\ anni$ e probabilità di superamento in V_R del 10%; Tempo di ritorno pari a 474 anni;
- Smorzamento standard $\zeta = 5\%$;
- Categoria del suolo di fondazione C; coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_S = 1.5$ e coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1.0$;

- Fattore di struttura q per le componenti orizzontali dell'azione sismica. Introdotto per tenere conto delle capacità dissipative della struttura, si tratta di un fattore riduttivo applicato alle forze elastiche, che dipende dal sistema costruttivo adottato, dalla Classe di duttilità e dalla regolarità in pianta ed in altezza. Considerato che l'edificio tipo presenta struttura *mista equivalente a telaio* (§7.4.3.1/NTC08), la sua classe di duttilità è bassa (CD B) e che viene considerato regolare in altezza ($K_R = 1$), il fattore di struttura diviene

$$q = q_0 \cdot K_R \cdot K_W = 3.9 \cdot 1 \cdot 1 = 3.9$$

avendo $K_W = 1$.

Gli spettri di risposta di riferimento per la componente orizzontale dell'azione sismica sono riportati in FIG. 2.14.

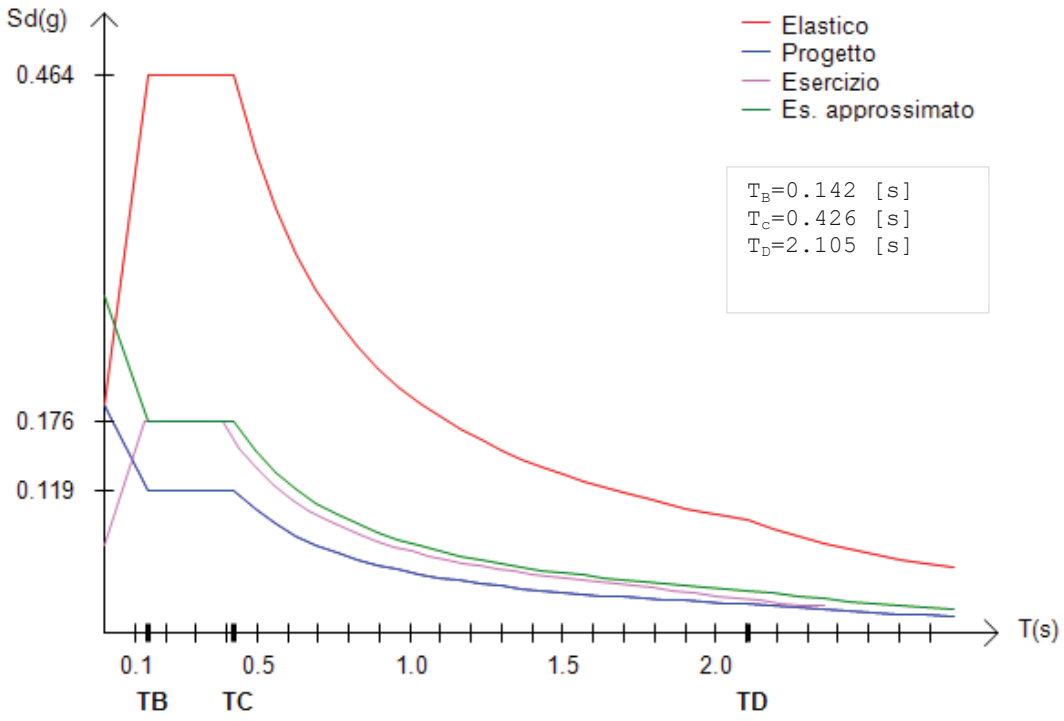


FIG. 2.14 Spettri di risposta per la componente orizzontale dell'azione sismica

Per la determinazione dell'azione sismica è stata impiegata l'analisi statica lineare: le forze statiche equivalenti alle forze inerziali indotte dall'azione sismica, sono calcolate a partire dall'ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo del modo di vibrare principale $S_d(T_1)$, e la loro distribuzione lungo la struttura segue la forma del primo modo di vibrare nella direzione in esame.

Calcolata la forza sismica totale

$$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda / g$$

in cui W è il peso complessivo della costruzione, $\lambda = 1$ è un coefficiente correttivo e g è l'accelerazione di gravità, la forza statica equivalente da applicare all'*i-ima* massa è data dalla formula seguente:

$$F_i = F_h \cdot \frac{z_i \cdot W_i}{\sum_j z_j \cdot W_j}$$

W_i e W_j sono i pesi, mentre z_i e z_j sono le quote rispetto al piano di fondazione delle massa *i* e *j*, rispettivamente.

Le condizione generate dai carichi sismici e le forze di piano calcolate risultano essere:

```
Numero condizioni generanti carichi sismici :    3

Cond. 001 : Peso_proprio________   con coeff.     1.000
Cond. 002 : Permanente__________   con coeff.     1.000
Cond. 003 : A:Var_abitazione____   con coeff.     0.300


Condizioni di carico sismico generate:

Cond. 006 :              Sisma X
Cond. 007 :              Sisma Y
Cond. 008 :      Torcente add. X
Cond. 009 :      Torcente add. Y


Carichi sismici :

|   Piani|     Pesi| C. distr.| Forze piano|Torc. piano X|Torc. piano Y| Bar. X|
Bar. Y|
|      cm|       kN|          |          kN|          kNm|          kNm|     cm|
cm|
|    29.2|     3.49|    0.0067|        0.02|          0.0|          0.0|  742.5|
435.6|
|    87.6|     6.99|    0.0201|        0.14|          0.0|          0.0|  742.4|
435.6|
|   146.0|     6.99|    0.0335|        0.23|          0.0|          0.0|  742.4|
435.6|
|   204.4|     6.99|    0.0469|        0.33|          0.0|          0.0|  742.4|
435.6|
|   262.8|  1921.10|    0.0602|      115.72|         67.7|         91.4|  732.7|
387.1|
|   535.0|   181.80|    0.1226|       22.29|          8.4|          0.0|    0.0|
66.7|
|   600.0|  1203.91|    0.1375|      165.57|        106.4|        131.7|  791.6|
352.9|
|   685.0|   151.79|    0.1570|       23.83|          8.3|          8.5|  357.1|
825.0|
|   769.0|   164.09|    0.1763|       28.92|          0.0|         12.6| 1220.1|
840.0|
|   824.0|   317.06|    0.1889|       59.88|         17.4|         28.2| 1082.3|
209.9|
|  1024.0|   373.66|    0.2347|       87.70|         61.4|          0.0|  510.0|
389.9|

Valori risultanti per :
ag  1.262  [g/10]
Fo  2.454
TC* 0.260
```

Si noti che i carichi sismici sono stati definiti considerando la quota di zero sismico in corrispondenza del piano Terra: la presenza del muro perimetrale interrato e le caratteristiche dell'orizzontamento del PT, che può essere assimilato ad un diaframma rigido, permettono infatti di considerare globalmente la parte di edificio interrata come un unico sistema di fondazione.

Oltre all'orizzontamento del piano Terra, sono stati considerati infinitamente rigidi nel proprio piano, perché realizzati in latero-cemento con soletta di completamento dello spessore di 4 cm (§7.2.6/NTC08), gli orizzontamenti dei piani Primo (a quota 292 cm) e Sottotetto (a quota 584 cm), nonché i solai di copertura.

L'azione sismica, calcolata separatamente per le direzioni X e Y tra loro ortogonali, è stata combinata, in accordo con le prescrizioni della normativa, per tenere conto della natura casuale della direzione del moto del terreno indotto dal sisma: i valori massimi ottenuti per ciascuna direzione vengono combinati con il 30% dei massimi calcolati per la direzione ad essa ortogonale.

Inoltre, per valutare le eccentricità accidentali, previste in aggiunta all'eccentricità effettiva, sono state introdotte delle condizioni di carico aggiuntive, ottenute applicando l'azione sismica nelle posizioni del centro di massa che, per ogni piano, viene traslato, nelle due direzioni considerate, di una distanza pari a $\pm 5\%$ della larghezza massima del piano in direzione perpendicolare all'azione sismica (si vedano le condizioni di carico 8 e 9 nel Sottoparagrafo 2.3.6).

2.3.6 Condizioni e casi di carico

Per il progetto e la verifica degli elementi strutturali viene impiegato il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite: le azioni sono combinate in maniera tale da generare le condizioni di carico più sfavorevoli per il calcolo delle sollecitazioni.

Oltre alla combinazione Fondamentale

$$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\Psi_{02}Q_{k2} + \gamma_{Q3}\Psi_{03}Q_{k3} + \cdots$$

agli Stati Limite Ultimi viene considerata anche la combinazione sismica (SLV)

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_i \Psi_{2i}Q_{ki}$$

Nelle quali:

- G_1 è il peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
- G_2 è il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- P è l'azione di pretensione o di precompressione;
- Q_{ki} è il valore caratteristico dell'*i-ima* azione variabile;
- γ è il coefficiente parziale come definito nella Tabella 2.6.I/NTC08;
- Ψ_{0i} e Ψ_{2i} sono i coefficienti di combinazione impiegati per tenere conto della bassa probabilità di concomitanza delle azioni variabili;
- E è l'azione sismica per lo SL e per la classe di importanza in esame. Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali: $G_k + \sum_i(\Psi_{2i}Q_{ki})$.

Per gli Stati Limite di Esercizio, si fa riferimento alla combinazione caratteristica (rara)

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \Psi_{02}Q_{k2} + \Psi_{03}Q_{k3} + \cdots$$

alla combinazione frequente

$$G_1 + G_2 + P + \Psi_{11}Q_{k1} + \Psi_{22}Q_{k2} + \Psi_{23}Q_{k3} + \cdots$$

e alla combinazione quasi permanente

$$G_1 + G_2 + P + \Psi_{21}Q_{k1} + \Psi_{22}Q_{k2} + \Psi_{23}Q_{k3} + \cdots$$

Le condizioni di carico generate per l'analisi dell'edificio tipo risultano essere

```
NUM|       DESCRIZIONE        |
   |                           |
1  | Peso proprio              |
2  | Permanente                |
 3 | A:Var abitazione          |
4  | Neve (<1000m slm)         |
5  | PP fondazione             |
6  | Sisma X                   |
7  | Sisma Y                   |
8  | Torcente add. X           |
9  | Torcente add. Y           |
10 | Permanente muro           |
```

alle quali sono associati i seguenti carichi

```
CARICHI NELLE CONDIZIONI

001) Peso proprio           [ Peso proprio ]
  388 pesi propri aste
  495 pesi propri gusci
   61 carichi di solaio
       61 p.proprio (h=18+4)     : globale -2.50 kN/m2
```

```
002) Permanente             [ Permanente ]
   91 carichi sulle aste
       86 Tamponature_perimet : Carico distrib. Z globale -9.00 kN/m
        1 Perm_scale_T24_     : Carico distrib. Z globale -10.00 kN/m
        1 Perm_scale_T1_      : Carico distrib. Z globale -6.00 kN/m
        1 Perm_scale_T57_     : Carico distrib. Z globale -4.00 kN/m
        2 Perm_scale_T42_T66  : Carico distrib. Z globale -16.00 kN/m
   85 carichi di solaio
       24 tramezzature        : globale -1.60 kN/m2
       42 SottofondoPav_+_Pav : globale -0.80 kN/m2
       19 Perm__portato_coper : globale -0.80 kN/m2

003) A:Var abitazione       [ A:Var abitazione ]
    5 carichi sulle aste
        1 Var_scale_T24       : Carico distrib. Z globale -6.50 kN/m
        1 Var_scale_T1        : Carico distrib. Z globale -4.00 kN/m
        1 Var_scale_T57       : Carico distrib. Z globale -2.50 kN/m
        2 Var_scale_T42_T66   : Carico distrib. Z globale -8.00 kN/m
   42 carichi di solaio
       35 var.abitazione      : globale -2.00 kN/m2
        7 var.scaleebalconi   : globale -4.00 kN/m2

004) Neve (<1000m slm)      [ Neve (<1000m slm) ]
   19 carichi di solaio
        8 Neve_40_            : proiez. -1.80 kN/m2
       11 Neve_100_           : proiez. -0.70 kN/m2

005) PP fondazione          [ Peso proprio fondaz ]
   78 pesi propri aste

010) Permanente muro        [ Permanente ]
  265 carichi su gusci
      180                    : Linearm. variab. Z locale    28.00 ->  0.00 kN/m2
                                                per Zglob = -293.5 ->  0.0 cm
       85                    : Linearm. variab. Z locale   -28.00 ->  0.00 kN/m2
                                                per Zglob = -293.5 ->  0.0 cm
```

I casi di carico risultano essere:

NOM	DESCRIZIONE	VERIF.	TIPO	CONDIZIONI INSERITE				CASI INS.	
				Nro	Descrizione	Coef.	Somma	Nom	Coef.
1	SLU SENZA SISMA	SLU	somma	1	Peso_proprio_____	1.300	+		
				2	Permanente_____	1.500	+		
				3	A:Var_abitazione____	1.500	+		
				4	Neve_(<1000m_slm)___	1.500	+		
				5	PP_fondazione	1.300	+		
				10	Permanente_muro	1.500	+		
2	SISMAX SLU	NONUT	somma	6	Sisma_X	1.000	+/-		
				8	Torcente_add._X	1.000	+/-		
3	SISMAY SLU	NONUT	somma	7	Sisma_Y	1.000	+/-		
				9	Torcente_add._Y	1.000	+/-		
4	SLU con SISMAX PRINC	SLU	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+	2	1.000
				2	Permanente_____	1.000	+	3	.300
				3	A:Var_abitazione____	.300	+		
				5	PP_fondazione	1.000	+		
				10	Permanente_muro	1.000	+		
5	SLU con SISMAY PRINC	SLU	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+	3	1.000
				2	Permanente_____	1.000	+	2	.300
				3	A:Var_abitazione____	.300	+		
				5	PP_fondazione	1.000	+		
				10	Permanente_muro	1.000	+		
6	SLD con SISMAX PRINC	SLD	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+	2	1.480
				2	Permanente_____	1.000	+	3	.444
				3	A:Var_abitazione____	.300	+		
				5	PP_fondazione	1.000	+		
				10	Permanente_muro	1.000	+		
7	SLD con SISMAY PRINC	SLD	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+	3	1.480

				2	Permanente	1.000	+	2	.444		
				3	A:Var_abitazione	.300	+				
				5	PP_fondazione	1.000	+				
				10	Permanente_muro	1.000	+				
8	SLU FON con SISMAX P	SLU_FON	somma	1	Peso_proprio	1.000	+	2	1.100		
				2	Permanente	1.000	+	3	.330		
				3	A:Var_abitazione	.300	+				
				5	PP_fondazione	1.000	+				
				10	Permanente_muro	1.000	+				
9	SLU FON con SISMAY P	SLU_FON	somma	1	Peso_proprio	1.000	+	3	1.100		
				2	Permanente	1.000	+	2	.330		
				3	A:Var_abitazione	.300	+				
				5	PP_fondazione	1.000	+				
				10	Permanente_muro	1.000	+				
12	Rara	RARA	somma	1	Peso_proprio	1.000	+				
				2	Permanente	1.000	+				
				3	A:Var_abitazione	1.000	+				
				4	Neve_(<1000m_slm)	1.000	+				
				5	PP_fondazione	1.000	+				
				10	Permanente_muro	1.000	+				
13	Frequente	FREQ	somma	1	Peso_proprio	1.000	+				
				2	Permanente	1.000	+				
				3	A:Var_abitazione	.500	+				
				4	Neve_(<1000m_slm)	.200	+				
				5	PP_fondazione	1.000	+				
				10	Permanente_muro	1.000	+				
14	Quasi Perm	QPERM	somma	1	Peso_proprio	1.000	+				
				2	Permanente	1.000	+				
				3	A:Var_abitazione	.300	+				
				5	PP_fondazione	1.000	+				

2.3.7 I travetti di solaio

Le caratteristiche dimensionali degli elementi che compongono i solai in latero-cemento non mutano rispetto a quanto previsto nel progetto originale: gli orizzontamenti hanno spessore (18+4) cm e la sezione di riferimento dei travetti è ancora quella prevista negli elaborati originali (FIG. B.8). Il soddisfacimento dei quantitativi di armatura minimi prescritti dalle NTC 2008 ha richiesto la modifica parziale degli schemi dei ferri di alcuni travetti di solaio. I cambiamenti riguardano sostanzialmente i diametri impiegati, avendo mantenuto le stesse caratteristiche per disposizione, forma (ferri piegati) e numero. In particolare, nel modificare le armature si è deciso di limitare i diametri utilizzati: mentre negli elaborati originali i tondini di acciaio hanno diametri compresi tra 8 e 16 mm, nel nuovo progetto si utilizzano barre con diametri da 8 a 14 mm.

Inoltre, dalla nuova progettazione sono state escluse diverse aree di solaio, nelle quali i travetti originali sono risultati verificati. Nello specifico, sono state mantenuti invariati i travetti delle aree SPT4, SPT7 e SPT13 per il solaio del Piano Terra, SP1_18, SP1_19 e SP1_23BIS per il Primo Piano, SPS30, SPS31 e SPS32 per il Piano Sottotetto. E ancora, risultano verificati i travetti delle falde di copertura F42, F43, F44, F47, F48, F51, F53, F54, F55 e F56.

Pertanto, per le aree di solaio appena elencate si faccia riferimento agli elaborati grafici del progetto originale. Gli schemi dei ferri per i travetti riprogettati vengono invece presentati nella sezione C.1 dell'Allegato C.

Si ricorda inoltre che le piante di carpenteria non subiscono variazioni con il nuovo progetto: si invita dunque alla consultazione delle tavole introdotte per il progetto originale.

2.3.8 Le travi

Le prescrizioni contenute nelle NTC 2008 e i vincoli alla progettazione, derivati dalla necessità di minimizzare le differenze con gli elementi originali, hanno fortemente condizionato la riprogettazione delle travi. Si registrano infatti significative modifiche rispetto a quanto previsto nel progetto originale: per l'armatura longitudinale, vengono abbandonati i diametri 8 e 12 mm e, oltre alle barre ϕ14 e ϕ16, sono impiegati tondini di diametro 20 e 22 mm. Inoltre, anziché impiegare ferri piegati, sono adottate soluzioni combinate con ferri spezzati e cavalletti. Le prescrizioni inerenti le zone critiche e il passo massimo delle staffe, hanno determinato l'utilizzo di armatura trasversale di diametro ϕ8 (e non più ϕ6) con passo delle staffe ridotto rispetto a quello originale.

Inoltre, si ricorda che alcune travi originali presentano una larghezza di base superiore a quella massima consentita in presenza di travi a spessore di solaio: per esse, sono state mantenute le dimensioni di base originali, avendo però provveduto alla verifica in presenza di base ridotta. Per l'elenco completo delle travi in questione, i dettagli della normativa e le dimensioni della base ridotta adotta per le verifiche si rimanda alla Tabella 2.1 e al Sottoparagrafo 2.3.1.

Per l'analisi dettagliata degli schemi dei ferri si faccia riferimento alle FIG. C.2÷C.19 dell'Allegato C.

2.3.9 I pilastri

Il calcolo e la verifica dei pilastri, per i quali, rispetto al progetto originale, sono state conservate tanto le dimensioni (forma quadrata di lato 30 cm), quanto le caratteristiche meccaniche dei materiali, è stato significativamente condizionato dal rispetto della gerarchia delle resistenze (si veda a tale proposito il Sottoparagrafo 2.3.13).

Infatti, la necessità di proteggere le colonne da una prematura plasticizzazione, è stata determinante sia nella scelta del passo delle staffe, il cui diametro di 6 mm non varia rispetto all'origine, che nella definizione del numero e del diametro dei ferri longitudinali. Per questi ultimi, l'impiego di 4 barre ϕ12 o ϕ14 è risultato per la maggior parte dei pilastri insufficiente e ha portato all'utilizzo di 8 ferri di diametro 14, 16, 20 o, in rari casi, 22 mm. Il passo dell'armatura

trasversale è stato modificato non solo per soddisfare le prescrizioni delle NTC 2008 in merito alle zone critiche, ma anche per rispettare l'interasse massimo definito in funzione del diametro minimo usato per l'armatura longitudinale (§4.1.6.1.2/NTC2008).

La Tabella C.1, presentata in allegato, permette di comprende nel dettaglio le soluzioni adottate. In essa viene specificata l'estensione delle zone critiche in prossimità dei nodi trave-pilastro, definita con riferimento alla parte inferiore o superiore del tratto di colonna considerato, e i passi delle staffe previsti in tali zone.

2.3.10 I plinti di fondazione

Le caratteristiche dimensionali dei plinti di fondazione rimangono invariante rispetto al progetto originale. La pianta delle fondazioni a cui fare riferimento è dunque quella introdotta in FIG.2.7. I parametri geotecnici sono quelli definiti nel Sottoparagrafo 2.3.3.

Per le verifiche geotecniche è stato adottato l'Approccio 1 delle NTC 2008, che prevede l'utilizzo delle Combinazioni 1 e 2, per le quali i coefficienti relativi alle proprietà del terreno e alle resistenze della fondazione sono definiti in Tabella 2.4.

COEFFICIENTI		COMBINAZIONE 1	COMBINAZIONE 2
PROPRIETÀ DEL TERRENO	Coesione	1	1.25
	Angolo di attrito	1	1.25
	Resistenza al taglio non drenata	1	1.4
RESISTENZE FONDAZIONE	Capacità portante	1	1.8
	Scorrimento	1	1.1

TAB. 2.4 Coefficienti di combinazione per le verifiche SLU GEO

Non sono stati eseguiti il calcolo e la verifica dei cedimenti.

La riprogettazione non ha riguardato tutte le fondazioni isolate: per i plinti di dimensione 100x100 dei pilastri P01 e P05, e per quelli quadrati di lato 130 cm delle colonne P09, P16, P19, P20 e P23, i quantitativi di armatura previsti nel progetto originale sono risultati sufficienti per soddisfare il progetto secondo le NTC 2008. Pertanto, gli elaborati grafici di riferimento sono quelli di FIG. B.2 e B.3.

Avendo deciso di mantenere invariato il diametro delle barre, i plinti quadrati di lato 150 cm (pilastri P09, P10, P13, P14 e P15) e il plinto doppio (pilastri P21 e P22) hanno invece subito un incremento del numero di ferri previsti. Gli schemi di armatura adottati sono presentati in FIG.

C.62 e C.63 (sezione C.4 dell'Allegato C). Per le suole di fondazione del muro perimetrale e del setto della Scala A si rimanda, invece, ai Sottoparagrafi dedicati a tali elementi strutturali.

2.3.11 Il muro perimetrale

Lo schema di calcolo impiegato per il progetto e la verifica del muro perimetrale interrato è quello di mensola incastrata al piede e vincolata in testa, avendo previsto un blocco orizzontale in prossimità dell'estremità superiore del fusto dovuto alla presenza dell'orizzontamento del Piano Terra. Le proprietà del terreno di fondazione e del terreno che insiste sul paramento verticale sono quelle definite nel Sottoparagrafo 2.3.3. Le spinte sono calcolate considerando il coefficiente di spinta a riposo $k_0 = 0.55$.

Il progetto e le verifiche agli SLU GEO e STR sono state condotte considerando l'Approccio 2, per il quale i coefficienti di sicurezza assumono i valori riportati in Tabella 2.5.

COEFFICIENTI		
AZIONI A1 (STR)	Permanenti/favorevole	1.0
	Permanenti/sfavorevole	1.3
	Permanenti non strutturali/favorevole	0
	Permanenti non strutturali/sfavorevole	1.5
	Variabile/favorevole	0
	Variabile/sfavorevole	1.5
PROPRIETÀ DEL TERRENO (M1)	Coesione	1
	Angolo di attrito	1
	Resistenza al taglio non drenata	1
RESISTENZE	Capacità portante	1
	Scorrimento	1.1

TAB. 2.5 Coefficienti parziali per le azioni, per i parametri geotecnici del terreno e per le verifiche agli SLU

L'analisi è stata condotta in condizioni sismiche: la sovraspinta sismica del terreno, definita con la Teoria delle spinte su muro rigido di Wood, è stata calcolata a partire dai seguenti parametri:

```
- Categoria di sottosuolo = cat C
- Categoria topografica = categoria T1
- Accelerazione massima al sito ag = 1.2376 m/s^2
- Fattore di amplificazione massimo dello spettro di accelerazione
   orizzontale Fo = 2.4537
- beta m= 1
   --> Coefficiente sismico orizzontale kh = 0.1892
   --> Coefficiente sismico verticale kv = 0.0946
```

Oltre allo schema dei ferri del paramento verticale, nella sezione C.5 dell'Allegato C sono individuate il numero e la tipologia di barre impiegate per la suola di fondazione e per il cordolo in testa al muro.

2.3.12 Il setto della Scala A

Il setto della Scala A, di forma in pianta ad arco di circonferenza, si sviluppa, a partire dal piano di fondazione, fino all'orizzontamento del Secondo Solaio. La sua riprogettazione ha riguardato unicamente il numero e il passo dei tondi di acciaio impiegati, avendo mantenuto inalterate le proprietà meccaniche dei materiali e le dimensioni geometriche, che dunque assumo gli stessi valori previsti negli elaborati originali.

I quantitativi di armatura necessari per resistere agli sforzi indotti dai carichi, così come definiti nel modello tridimensionale, sono stati determinati a partire dalle aree di armatura minime calcolate con il metodo di Wood (Appendice E – Eurocodice 2). Pur potendo differenziare l'armatura orizzontale e verticale in funzione della faccia del setto considerata, si è deciso di impiegare lo stesso numero e tipologie di barre sia per l'armatura superiore, disposta in prossimità della faccia del setto avente raggio minore, che per quella inferiore, distribuita lungo la faccia a più ampio raggio.

Oltre agli schemi dei ferri della parete, in FIG. C.65 (sezione C.6 dell'Allegato C) sono definiti anche la tipologia ed il numero di barre previste per la suola di fondazione.

2.3.13 Gerarchia delle resistenze

Il rispetto del criterio di gerarchia delle resistenze permette di proteggere i pilastri dalla loro prematura plasticizzazione: per ogni nodo-trave pilastro ed ogni direzione e verso dell'azione sismica, la resistenza complessiva dei pilastri deve risultare maggiore della resistenza complessiva delle travi amplificata del coefficiente γ_{Rd}. Si ha dunque

$$\sum M_{C,Rd} \geq \gamma_{Rd} \cdot \sum M_{b,Rd}$$

nella quale $M_{C,Rd}$ è il momento resistente della generica colonna convergente nel nodo, calcolato per i livelli di sollecitazione assiale presenti nelle combinazioni sismiche delle azioni; $M_{b,Rd}$ è il momento resistente della generica trave convergente nel nodo; γ_{Rd} viene assunto pari a 1.10 perché l'edificio è di classe di duttilità B.

Il confronto tra i coefficienti di sovraresistenza calcolati nelle due direzioni (X e Y) e il valore minimo richiesto γ_{Rd} risulta positivo per ciascun nodo trave-pilastro, così come mostrato graficamente nelle FIG. 2.15 e 2.16. Nel dettaglio si ha:

Pilastro	Nodo	Mr_inf	Mr_sup	Mr_travi	Mp/Mt	Mr_inf	Mr_sup	Mr_travi	Mp/Mt
P01	N10		63.2				63.2		
	N309	61.8	50.2			61.5	63.8	75.9	1.65
P02	N90	73.8	70.7	115.7	1.25	51.3	63.1		
	N229	68.3	63.5	102.7	1.28	53.5	66.3		
P03	N88	92.8	74.8	145.4	1.15	70.7	63.4	54.6	2.45
	N228	75.5	72	93.4	1.58	59.2	72.1		
P04	N86	85.6	85.9	131.3	1.31	68.3	77.9	81	1.8
	N226	85.9	50.5	102.7	1.33	72.4	53.1		
P05	N2		67.6				67.7		
	N306	67.1	67.1			67.1	67.1		
	N245	66.2	68.2	42.9	3.13	66.4	50.1		
	N254	66.3	63.2	36.5	3.54	46.8	63.6	50.9	2.17
P06	N95	71.4	79.6	89.7	1.68	78.4	81.6	102.2	1.57
P07	N336	110.9	66.2	129.7	1.37	80.4	47		
P08	N91	85.9	75.2	84.2	1.91	78.6	76.2	95.4	1.62
	N225	71.4	84	55.8	2.78	67.6	84.5	86.2	1.77
	N269	83.3	83.3			83.5	83.5		
P09	N38		97.9				100.7		
	N37	90.8	68.2			97.7	85.5	132.2	1.39
	N92	69.5	76.1	91.2	1.6	88.8	82.4	92.6	1.85
P10	N18		77.7				83.3		
	N17	71.8	96.4	67.5	2.49	82.8	102.3	145.2	1.28
	N84	98.2	104.8	153.8	1.32	107	103.5	146.2	1.44
P11	N311	81.5	60.4	122.4	1.16	95.1	62.3	62.9	2.51
P12	N96	52.7	63.3	41.3	2.81	71.7	58.8	109.1	1.2
	N285	36.1	62			64.2	54.8	58.2	2.04
P13	N49		102.6				101.7		
	N48	99.5	54.6	133.7	1.15	100.8	65	35.4	4.69
	N97	61.6	67.2	82.7	1.56	67.4	61.5	69.6	1.85
	N215	61.3	92.4	51.8	2.97	65.3	82.5	66.7	2.22
P14	N36	135	134.7						
	N35	134.7	117.3	213.7	1.18	132.4	123.8	64	4.01
	N93	123.9	127.8	215.9	1.17	127.3	116.1	72.8	3.34
	N216	121.4	63.5	124.5	1.48	113.6	63.8	47.6	3.73
P15	N20		132.2				135.6		
	N19	134.7	105.1	171.6	1.4	135.6	112.7	54.1	4.59
	N94	107.3	101.5	57.4	3.64	115.7	104.8	146.2	1.51
	N217	102.3	83.9	152.9	1.22	101.8	91.4		
P16	N22		79.8				83.3		
	N21	81	65.6	69.8	2.1	81.3	65.4	51.8	2.83
	N82	77.1	70.9	117.4	1.26	70.1	63.8		
	N218	62.3	59.4	93.4	1.3	56.5	63.7		
P17	N81	65.9	53.7	51.7	2.32	72	64.6	72.9	1.87
	N219	37	59.3	32.3	2.98	59.1	62.1	91.9	1.32
P18	N83	62.6	57.9			90.9	61.7	116.9	1.3

Pilastro	Nodo	Mr_inf	Mr_sup	Mr_travi	Mp/Mt	Mr_inf	Mr_sup	Mr_travi	Mp/Mt
P19	N55		79.1				79.1		
	N54	76.6	55.2	108.2	1.22	76.1	55.5	35.4	3.72
	N80	57.4	68.5	98.4	1.28	57.9	57.6	61.2	1.89
	N214	64.6	64.6	54.5	2.37	63.2	64.4	63.2	2.02
P20	N34		101.6				105.8		
	N33	101.1	83.5	108.2	1.71	105	72.9	54.2	3.28
	N79	89.3	100	131.1	1.44	80	101.1	55.6	3.26
	N213	96.5	45.4	119.7	1.19	96.8	46	41.5	3.44
P21	N27	62	42.3	82.2	1.27	60.5	38.5	58.8	1.68
	N78	50.1	74.8	94.8	1.32	46.6	76.7	58.4	2.11
	N212	73	47.3	107.2	1.12	70.5	52.1	45.6	2.69
P22	N316	91.3	85.4	57	3.1	95.3	75.1		
	N239	87.4	59.9	115.8	1.27	78.1	54.1	83.8	1.58
	N314	58.2	59.3	68	1.73	56.4	59.8		
P23	N24		98.3				101.2		
	N23	100.6	83.7	95.4	1.93	99	67.9	42.2	3.96
	N76	97.1	68.5	127.4	1.3	75.6	63.9		
	N211	66.9	64.3	93.5	1.4	59.3	64.8		
P24	N75	47.7	64.3	63.2	1.77	64.8	66.1	82	1.6
	N210	60.5	63.5	35.9	3.46	62.2	64.8	50.9	2.5
P25	N72	69.6	61.7	44.2	2.97	86.1	62	62.7	2.36
P26	N208	60.9	64.9	41.2	3.05	65	65.3	41.5	3.14
P27	N74	87.1	65.7	65.1	2.35	81	71.1	64.8	2.35

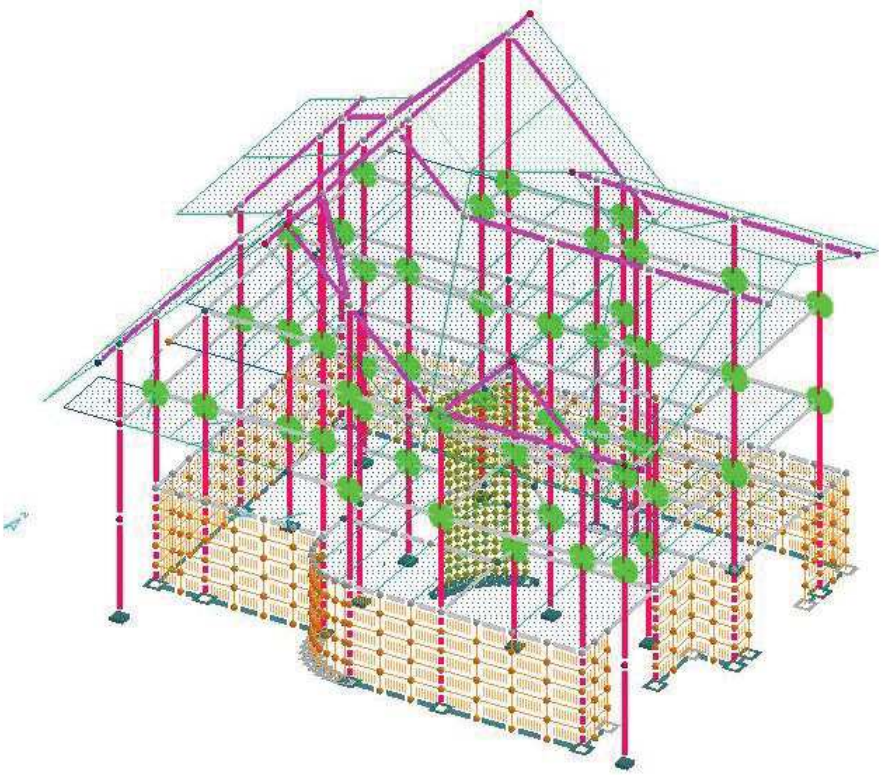


FIG. 2.15 Gerarchia delle resistenze: verifica positiva per i nodi trave-pilastro in direzione X (O-E)

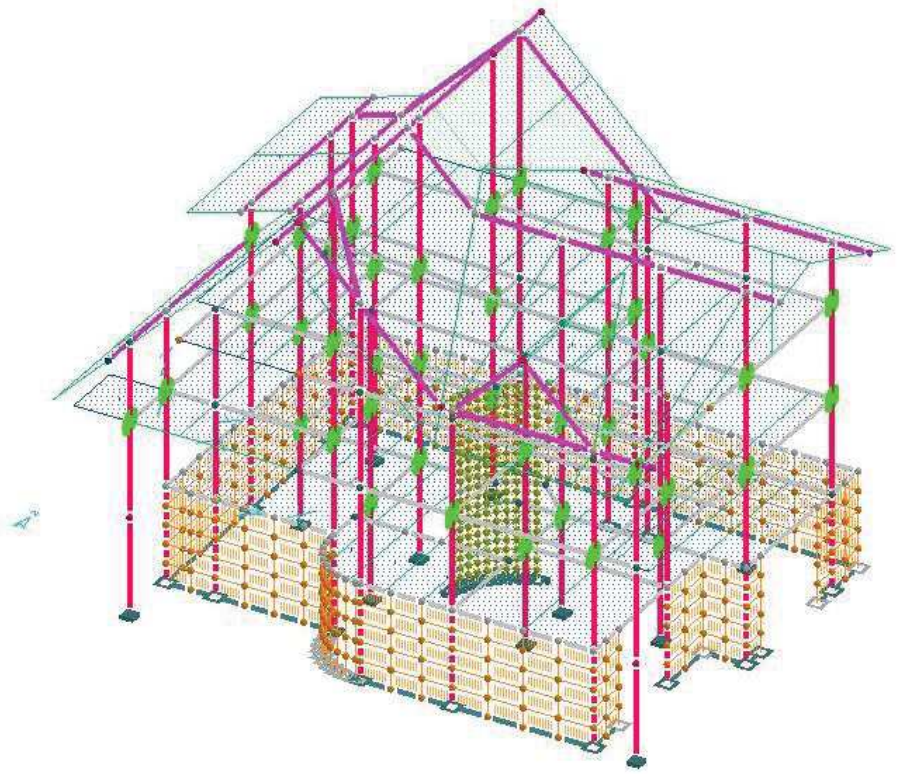


FIG. 2.16 Gerarchia delle resistenze: verifica positiva per i nodi trave-pilastro in direzione Y (S-N)

Si noti che, tenuto conto delle capacità di resistenza degli elementi strutturali che vi convergono, i nodi tra i pilastri perimetrali e la parete interrata, in corrispondenza del primo orizzontamento, sono stati esclusi dal calcolo dei coefficienti di sovraresistenza.

2.4 Il grado di difformità

La ricerca di un parametro che potesse fornire indicazioni inerenti la struttura resistente, così da consentire la caratterizzazione dell'edificio dal punto di vista strutturale, ha portato all'introduzione del *grado di difformità*, indice attraverso il quale emergono importanti informazioni relative alla vulnerabilità dell'organismo strutturale.

La determinazione del *grado di difformità* (gdd) richiede il confronto, per ciascun elemento strutturale, dei quantitativi di armatura previsti nel progetto originale con quelli calcolati in ottemperanza alla Normativa Tecnica per le Costruzioni del 2008. Per l'*i-imo* elemento strutturale, sia ha

$$gdd_i = \frac{c_{1i} - c_{2i}}{c_{2i}} \cdot 100 \ [\%]$$

In cui:

- c_{1i} è il peso complessivo delle armature calcolate in accordo con le prescrizione delle NTC 2008 per l'*i-imo* elemento strutturale;
- c_{2i} è il peso complessivo delle armature previste nel progetto originale per l'*i-imo* elemento strutturale.

Al fine di ottenere un unico valore di riferimento, per i travetti del solaio, le travi ed i pilastri, il calcolo del *grado di difformità* condotto per ciascun elemento strutturale viene poi sfruttato per la definizione del *grado di difformità* (*GD*) per tipologia di elemento strutturale. Infatti, una volta identificati gli *n* elementi appartenenti alla stessa tipologia strutturale, si ha:

$$GD = \frac{\sum_{i=1}^{n} gdd_i \cdot c_{1i}}{\sum_{i=1}^{n} c_{1i}} \ [\%]$$

Valore ottenuto come media ponderata del *grado di difformità* rispetto all'ammontare complessivo di armatura calcolata secondo le NTC 2008 per gli *n* elementi della tipologia strutturale *i-ima*.

Per le strutture di fondazione, il muro perimetrale del piano interrato e per il setto in corrispondenza della Scala A, il *grado di difformità* viene definito riferendosi direttamente ai quantitativi di armatura complessivi.

Prima di introdurre i risultati ottenuti, appare utile ribadire che la scelta di considerare il *grado di difformità* come parametro per la caratterizzazione strutturale dell'edificio consente di ottenere indicazioni inerenti la sua vulnerabilità strutturale, soprattutto in relazione al comportamento in presenza di azione sismica: quanto più elevato è il *grado di difformità*, tanto più vulnerabile è l'edificio nei confronti del sisma. Inoltre, pur non volendo approfondire in maniera dettagliata, è bene sapere che è possibile sfruttare questi risultati per individuare, mediante la correlazione del *grado di difformità* all'*Indice di sicurezza IS-V*, la *classe di rischio sismico*[15] alla quale l'edificio appartiene [16].

2.4.1 Il grado di difformità dei travetti di solaio

Il confronto tra i quantitativi di armatura previsti per ciascuna area di solaio nel progetto originale e quelli calcolati in ottemperanza delle NTC 2008 è proposto nella Tabella seguente. Si

ricorda che la tipologia e le dimensioni del solaio (18+4), nonché le caratteristiche di resistenza dei materiali sono analoghe per i due progetti. L'unica variazione applicata in fase di riprogettazione riguarda il diametro dei tondini impiegati: sono stati adottati diametri compresi tra 8 e 14 mm, anziché tra 8 e 16 mm.

Per i codici di identificazione delle porzioni di solaio si faccia riferimento alle piante di carpenteria proposte all'inizio del presente Capitolo (FIG. 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11), mentre per il confronto diretto tra i due progetti si rimanda agli schemi dei ferri introdotti per ciascun travetto nelle condizioni originali (Allegato B) e riprogettate (Allegato C).

		PROGETTO ORIGINALE		**PROGETTO NTC2008**		
TRAVETTI	N. TRAVETTI PER AREA SOLAIO [-]	PESO TOT. FERRI SINGOLO TRAVETTO [daN]	PESO TOT. FERRI AREA DI SOLAIO c_{2i} [daN]	PESO TOT. FERRI SINGOLO TRAVETTO [daN]	PESO TOT. FERRI AREA DI SOLAIO c_{1i} [daN]	gdd_i [%]
SPT1	8	5	40	8	64	**60.0**
SPT2+SPT6	2	5	10	7	14	**40.0**
SPT3	2	2	4	3	6	**50.0**
SPT4+SPT7	3	5	15	5	15	**0.0**
SPT5+SPT8+SPT11	7	11	77	16	112	**45.5**
SPT9	12	4	48	5	60	**25.0**
SPT10	6	5	30	8	48	**60.0**
SPT12	2	5	10	8	16	**60.0**
SPT13	28	2	56	2	56	**0.0**
SP1_14	2	7	14	7	14	**0.0**
SP1_15+SP1_16	8	8	64	11	88	**37.5**
SP1_17	10	3	30	5	50	**66.7**
SP1_18A	9	3	27	3	27	**0.0**
SP1_18B	6	3	18	3	18	**0.0**
SP1_19+SP1_23BIS	2	8	16	8	16	**0.0**
SP1_20	3	3	9	7	21	**133.3**
SP1_21	9	6	54	6	54	**0.0**
SP1_22	2	2	4	3	6	**50.0**
SP1_23	6	5	30	6	36	**20.0**
SP124A+SP1_25A+SP1_26	7	13	91	14	98	**7.7**
SP124B+SP1_25B+SP1_26	2.5	13	32.5	16	40	**23.1**
SPS27+SPS29+SPS33+SPS36	5	19	95	18	90	**-5.26**
SPS28	19	4	76	5	95	**25.0**
SPS30	9	4	36	4	36	**0.0**
SPS31	3	3	9	3	9	**0.0**
SPS32+SPS35	7	9	63	9	63	**0.0**
SPS34+SPS37	6	6	36	6	36	**0.0**
SPS34BIS	3	5	15	6	18	**20.0**
F38+**F39**	13	13	169	13	169	**0.0**
F40+**F41**	12	6	72	6	72	**0.0**
F42	12	8	96	8	96	**0.0**
F43+F44	5	10	50	10	50	**0.0**
F45	5	4	20	5	25	**25.0**
F47	8	1	8	1	8	**0.0**
F48A	2	8	16	8	16	**0.0**
F48B	2	8	16	8	16	**0.0**

		PROGETTO ORIGINALE		PROGETTO NTC2008		
TRAVETTI	N. TRAVETTI PER AREA SOLAIO [-]	PESO TOT. FERRI SINGOLO TRAVETTO [daN]	PESO TOT. FERRI AREA DI SOLAIO c_{2i} [daN]	PESO TOT. FERRI SINGOLO TRAVETTO [daN]	PESO TOT. FERRI AREA DI SOLAIO c_{1i} [daN]	gdd_i [%]
F49+F50	11	13	143	16	176	**23.1**
F51	3.5	9	31.5	11	38.5	**22.2**
F53	6	4	24	4	24	**0.0**
F54	2	4	8	4	8	**0.0**
F55A+F56	17	7	119	7	119	**0.0**
F55B	18	4	72	11	198	**175.0**
		TOTALE PESO FERRI PROGETTO ORIGINALE [daN]	**1854**	**TOTALE PESO FERRI PROGETTO NTC08** [daN]	**2221.5**	

TAB. 2.6 Travetti di solaio - Quantitativi di armatura previsti nel progetto originale, quantitativi di armatura calcolati secondo NTC08 e *grado di difformità*

Il *grado di difformità* gdd_i risulta dunque nullo per ampie aree di solaio, per le quali, nel nuovo progetto, non è stato necessario modificare la disposizione ed il numero di barre impiegate.

Il valore medio del *grado di difformità GD* associato alla tipologia di elemento *travetti di solaio* risulta essere

$$GD_{tr_s} = \frac{\sum_{i=1}^{n} gdd_i \cdot c_{1i}}{\sum_{i=1}^{n} c_{1i}} = \frac{69714.6}{2221.5} = 31.4\ \%$$

2.4.2 Il grado di difformità delle travi

Il confronto tra i quantitativi di armatura previsti per ciascuna trave nel progetto originale e quelli calcolati in ottemperanza delle NTC 2008 è proposto in Tabella 2.7.

Le differenze più evidenti che emergono dal raffronto tra le travature del progetto originale e le travi ricalcolate secondo le prescrizioni delle NTC2008 riguardano sia l'armatura trasversale, con la riduzione del passo delle staffe e l'incremento del loro diametro (da ϕ6 a ϕ8) nel nuovo progetto, che l'armatura longitudinale, con la variazione dei diametri impiegati. Infatti, con la riprogettazione, oltre ai tondi di diametro ϕ14 e ϕ16, sono stati adottati ferri longitudinali di diametro ϕ20 e ϕ22. Viene invece meno l'uso di ϕ12. Per il raffronto dettagliato tra le soluzioni progettuali originali e quelle adottate nella riprogettazione si rimanda alle considerazioni preliminari in apertura del Paragrafo 2.3 e al confronto grafico degli elementi (Allegati B e C).

Nella Tabella 2.7, per ciascuna trave, sono riportati i quantitativi di armatura previsti nei due progetti e il calcolo del *grado di difformità*.

	PROGETTO ORIGINALE						PROGETTO NTC2008						
TRAVI	PESO FERRI TOT.	ϕ6	ϕ8	ϕ12	ϕ14	ϕ16	PESO FERRI TOT.	ϕ8	ϕ14	ϕ16	ϕ20	ϕ22	gdd_i
	c_{2i} [daN]			[daN]			c_{1i} [daN]			[daN]			[%]
T101	58	8	4	10	36		92	22	27	43			**58.6**
T102	49	7	4		13	25	106	25		61	20		**116.3**
T103	48	8	3	37			93	39		54			**93.8**
T104	75	7	3	18	29	18	182	50		77	37	18	**142.7**
T105	135	23	10	55	30	17	244	99		145			**80.7**
T106	34	9	3	22			60	23	16	21			**76.5**
T107	44	9		23		12	97	32	36	29			**120.5**
T108	74	14	3	8		49	128	39	16	73			**73.0**
T109	25	5	3		17		57	8	8		41		**128.0**
T110	27	7	3		17		46	11	23	12			**70.4**
T111	10	3		7			31	10	12	9			**210.0**
T112	10	3		7			31	10	21				**210.0**
T113	43	11	4	16	12		70	26	44				**62.8**
T114	7	2			5		63	9			54		**800.0**
M2	4			4			17	2	5		10		**325.0**
T201	121	17	4	14	14	72	206	66	29	51	60		**70.2**
T202	80	9	3	17	24	27	148	34		30	84		**85.0**
T203	59	7	4	7	8	33	124	26	19		79		**110.2**
T204	64	10	4	7	38	5	121	36	4	53	28		**89.1**
T205	67	10	3	11	43		189	50		56	59	24	**182.1**
T206	53	8	5	40			101	36	60	5			**90.6**
T207	141	21	10	56	44	10	292	94		150	48		**107.1**
T208	65	11	7	47			133	43	26	64			**104.6**
T209	15	4			11		48	7			37	4	**220.0**
T210	112	27	7	28	32	18	226	71	55	66	34		**101.8**
T211	34	9	3	22			72	23	21	28			**111.8**
T212	55	16	2	15	12	10	122	43	8	71			**121.8**
T213	85	25	7	22	31		212	62	5	132	13		**149.4**
T214	36	10	4	22			111	25	11		75		**208.3**
T215	38	11	4	23			103	26	22	35	20		**171.1**
T216	10	3		7			44	10	7	6	21		**340.0**
T217	10	3		7			54	10	3		41		**440.0**
T301	103	17	4	14	68		179	66	76	37			**73.8**
T302	123	18	7	13	23	62	202	60	32	110			**64.2**
T303	160	23	9	19	91	18	261	84	106	18	53		**63.1**
T304	126	18	10	16	71	11	240	81	11	148			**90.5**
T305	26	4	3	3	16		44	18	26				**69.2**
T306	68	25	4	29		10	89	37	3	49			**30.9**
T307	41	12	3		26		61	28	33				**48.8**
T308	87	18		5	26	38	112	43	19	50			**28.7**
T309	10	3		7			29	10	19				**190.0**
T310	10	3		7			35	10	5		20		**250.0**
T311	81	21	7	23	30		146	48	98				**80.2**

	PROGETTO ORIGINALE						PROGETTO NTC2008						
TRAVI	PESO FERRI TOT. c_{2i} [daN]	ϕ6	ϕ8	ϕ12	ϕ14	ϕ16	PESO FERRI TOT. c_{1i} [daN]	ϕ8	ϕ14	ϕ16	ϕ20	ϕ22	***gdd**$_i$* [%]
				[daN]						[daN]			
T312	52	7	3	5		37	74	23	7	44			**42.3**
T401	87	13	4	12	40	18	138	48	4	86			**58.6**
T402	66	10	4	6	46		114	49	65				**72.7**
T403	60	9	3	9	39		80	37	43				**33.3**
T404	166	45	10	7	77	27	356	171	185				**114.5**
T405	76	13	4	5	6	48	151	62	41	48			**98.7**
T406	170	24	9	11	25	101	192	69	123				**12.9**
T407	179	12	27	18	13	109	205	73		132			**14.5**
T408	70	9	5			56	85	26	59				**21.4**
T409	34	4				30	47	18	29				**38.2**
T410	172	24	8	12	41	87	200	64	123	13			**16.3**
	3655	**TOT. FERRI PR. OR.**					**6663**	**TOT. FERRI PR. NTC08**					

TAB. 2.7 Travi dei piani terra, primo, sottotetto e di copertura - Quantitativi di armatura previsti nel progetto originale, quantitativi di armatura calcolati secondo NTC08 e *grado di difformità*

Si noti la grande variabilità dei valori assunti dal *grado di difformità gdd$_i$* in funzione della trave considerata. In particolare i *gdd$_i$* variano da una percentuale minima, pari al 12.9%, associata alla trave del solaio di copertura T406, al valore massimo (800%) associato alla trave del solaio del piano terra T114, disposta diagonalmente tra il setto della Scala A e il pilastro P15.

Il valore medio ponderato del *grado di difformità GD* associato alla tipologia di elemento *trave* risulta essere

$$GD_{TR} = \frac{\sum_{i=1}^{n} gdd_i \cdot c_{1i}}{\sum_{i=1}^{n} c_{1i}} = \frac{681940.83}{6663} = 102.4\ \%$$

2.4.3 Il grado di difformità dei pilastri

L'armatura prevista nel progetto originale, barre longitudinali 4ϕ14 o 4ϕ12 e staffe ϕ6/15 o ϕ6/50, non è risulta sufficiente per il soddisfacimento delle verifiche secondo le NTC 2008. La definizione dei nuovi quantitativi di ferri, come detto in precedenza, è stata significativamente influenzata dai criteri di gerarchia delle resistenze: per la totalità degli elementi portanti verticali è stato necessario variare il diametro delle barre longitudinali ed introdurre armatura aggiuntiva (di dimetro variabile da ϕ14 a ϕ22), nonché ridurre il passo delle staffe, con infittimenti maggiori nelle zone critiche, ovvero in prossimità dei nodi trave-pilastro.

Nella Tabella 2.8, per ciascun pilastro, sono riportati i quantitativi di armatura previsti nei due progetti e il calcolo del *grado di difformità*.

	PROGETTO ORIGINALE				PROGETTO NTC2008						
PILASTRO	ϕ6	ϕ12	ϕ14	TOT. FERRI	ϕ6	ϕ14	ϕ16	ϕ20	ϕ22	TOT. FERRI	gdd_i
		[daN]		c_{2i} [daN]			[daN]			c_{1i} [daN]	[%]
P01	15		59	74	17			134		151	104.1
P02	17	11	62	90	22			180		202	124.4
P03	13		67	80	25	29	158			212	165.0
P04	13		67	80	21		67	158		246	207.5
P05	17		67	84	20			157		177	110.7
P06	15	10	44	69	20	66		135		221	220.3
P07	13	12	44	69	21	9	40	182		252	265.2
P08	20	17	62	99	31	103		210		344	247.5
P09	16	12	44	72	20	68		139		227	215.3
P10	16	12	44	72	21			245		266	269.4
P11	12	12	44	68	19		40	140		199	192.6
P12	13	17	44	74	21			159		180	143.2
P13	17		87	104	22	30	25	163		240	130.8
P14	24	18	62	104	32			53	360	445	327.9
P15	21	11	62	94	29	16		159	206	410	336.2
P16	21	11	62	94	24			144		168	78.7
P17	17	11	62	90	23			179		202	124.4
P18	13	14	44	71	19		40	146		205	188.7
P19	17		70	87	21			162		183	110.3
P20	24	18	62	104	30	9	66	239		344	230.8
P21	19	9	63	91	25	134	14	41		214	135.2
P22	19	9	63	91	25	52	174			251	175.8
P23	19	9	62	90	25	50		171		246	173.3
P24	16	9	62	87	22			172		194	123.0
P25	13	14	44	71	19		40	146		205	188.7
P26	20	18	62	100	27			198		225	125.0
P27	14		71	85	22		40	164		226	165.9
	TOT. FERRI PR. OR.			**2294**		**TOT. FERRI PR. NTC08**				**6435**	

TAB. 2.8 Pilastri - Quantitativi di armatura previsti nel progetto originale, quantitativi di armatura calcolati secondo NTC08 e *grado di difformità*

Per gli elementi portanti verticali si registrano valori del *grado di difformità* gdd_i variabili tra il 78.7% (pilastro P16) e il 336.2% (pilastro P15). Il valore medio ponderato del *grado di difformità GD* associato alla tipologia di elemento *pilastro* risulta essere

$$GD_P = \frac{\sum_{i=1}^{n} gdd_i \cdot c_{1i}}{\sum_{i=1}^{n} c_{1i}} = \frac{1267398}{6435} = 197.0\ \%$$

2.4.4 Il grado di difformità del setto Scala A

Il setto della Scala A, originariamente chiamato a resistere alle sollecitazioni indotte dai soli carichi verticali, diviene un elemento di primaria importanza per l'edificio riprogettato, in quanto componente strutturale in grado di assorbire efficacemente le azioni orizzontali indotte dal

sisma. Per tale ragione, il *grado di difformità GD* che lo caratterizza assume un valore particolarmente elevato.

Nel calcolare i quantitativi di armatura, sia per la condizione originale che per il progetto secondo NTC 2008, oltre a considerare l'ammontare di barre disposte nella parete, è stata presa in considerazione anche la quantità di ferri prevista in fondazione.

Nelle Tabelle 2.9, 2.10 e 2.11 sono riportati i risultati ottenuti. I quantitativi riferiti alla parete del setto sono distinti in verticali (V) ed orizzontali (O), in superiori (S) ed inferiori (I). Quest'ultima distinzione è da intendersi nel modo seguente: l'armatura superiore è quella disposta in prossimità della faccia del setto avente raggio minore, mentre quella inferiore è distribuita lungo la faccia a più ampio raggio.

SETTO SCALA A	PROGETTO ORIGINALE			PROGETTO NTC2008			
	PESO FERRI TOT . [daN]	ϕ6 [daN]	ϕ10	PESO FERRI TOT. [daN]	ϕ8	ϕ10 [daN]	ϕ16
AIO	12	12	0	40	22	18	
AIV	20	0	20	194	32		162
ASO	12	12	0	40	22	18	
ASV	20	0	20	194	32		162
TOT. PARETE	**64**			**469**			

TAB. 2.9 Parete del Setto Scala A - Quantitativi di armatura previsti nel progetto originale, quantitativi di armatura calcolati secondo NTC08

SETTO SCALA A	PROGETTO ORIGINLAE			PROGETTO NTC2008		
	ϕ8 [daN]	ϕ12	PESO FERRI TOT. [daN]	ϕ10 [daN]	ϕ12	PESO FERRI TOT. [daN]
TRAVE DI FONDAZIONE	5	24	**29**	34	36	**70**

TAB. 2.10 Trave di fondazione del Setto Scala A - Quantitativi di armatura previsti nel progetto originale, quantitativi di armatura calcolati secondo NTC08

SETTO SCALA A	PESO TOT. FERRI [daN]		**GD**
	PROGETTO ORIGINALE	**PROGETTO NTC2008**	[%]
	93	**539**	**480**

TAB. 2.11 Setto Scala A - Quantitativi di armatura totale previsti nel progetto originale, quantitativi di armatura totale calcolati secondo NTC08 e *grado di difformità*

2.4.5 Il grado di difformità del muro perimetrale interrato

I quantitativi di armatura previsti per il muro perimetrale nel progetto originale e ricalcolati per la progettazione secondo NTC 2008, sono riportati in Tabella 2.12. Così come fatto per il setto della Scala A, nella valutazione del *grado di difformità* associato al muro perimetrale, si prende in conto anche l'armatura della suola di fondazione.

Il diametro dei ferri disposti verticalmente nella parete è lo stesso per i due progetti (ϕ10), ma con la riprogettazione il passo si riduce da 100 cm a 30 cm. Per le armature orizzontali, oltre a variare l'interasse (da 53 a 15 cm), cambia anche il diametro delle barre: dai 6 mm del progetto originale si passa agli 8 mm previsti con la nuova progettazione.

MURO PERIMETRALE	PESO FERRI/ml DI MURO [daN/ml]		PESO FERRI TOT. [daN]		**GDD**
	PROGETTO ORIGINALE	PROGETTO NTC08	**PROGETTO ORIGINALE**	**PROGETTO NTC08**	**[%]**
PARAMENTO	10.2	31.2	501.9	1536	
SUOLA DI FONDAZIONE	10.3	16.9	507	833	
TOTALE			**1008.9**	**2368.8**	**134.8**

TAB. 2.12 Muro Perimetrale - Quantitativi di armatura totale previsti nel progetto originale, quantitativi di armatura totale calcolati secondo NTC08 e *grado di difformità*

2.4.6 Il grado di difformità dei plinti di fondazione

La maggior parte dei plinti risulta verificata senza dover ricorrere all'incremento di armatura, eccezion fatta per i plinti quadrati di lato 150 cm (PL150x150x45), strutture di fondazione dei pilastri P10, P13, P14 e P15, e per il plinto doppio (PL100x230x45) alla base dei pilastri P21 e P22. Per i primi è stato necessario incrementare il numero di barre disposte inferiormente, passando da 5ϕ12 a 7ϕ12 in entrambe le direzioni, mentre nel secondo variano sia i quantitativi di armatura inferiore e superiore disposti in direzione O-E (da (4+4)ϕ12 a (8+8)ϕ12), che quelli ad essi perpendicolari (da (9+9)ϕ10 a (13+13)ϕ10).

L'ammontare complessivo di acciaio previsto per i plinti di fondazione nei due progetti, e il *grado di difformità* ad esso associato viene riportato in Tabella 2.13.

	PESO TOT. ACCIAIO [daN]		**GD** [%]
PLINTI	**PROGETTO ORIGINALE**	**PPROGETTO NTC08**	
	320	**356**	**21.4**

TAB. 2.13 Plinti di fondazione - Quantitativi di armatura totale previsti nel progetto originale, quantitativi di armatura totale calcolati secondo NTC08 e *grado di difformità*

2.4.7 Il grado di difformità dell'edificio

L'edificio analizzato risulta dunque caratterizzato dai seguenti valori del *grado di diffor*mità associati a ciascuna tipologia di elemento strutturale.

	PESO TOT. ACCIAIO [daN]		**GD** [%]
	PROGETTO ORIGINALE $[c_{2i}]$	**PPROGETTO NTC08** $[c_{1i}]$	
TRAVETTI DI SOLAIO	1854	2222	**31.4**
TRAVI	3655	6663	**102.4**
PILASTRI	2294	6435	**197.0**
SETTO SCALA A	93	539	**480.0**
MURO PERIMETRALE	1008.9	2368.8	**134.8**
PLINTI	320	356	**21.4**

TAB. 2.14 Tabella di sintesi - Quantitativi di armatura totale previsti nel progetto originale, quantitativi di armatura totale calcolati secondo NTC08 e *grado di difformità*

L'incremento dei quantitativi di armatura, necessario al fine di soddisfare le prescrizioni tecniche contenute nelle NTC 2008, è per lo più legato al soddisfacimento dei requisiti minimi imposti dalla normativa in merito alle quantità minime di barre longitudinali e staffe richieste per i diversi elementi strutturali. In questo ha giocato un ruolo chiave il comportamento dell'organismo strutturale resistente in presenza di azione orizzontale indotta dal sisma. Infatti, avendo mantenuto immutate le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali e le proprietà meccaniche dei materiali, la necessità di soddisfare i criteri di gerarchia delle resistenze si è tradotta, all'atto pratico, in un notevole aumento del numero di barre di acciaio, che ha caratterizzato soprattutto le travi, i pilastri, il setto della Scala A e le pareti perimetrali.

Volendo identificare un unico valore di riferimento del *grado di difformità* da attribuire all'intero edificio, si procede nuovamente al calcolo della media ponderata, in questo caso eseguito in funzione dei quantitativi complessivi di acciaio previsti nel nuovo progetto e associati a ciascuna tipologia strutturale. Si ha:

$$GD_{Ed} = \frac{\sum_{i=1}^{n} GD_i \cdot c_{1i}}{\sum_{i=1}^{n} c_{1i}} = 139.7\ \%$$

CAPITOLO 3

La caratterizzazione energetica dell'edificio tipo (C03-CAR1)

Le prime disposizioni in materia di contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici risalgono al 1976[2], tuttavia è solo con l'emanazione della Legge n. 10 del 1991[17] che l'Italia adotta un Piano Nazionale, per mezzo del quale vengono regolate, per la prima volta in modo organico, le modalità progettuali e la gestione del sistema edificio-impianto. La caratterizzazione energetica del caso studio diviene, allora, di particolare interesse perché consente di definire le peculiarità energetiche di un edificio che, per età di costruzione, presenta un livello di isolamento termico e prestazioni degli impianti modeste, se paragonate a quelle che caratterizzano le abitazioni di più recente costruzione.

Per la valutazione della prestazione energetica dell'edificio tipo, tenuto conto dell'incompletezza delle informazioni a disposizione riguardati le caratteristiche dell'involucro opaco, dell'involucro trasparente e del sistema impiantistico adottato per la climatizzazione invernale, si farà riferimento a quanto contenuto all'interno del Progetto TABULA.

Seppur orientati alla valutazione di aspetti diversi, essendo la scheda CARTIS incentrata sulla caratterizzazione strutturale degli edifici esistenti, mentre TABULA fornisce un quadro energetico del parco edilizio europeo, esistono dei dati comuni tra la schedatura ed il progetto, elencati nel primo Paragrafo, che ne permettono il confronto e la connessione. Questo *link* sarà indispensabile per la descrizione energetica degli elementi edilizi che compongono l'involucro esterno e per l'individuazione dei sottosistemi impiegati per la climatizzazione invernale dell'edificio tipo.

I risultati del calcolo della prestazione energetica, condotto mediante l'ausilio del software MASTERCLIMA MC11300, sono presentati in chiusura del Capitolo.

3.1 Il progetto TABULA

La valutazione della prestazione energetica per il caso studio richiede la conoscenza delle caratteristiche dell'involucro esterno e dei sottosistemi utilizzati per la climatizzazione invernale, oltre che delle dimensioni planimetriche e volumetriche degli spazi climatizzati e non. L'impossibilità di reperire informazioni complete inerenti le caratteristiche dell'involucro e degli impianti di riscaldamento dell'edificio oggetto della presente analisi, ha spinto alla ricerca di documenti che potessero rivelarsi utili ai fini di una caratterizzazione energetica quanto più completa, attendibile e coerente con le condizioni reali che accomunano la maggior parte degli edifici in calcestruzzo armato costruiti nel territorio del Comune di Sant'Antonino di Susa e risalenti ai primi anni Ottanta, compreso l'edificio tipo analizzato.

In questo senso particolarmente utile si è rivelato il progetto TABULA[4], poi ulteriormente aggiornato e integrato per mezzo del progetto EPISCOPE 2013-2016. Sviluppato con l'intento di caratterizzare da un punto di vista energetico il patrimonio edilizio europeo e valutare i potenziali di risparmio energetico raggiungibili mediante azioni di riqualificazione dell'involucro edilizio e degli impianti termici, il progetto TABULA ha coinvolto diversi Stati europei, tra cui l'Italia. Ad occuparsi della identificazione e descrizione delle tipologie edilizie nazionali è stato il Dipartimento Energia del Politecnico di Torino, che ha investigato il patrimonio residenziale italiano esistente e sviluppato le elaborazioni inerenti i dati dimensionali, le tipologie costruttive, impiantistiche e i consumi energetici, facendo spesso riferimento ai dati disponibili riguardanti la Regione Piemonte. Inoltre, per il calcolo delle prestazioni energetiche, il gruppo di lavoro italiano ha adottato come zona climatica di riferimento la zona E, alla quale appartengono sia il Comune di Torino, a cui ci si riferisce nel progetto TABULA, che il Comune di Sant'Antonino di Susa.

Se a questi aspetti si aggiunge il fatto che l'approccio impiegato in TABULA per la caratterizzazione energetica del patrimonio residenziale italiano, essenzialmente basato sull'età di costruzione e sulle classi di dimensione edilizia, è similare a quello adottato nella scheda CARTIS per la caratterizzazione tipologica strutturale degli edifici residenziali esistenti, si intuisce come sia stato possibile trovare degli elementi di connessione tra i due progetti, tali da permettere l'attribuzione delle informazioni di carattere energetico contenute nel progetto europeo al costruito santantoninese. Tale attribuzione, condotta unicamente per la tipologia strutturale di interesse, C03-CAR1, alla quale appartiene l'edificio tipo, ha dunque permesso di integrare le informazioni incomplete e di acquisire i dati mancanti, necessari per valutare la

prestazione energetica del caso studio e sviluppare le conseguenti considerazioni inerenti gli interventi congiunti di miglioramento energetico e strutturale.

3.1.1 CARTIS 2014 e progetto TABULA: tipologia strutturale C03-CAR1 e classe di edifici

La descrizione delle tipologie strutturali e delle classi di edifici, rispettivamente all'interno della scheda CARTIS 2014 e del Progetto TABULA, è basata su una serie di informazioni generali, rivelatesi utili elementi di connessione tra i due progetti: alla caratterizzazione strutturale del costruito di Sant'Antonino di Susa è stato così possibile affiancare una descrizione energetica del patrimonio edilizio analizzato.

Pertanto, una volta confrontate alcune informazioni contenute nella Sezione 1 – *Identificazione Tipologica* e nella Sezione 2 – *Caratteristiche generali* della tipologia strutturale C03-CAR1 con i contenuti del portale online del progetto TABULA[4] (Figura 3.1), è stato possibile giungere ad una rapida identificazione della classe di edifici alla quale fare riferimento per la descrizione energetica.

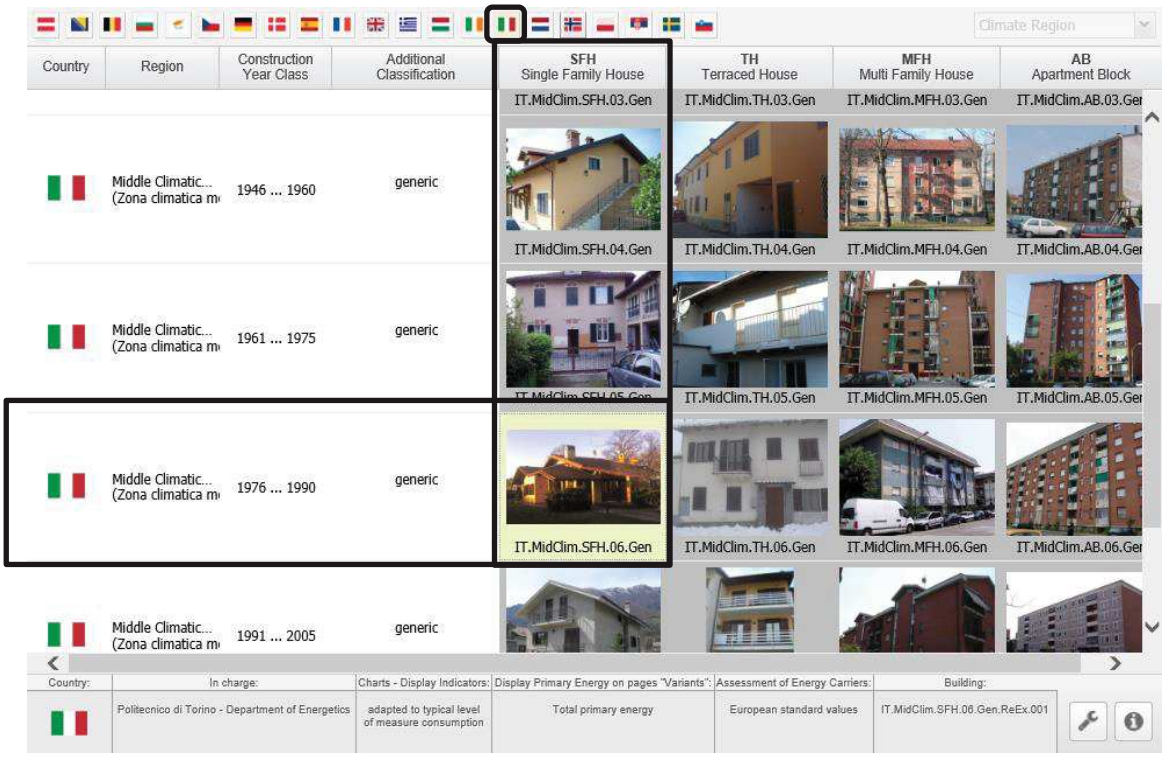


FIG. 3.1 Estratto da TABULA web tool[4]. I riquadri pongono in evidenza le informazioni di interesse

Le voci della scheda CARTIS considerate per la tipologia C03-CAR1, poi ulteriormente particolareggiate per l'edificio tipo considerato, e le caratteristiche generali della corrispondente classe di edifici, identificata in TABULA con il codice IT.MidClim.SFH.06.Gen, sono sinteticamente riportate in Tabella 3.1 e in Tabella 3.2, rispettivamente.

CARTIS 2014			TIPOLOGIA STR. C03-CAR1	EDIFICIO TIPO
SEZIONE	VOCE			
1 Identificazione Tipologia	c	Posizione tipologia nel contesto urbano	Isolata (90% edifici)	Isolata
2 Caratteristiche Generali	a	Piani totali (compresi interrati)	2 → 5	4
	e	Superficie media di piano [m^2]	130 → 300	155 ca.
	f	Età della costruzione	1972 → 1981	Primi anni Ottanta

TAB. 3.1 Voci di riferimento della CARTIS 2014 impiegate per l'identificazione della classe di edifici in TABULA

Progetto TABULA Classe di edifici IT.MidClim.SFH.06.Gen	
Paese	Italia
Regione	Area climatica media (zona E)
Classe di epoca di costruzione	Classe 6 1976 → 1990
Classe di dimensione edilizia	Casa monofamiliare
Superficie utile di pavimento [m^2]	199
Numero piani	2
Numero appartamenti	1

TAB. 3.2 Caratteristiche generali della classe di edifici di riferimento in TABULA

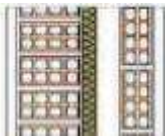
3.2 Le caratteristiche dell'involucro esterno e dei sottosistemi di climatizzazione invernale

Una volta definita la classe di edifici di riferimento, contraddistinta in TABULA dal codice IT.MidClim.SFH.06.Gen, e acquisite le informazioni disponibili per mezzo della consultazione degli elaborati grafici, si dispone di tutti gli elementi utili per la caratterizzazione dell'involucro edilizio e dei sottosistemi di climatizzazione invernale dell'edificio tipo in esame.

La descrizione dei componenti edilizi e dei parametri fisico-termici a loro associati è presentata in Tabella 3.3 per l'involucro opaco, e in Tabella 3.4 per quello trasparente. I valori di *trasmittanza termica U*, così come le diciture e le immagini, sono stati acquisiti dal progetto

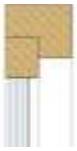
TABULA[18], mentre le informazioni di carattere dimensionale provengono dalla consultazione degli elaborati grafici del caso studio.

Appare utile sottolineare che la filosofia impiegata in TABULA per assegnare le capacità di isolamento termico ai diversi componenti edilizi è strettamente correlata allo sviluppo legislativo nazionale in materia edilizio-energetica. Infatti, il progetto attribuisce un basso livello di isolamento termico agli edifici costruiti tra il 1976 e il 1991, periodo a cui il caso studio appartiene e nel quale era in vigore la Legge 373/76[2], prima norma nazionale in materia di riduzione dei consumi energetici degli edifici, poi abrogata con l'approvazione della Legge 10/91[7].

INVOLUCRO OPACO				
Componente	**Caratteristiche**			**U** [W/(m^{2}K)]
Chiusura opaca superiore (Copertura)	Tetto a falde in latero-cemento, basso livello di isolamento		Solaio H=18+4	1.14
Chiusura opaca orizzontale (Solaio PT, P1 e Sottotetto)	Solaio latero-cementizio, basso livello di isolamento		Solaio H=18+4	0.97
Chiusura opaca orizzontale inferiore	Basamento di calcestruzzo su terreno, basso livello di isolamento		Spessore 10 cm	1.24
Chiusura opaca verticale (Pareti perimetrali)	Muratura a cassa-vuota con mattoni forati, basso livello di isolamento		Spessore 30 cm	0.78
Chiusura opaca verticale (Pareti perimetrali piano interrato)	Parete in calcestruzzo		Spessore 30 cm	2.80
Chiusura opaca verticale (Porta)	Porta in legno a doppi pannello			1.70

TAB. 3.3 Componenti opachi dell'involucro edilizio: materiali, dimensioni e trasmittanza termica *U*

INVOLUCRO TRASPARENTE				
Componente	**Caratteristiche**	**Dimensione** [cm^2]	**U** [W/(m^{2}K)]	**g$_{gl}$** [-]
Chiusura trasparente verticale (Finestra)	Vetro – camera con intercapedine d'aria, telaio in legno	40X40 60X130 80X130 90X130 120X130 160X130	2.9	0.75

INVOLUCRO TRASPARENTE				
Componente	**Caratteristiche**	**Dimensione** [cm^2]	**U** [$W/(m^2K)$]	$\mathbf{g_{gl}}$ [-]
Chiusura trasparente verticale (Portafinestra)	Vetro – camera con intercapedine d'aria, telaio in legno 	90x230 120x230 160x230	2.9	0.75

TAB. 3.4 Componenti trasparenti dell'involucro edilizio: materiali, dimensioni, trasmittanza termica *U* e trasmittanza di energia solare totale g_{gl}

La zona climatizzata, costituita dagli ambienti ai piani terreno, primo e sottotetto, è servita dall'energia termica emessa dal sistema di riscaldamento, i cui sottosistemi che lo compongono sono elencati in Tabella 3.5. La tipologia di questi ultimi e il loro rendimento sono stati per lo più ricavati da quanto riportato nel progetto TABULA. Fanno eccezione i valori di efficienza dei sottosistemi di emissione e di distribuzione, nonché il sottosistema di regolazione, per il quale il rendimento è stato determinato secondo quanto contenuto nel Prospetto 20 delle UNI/TS 11300:2[19], essendo TABULA privo di qualsiasi informazione in merito a tale sottosistema.

SOTTOSISTEMI DELL'IMPIANTO PER LA CLIMATIZZAZIONE INVERNALE		**Specifiche**	**Rendimento/Energia richiesta**
Sottosistema di emissione	Radiatori	Parzialmente su parete esterna isolata – carico termico medio annuo compreso tra 4 e 10 W/m^3	Rendimento di emissione $\eta_{H,e} = 0.970$
Sottosistema di regolazione	Regolazione manuale, solo di zona	Regolazione di tipo on-off	Rendimento di regolazione $\eta_{rg} = 0.930$
Sottosistema di distribuzione	Distribuzione centralizzata a colonne montanti verticali, collegamenti orizzontali in ambienti non riscaldati (piano interrato)		Rendimento di distribuzione $\eta_{H,d} = 0.914$
Sottosistema di accumulo	Serbatoio di accumulo di acqua calda per il riscaldamento	Livello di isolamento medio del serbatoio di accumulo	Perdite di energia termica del sottosistema di accumulo $Q_{l,s,H} = 3.8\ kWh/m^2$ di superficie utile pavimento
Sottosistema di generazione	Caldaia standard, bruciatore atmosferico, camino <10 m	Il generatore è posizionato in un ambiente non climatizzato (piano interrato). Vettore energetico: gas.	Rendimento del generatore $\eta_{H,gen} = 0.73$
Ausiliari elettrici	Pompa di circolazione per impianto centralizzato, ausiliario elettrico per caldaia standard con bruciatore atmosferico		Valore medio annuo dell'energia richiesta per il funzionamento degli ausiliari $Q_{gn,aux,H} = 3.7\ kWh/m^2$ di superficie utile

TAB. 3.5 Principali caratteristiche dei sottosistemi dell'impianto di climatizzazione invernale

L'impianto di produzione dell'acqua calda sanitaria, così come il sistema di climatizzazione estiva (eventualmente presente), non sono descritti in questo frangente perché non considerati per il calcolo della prestazione energetica, né tantomeno nella successiva fase di valutazione del miglioramento energetico.

3.3 La prestazione energetica

La prestazione energetica per il caso studio viene valutata facendo riferimento alle condizioni di esercizio *standard*: le caratteristiche reali dell'edificio sono accompagnate dalle condizioni di utilizzo dettate dalle norme UNI/TS 11300 e, pertanto, la prestazione energetica corrisponde al *fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale*.

Ricordando che la trattazione si concentra unicamente sui quantitativi di energia richiesti per la climatizzazione invernale, il fabbisogno di energia primaria è determinato a partire dal bilancio energetico tra l'energia totale ceduta verso l'esterno $Q_{H,ht}$, calcolata come somma dell'energia scambiata per trasmissione $Q_{H,tr}$ e per ventilazione $Q_{H,ve}$, per ogni mese e ogni zona dell'edificio, e l'energia fornita all'abitazione per mantenere le condizioni di temperatura e ventilazione prefissate. Oltre agli apporti termici interni Q_{int} e solari Q_{sol}, l'energia viene fornita all'edificio mediante l'impianto di climatizzazione invernale. La quantità di energia emessa dall'impianto, definita *fabbisogno ideale di energia termica* $Q_{H,nd}$, sommata alle perdite di energia dei sottosistemi che lo compongono (Q_l e $Q_{gn,aux}$), rappresenta il *fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale* $Q_{P,H}$.

Il calcolo dei diversi contributi di energia, condotto sulla base delle norme tecniche UNI/TS 11300, è stato eseguito usufruendo del software gratuito MASTERCLIMA MC11300, versione 3.16 CE/PE. Inoltre, tenuto conto che parte delle informazioni caratterizzanti l'involucro edilizio e l'impianto di riscaldamento provengono da TABULA, e che ai risultati del progetto si farà riferimento anche nei Capitoli successivi, per la valutazione della prestazione energetica dell'edifico tipo sono state adottate le stesse ipotesi e semplificazioni previste in TABULA, di seguito elencate.

- L'edificio è stato modellato considerando un'unica zona termica climatizzata, costituita dai piani terreno, primo e sottotetto. Il piano interrato è stato ipotizzato essere una zona non climatizzata.

- L'effetto dei ponti termici è stato determinato in via semplificata, mediante l'applicazione di un incremento percentuale delle dispersioni termiche per trasmissione, in funzione della tipologia di chiusura opaca (UNI/TS 11300-1:2008[19], prospetto 4). Nello specifico si è considerato un incremento della trasmittanza termica per l'involucro opaco verticale pari al 10%.
- Non sono presenti chiusure oscuranti e schermature solari sulle superfici dei serramenti.
- Il tasso di ventilazione naturale è stato fissato a $0.3\ h^{-1}$.
- Gli apporti termici interni sono stati valutati in funzione della superficie utile di pavimento.
- Lo scambio termico verso la zona non climatizzata è stato determinato, in via semplificata, in funzione del tipo di ambiente confinante: trattandosi del piano interrato, il fattore di correzione $b_{tr,U}$ assume il valore 0.8 (UNI/TS 11300-1, prospetto 7).

I dati climatici, determinati in funzione dell'ubicazione dell'edificio, e le caratteristiche del terreno considerate sono riportate in Tabella 3.6.

Regione	Piemonte
Provincia	Torino
Comune	Sant'Antonino di Susa
Altitudine del centro [m]	380
Gradi giorno [°C]	2774
Durata stagione di riscaldamento (UNI/TS 11300-1, prospetto 6)	15 Ottobre – 15 Aprile
Temperatura interna [°C]	20
Umidità relativa interna [%]	50
Tipo di terreno	Sabbioso, ghiaioso
Conduttività termica del terreno [W/(mK)]	2.00

TAB. 3.6 Localizzazione, dati climatici e tipologia di terreno

Lo scambio termico per trasmissione $Q_{H,tr}$ è direttamente connesso alle capacità di isolamento e allo sviluppo superficiale dell'involucro edilizio della zona climatizzata. Mentre i valori di trasmittanza *U* per le pareti perimetrali, le chiusure opache e trasparenti, il solaio del piano terreno e per il solaio di copertura sono già stati definiti nel Paragrafo 3.2, l'estensione superficiale degli stessi componenti è riportata in Tabella 3.7, nella quale i risultati sono organizzati in funzione dell'esposizione e del piano a cui si riferiscono, e in Tabella 3.8.

Facciata	Piano	Superficie facciata [m^2]	Superficie opaca [m^2]	Superficie chiusure trasparenti [m^2]	Superficie chiusure opache [m^2]
NORD	PT	42.48	42.48	0	0
	P1	46.32	44.11	2.21	0
	Sottotetto	28.93	27.25	1.68	0
	Totale	**117.72**	**113.83**	**3.89**	**0.00**
SUD	PT	42.48	32.12	5.76	4.6
	P1	46.32	36.41	9.91	0
	Sottotetto	22.44	13.94	8.5025	0
	Totale	**111.23**	**82.46**	**24.17**	**4.60**
OVEST	PT	35.40	28.18	7.22	0
	P1	35.40	28.09	7.31	0
	Sottotetto	7.60	7.60	0	0
	Totale	**78.40**	**63.87**	**14.53**	**0.00**
EST	PT	35.40	29.38	6.02	0
	P1	35.40	29.00	6.4	0
	Sottotetto	17.89	15.63	2.26	0
	Totale	**88.69**	**74.01**	**14.68**	**0.00**

TAB. 3.7 Sviluppo superficiale dell'involucro edilizio verticale

Volume lordo area climatizzata [m^3]	1159.90
Superficie netta area climatizzata S_{net} [m^2]	373.01
Volume netto area climatizzata [m^3]	927.30
Altezza media di piano [m]	2.49
Superficie verticale opaca totale area clim. [m^2]	334.18
Superficie copertura [m^2]	199.07
Superficie totale involucro esterno area clim. [m^2]	595.11

TAB. 3.8 Dimensioni planimetriche e volumetriche necessarie per la valutazione dell'energia scambiata per trasmissione e per ventilazione

La Tabella 3.8 contiene anche altre grandezze, come il volume lordo, il volume netto, la superficie netta dell'area climatizzata, necessarie per valutare lo scambio termico per ventilazione $Q_{H,ve}$ e gli apporti termici solari Q_{sol} ed interni Q_{int} mensili.

Il calcolo del *fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento* $Q_{H,nd}$ per la zona climatizzata per ogni mese

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \times (Q_{int} + Q_{sol}),$$

nella cui formula l'unico ter

mine non ancora introdotto è il *fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica* $\eta_{H,gn}$, e la successiva aggregazione dei risultati consentono di pervenire al *fabbisogno ideale di energia termica utile totale annuo*

$$Q_{H,ND} = 38804.91\ kWh$$

Da cui, tenuto conto della superficie netta calpestabile dell'area climatizzata (Tabella 3.8) si ricava l'*indice di prestazione termica utile per il riscaldamento*

$$EP_{H,nd} = 104.03\ kWh/(m^2 \cdot anno)$$

Si precisa che il *fabbisogno ideale di energia termica utile totale annuo* corrisponde al *fabbisogno ideale netto* per il riscaldamento Q_{H}, poiché si considerano nulle le perdite recuperate dal sistema di acqua calda sanitaria: $Q_{Irh,W} = 0\ kWh$.

Una volta calcolate le perdite totali annue connesse a ciascun sottosistema dell'impianto di climatizzazione invernale, riportate in Tabella 3.9, e considerati i fattori di conversione in energia primaria del gas naturale e dell'energia elettrica ($f_{P,gas} = 1.05$ e $f_{P,el} = 1.95$, rispettivamente), si posseggono tutti gli elementi per definire il *fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento* $Q_{P,H}$.

SOTTOSISTEMA	**PERDITE** [kWh]	
Emissione	$Q_{l,e}$	1200.15
Regolazione	$Q_{l,rg}$	3011.13
Distribuzione	$Q_{l,d}$	4047.48
Accumulo	$Q_{l,s}$	1417.44
Generazione	$Q_{l,gn}$	16535.88
Totale	Q_l	26212.09
Ausiliari elettrici	$Q_{gn,aux}$	1380.14

TAB. 3.9 Perdite dei sottosistemi dell'impianto di climatizzazione invernale

Si ha dunque:

$$Q_{P,H} = \left(Q_{H,ND} + Q_l\right) \times f_{P,gas} + Q_{gn,aux} \times f_{P,el} = 68297.847 + 2691.267 = 70959.11\ kWh$$

L'*energia primaria riferita alla superficie utile di edificio* necessaria per la climatizzazione invernale risulta essere:

$$EP_H = \frac{Q_{P,H}}{S_{net}} = \frac{70959.11}{373.01} = 190.23\ kWh/(m^2 \cdot anno)$$

CAPITOLO 4
Il *carbon footprint*

Pur potendo considerare terminate sia la caratterizzazione strutturale che quella energetica con la determinazione del *grado di difformità* e del *fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale*, in questa ultima parte di trattazione si vuole sviluppare, sfruttando i calcoli ed i risultati dei Capitoli precedenti, un'analisi, per l'edificio considerato come caso studio, incentrata sull'impatto ambientale connesso tanto all'aspetto strutturale quanto a quello energetico. Il *carbon footprint* sarà valutato in termini di emissioni di CO_2 legate, da una parte alla produzione dei tondi di acciaio impiegati per il calcestruzzo armato, e, dall'altra, al *fabbisogno di energia annuale per la climatizzazione invernale*.

In particolare, per l'aspetto strutturale si valuteranno sia le emissioni di CO_2 connesse all'ammontare di armature previsto nel progetto originale, che quelle legate alle quantità ricalcolate in accordo alle prescrizioni delle NTC 2008. Per l'aspetto energetico, oltre a fare riferimento al *fabbisogno di energia annuale per il riscaldamento* calcolato per l'edificio nelle condizioni di stato originale, verrà anche valutata la riduzione di emissioni di CO_2 conseguente all'esecuzione di interventi di *miglioramento standard*. Per la descrizione di questi ultimi si sfrutteranno nuovamente i risultati del Progetto TABULA.

Le analisi condotte in termini di *carbon footprint* permetteranno, in un primo tempo, di porre a confronto diretto i due aspetti e quantificare i benefici derivanti dall'esecuzione di interventi integrati di retrofit strutturale ed energetico, mediante il bilancio tra le emissioni prodotte per l'adeguamento strutturale, nell'ipotesi che esso consista nell'implementazione dei quantitativi di armatura originali, così da soddisfare le prescrizioni delle NTC 2008, e quelle risparmiate grazie al miglioramento energetico. In questa fase si farà cenno anche al problema connesso al rischio sismico e a come questo possa essere preso in considerazione nelle valutazioni di impatto ambientale.

I risultati ottenuti saranno poi confrontati con il bilancio di emissioni di CO_2 calcolato nell'ipotesi che l'edificio sia realizzato ex novo. Ad esso sarà attribuita la stessa efficienza energetica assegnata, in TABULA, alla classe di edifici di più recente costruzione, mentre, per quanto riguarda l'ambito strutturale, non sarà più sufficiente fare riferimento ai soli quantitativi di

armatura definiti nel progetto secondo NTC 2008, ma per la stima delle emissioni dovranno essere considerati i materiali impiegati per la realizzazione dell'intera struttura. In particolare, considerando l'edificio allo stato grezzo, saranno valutate le emissioni di CO_2 connesse alla produzione del calcestruzzo (che insieme alle armature di acciaio permette di realizzare la struttura portante), delle pignatte in laterizio (per la costruzione dei solai in latero-cemento), dei mattoni forati e della malta (usati per le pareti esterne e per le tramezzature interne) e delle tegole in laterizio (per la realizzazione della copertura).

4.1 L'impatto ambientale degli edifici esistenti

Il crescente interesse rivolto dalla comunità internazionale alle tematiche di sostenibilità ambientale riguarda da vicino anche il settore delle costruzioni. Gli obiettivi [20] in materia di clima ed energia fissati dall'Unione Europea a breve (2020), medio (2030) e lungo (2050) termine hanno dato luogo all'attuazione, tra le altre, di politiche di incentivazione fiscale degli interventi di miglioramento energetico negli edifici esistenti. In Italia, nel solo anno 2017, sono state presentate oltre 422000 richieste di accesso agli *Ecobonus* per la riqualificazione energetica degli edifici residenziali. Di queste, 21861 hanno riguardato l'esecuzione di interventi sull'involucro edilizio, mentre in più di 4200 casi si è trattato di riqualificazioni globali[21].

La necessità di migliorare energeticamente il patrimonio edilizio esistente, spesso caratterizzato da carenze in ambito strutturale e situato in territori a medio alta pericolosità sismica, ha portato allo sviluppo di numerose considerazioni e studi rivolti alla simultanea analisi degli aspetti strutturale, energetico e, talvolta, architettonico. Da essi emergono in modo chiaro le problematiche connesse all'esecuzione di riqualificazioni energetiche in costruzioni strutturalmente vulnerabili: gli interventi di miglioramento energetico determinano un incremento dell'esposizione sismica e, dunque, un aumento del rischio in caso di eventi sismici. Al contempo, miglioramenti strutturali eseguiti in assenza di valutazioni inerenti le loro conseguenze di carattere termico ed igrometrico, potrebbero compromettere il comfort degli ambienti interni[22].

La ricerca di soluzioni integrate, finalizzate alla contestuale riduzione del fabbisogno energetico, al miglioramento strutturale e alla riconfigurazione architettonica, ha spinto all'impiego di approcci ispirati al Life Cycle Thinking, mediante i quali confrontare e scegliere gli interventi ottimali, in funzione dei tempi e dei costi di realizzazione, oltre che dei disagi procurati all'utenza

per la loro esecuzione. Qualora nell'analisi si volesse tenere conto anche degli aspetti relativi ad un'eventuale fase post-sisma dovrebbero essere presi in conto anche l'ammontare dei costi di riparazione e gli impatti connessi a tali interventi (a limitato o ad alto impatto a seconda che il danno sia localizzato in pochi elementi strutturali o esteso a gran parte della struttura resistente)[23]. Altri studi si occupano invece del problema di interazione tra il rischio sismico e le riqualificazioni energetiche proponendo l'analisi dei benefit energetici e la stima delle perdite attese in termini economici[24]. Esistono poi trattazioni incentrate sulla valutazione degli impatti ambientali di edifici esistenti che, oltre all'ambito energetico, considerano anche il problema sismico[25]: il calcolo delle emissioni di gas effetto serra non è, in questi casi, soltanto utile alla valutazione dell'impatto ambientale degli edifici esistenti, ma può anche essere impiegato per la stima dell'efficacia di interventi di riqualificazione energetica in costruzioni strutturalmente vulnerabili.

La scelta di analizzare anche da un punto di vista ambientale l'edificio scelto come caso studio, prende ispirazione proprio da quest'ultima tipologia di studi. Infatti, sulla base dei risultati ottenuti nei Capitoli precedenti, pur non disponendo di risultati sufficienti per una completa analisi dell'efficacia di interventi di miglioramento strutturale e/o energetico, si vogliono comunque sviluppare delle considerazioni preliminari, in termini di emissioni di CO_2, inerenti gli ambiti strutturale ed energetico. Il confronto diretto tra i due aspetti permetterà infine di valutarne l'influenza reciproca.

4.2 Il miglioramento energetico

Prima di procedere al calcolo delle emissioni di gas effetto serra, nel presente Paragrafo vengono descritti una serie di interventi volti alla riqualificazione energetica dell'edificio tipo e viene calcolato il *fabbisogno energetico per il riscaldamento* che da essi ne deriva. La necessità di considerare gli effetti conseguibili con il miglioramento energetico si rivelerà condizione indispensabile per poter valutare, per mezzo delle emissioni di CO_2, l'influenza reciproca tra gli interventi di miglioramento energetico e le modifiche di carattere strutturale.

Per conseguire un significativo miglioramento della prestazione energetica, impiegando al meglio le risorse economiche disponibili, sono necessarie esperienza e approfondite conoscenze in ambito energetico-edilizio del tecnico chiamato a progettare l'intervento. Vista la complessità dell'argomento sviluppato e considerato lo scopo primario della trattazione, non prettamente

orientato alla progettazione dell'intervento energetico (scelta dei materiali e dei componenti), quanto più rivolto all'analisi degli effetti connessi a tale miglioramento, per la scelta e descrizione delle misure di riqualificazione energetica ci si affida a quanto contenuto in TABULA. Il progetto, oltre alla caratterizzazione energetica del costruito nazionale, prevede e descrive infatti, per ciascuna classe di edifici, due tipologie di intervento differenti, definite riqualificazione *standard* e riqualificazione *avanzata*. Pertanto, considerata la classe cui appartiene il caso studio che, come visto nel Capitolo 2, in TABULA viene contraddistinta dal codice IT.MidClim.SFH.06.Gen, e volendo concentrarsi sulla prima tipologia di riqualificazione, certamente meno prestazionale, ma più economica, nelle Tabelle che seguono vengono presentati gli interventi di retrofit energetico e i corrispettivi valori di trasmittanza termica $U_{standard}$ conseguiti per ciascun componente edilizio.

INVOLUCRO OPACO						
Componente	**Stato attuale**				**Riqualificazione *standard***	
	Caratteristiche			**$U_{attuale}$** [W/(m^{2}K)]	**Tipologia di intervento**	**$U_{standard}$** [W/(m^{2}K)]
Chiusura opaca superiore (Copertura)	Tetto a falde in latero-cemento, basso livello di isolamento		Solaio H=18+4	1.14	Aggiunta di 10 cm di materiale isolante	0.30
Chiusura opaca orizzontale (Solaio PT, P1 e Sottotetto)	Solaio latero-cementizio, basso livello di isolamento		Solaio H=18+4	0.97	Aggiunta di 9 cm di materiale isolante	0.30
Chiusura opaca verticale (Pareti perimetrali)	Muratura a cassa-vuota con mattoni forati (30 cm), basso livello di isolamento		Spessore 30 cm	0.78	Aggiunta di 7 cm di materiale isolante	0.33

TAB. 4.1 Componenti opachi dell'involucro edilizio: caratteristiche attuali, descrizione dell'intervento di riqualificazione previsto e valori di trasmittanza termica raggiunti

La riqualificazione *standard* dell'involucro opaco (Tabella 4.1) riguarda dunque tutti i componenti edilizi della zona climatizzata, fatta eccezione per le chiusure opache verticali. Non variano invece le caratteristiche di isolamento dei componenti della zona non climatizzata (piano interrato), per le quali si rimanda a quanto contenuto nel Paragrafo 3.2 *Le caratteristiche dell'involucro esterno e dei sottosistemi di climatizzazione invernale*.

Per l'involucro trasparente (Tabella 4.2) è prevista la sostituzione dei serramenti con componenti finestrati in grado di garantire una migliore prestazione energetica.

INVOLUCRO TRASPARENTE							
Componente	**Dimensione** [cm^2]	**Stato attuale**			**Riqualificazione *standard***		
		Caratteristiche	**$U_{attuale}$** [$W/(m^2K)$]	**$g_{gl,a}$** [-]	**Tipologia di intervento**	**$U_{standard}$** [$W/(m^2K)$]	**$g_{gl,s}$** [-]
Chiusura trasparente verticale (Finestra)	40X40 60X130 80X130 90X130 120X130 160X130	Vetro – camera con intercapedine d'aria, telaio in legno	2.9	0.75	Sostituzione con serramenti a vetro-camera basso-emissivo. Argon nell'intercapedine	2.0	0.67
Chiusura trasparente verticale (Portafinestra)	90x230 120x230 160x230	Vetro – camera con intercapedine d'aria, telaio in legno	2.9	0.75	Sostituzione con serramenti a vetro-camera basso-emissivo. Argon nell'intercapedine	2.0	0.67

TAB. 4.2 Componenti trasparenti dell'involucro edilizio: caratteristiche attuali, descrizione dell'intervento di riqualificazione previsto e valori di trasmittanza termica e di trasmittanza di energia solare totale raggiunti

La riqualificazione descritta in TABULA per l'impianto di climatizzazione invernale prevede la sostituzione di diversi sottosistemi, oltre che la coibentazione della rete del fluido termovettore. Le caratteristiche dei nuovi sottosistemi ed i parametri prestazionali ad essi correlati sono riportati in Tabella 4.3. Per il sottosistema di regolazione non è previsto alcun intervento migliorativo.

IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE INVERNALE					
Sottosistema	**Stato attuale**			**Riqualificazione *standard***	
	Descrizione	**Specifiche**	**Rendimento/ Energia richiesta**	**Tipo di intervento**	**Parametro prestazionale**
Emissione	Radiatori	Parzialmente su parete esterna isolata – carico termico medio annuo compreso tra 4 e 10 W/m^3	Rendimento di emissione $\eta_{H,e} = 0.970$	Sostituzione con Pannelli radianti	
Regolazione	Regolazione manuale, solo di zona	Regolazione di tipo on-off	Rendimento di regolazione $\eta_{rg} = 0.930$		
Distribuzione	Distribuzione centralizzata a colonne montanti verticali, collegamenti orizzontali in ambienti non riscaldati (piano interrato)		Rendimento di distribuzione $\eta_{H,d} = 0.914$	Distribuzione centralizzata orizzontale in ambienti riscaldati, livello di isolamento elevato	Rendimento di distribuzione $\eta_{H,d} = 0.930$

IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE INVERNALE					
Accumulo	Serbatoio di accumulo di acqua calda per il riscaldamento	Livello di isolamento medio del serbatoio di accumulo	Perdite di energia termica del sottosistema di accumulo $Q_{l,s,H} = 3.8\ kWh/m^2$	Installazione serbatoio di accumulo di acqua calda per il riscaldamento, alto livello di isolamento	Perdite di energia termica del sottosistema di accumulo $Q_{l,s,H} = 1.4\ kWh/m^2$
Generazione	Caldaia standard, bruciatore atmosferico, camino <10 m	Il generatore è posizionato in un ambiente non climatizzato (piano interrato). Vettore energetico: gas.	Rendimento del generatore $\eta_{H,gen} = 0.73$	Installazione caldaia a condensazione installata in centrale termica	$COP = 2.41$
Ausiliari elettrici	Pompa di circolazione per impianto centralizzato, ausiliario elettrico per caldaia standard con bruciatore atmosferico		Valore medio annuo dell'energia richiesta per il funzionamento degli ausiliari $Q_{gn,aux,H} = 3.7\ kWh/m^2$	Pompa di circolazione per impianto centralizzato, ausiliario elettrico per caldaia a condensazione	Valore medio annuo dell'energia richiesta per il funzionamento degli ausiliari $Q_{gn,aux,H} = 2.7\ kWh/m^2$

TAB. 4.3 Impianto di climatizzazione invernale: caratteristiche dei sottosistemi attuali, descrizione degli interventi di riqualificazione e valori prestazionali raggiunti

4.2.1 La prestazione energetica migliorata

In questa fase TABULA viene anche impiegato per quantificare il miglioramento energetico: anziché avviare una nuova procedura di calcolo, per la valutazione della prestazione energetica ci si affida infatti ai risultati contenuti nel progetto. A seguito della riqualificazione *standard*, per la classe di edifici IT.MidClim.SFH.06.Gen, è prevista una riduzione del *fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale* pari al 37% rispetto al valore calcolato per la stessa classe nella condizione di stato attuale. Assumendo questa percentuale valida anche per l'edificio tipo, l'*indice di prestazione di energia primaria* richiesta per la climatizzazione invernale EP_H, calcolato nel Capitolo 3, a seguito delle misure di riqualificazione energetica, si riduce a

$$EP_{H,st} = (1 - 0.37) \cdot EP_H = 0.63 \cdot 190.234 = 119.85\ kWh/(m^2 \cdot anno)$$

È chiaro che il valore appena calcolato è frutto di una stima attendibile, ma certamente affetta da imprecisioni. Per una valutazione rigorosa sarebbe necessario impiegare nuovamente la procedura di calcolo già introdotta e usata per la valutazione della prestazione energetica dell'edificio tipo nelle condizioni di stato attuale. Tuttavia, la scelta fatta appare del tutto ragionevole, considerato il fatto che gli interventi di riqualificazione previsti per l'edificio tipo

sono gli stessi suggeriti in TABULA, e che si ricercava un metodo speditivo per ridurre i tempi di calcolo della prestazione energetica migliorata.

Il *fabbisogno ideale annuo di energia primaria per il riscaldamento* che caratterizza il caso studio nella condizione energetica migliorata risulta dunque essere

$$Q_{P,H,st} = EP_{H,st} \cdot S_{net} = 119.23 \cdot 373.01 = 44704.13\ kWh/anno$$

4.3 Il calcolo delle emissioni di CO_2

Per il calcolo delle emissioni di CO_2 si fa riferimento a quanto definito nei Capitoli dedicati alla caratterizzazione strutturale ed energetica del caso studio, nonché ai risultati appena introdotti in merito alla prestazione energetica migliorata.

4.3.1 eCO_2 connesse all'aspetto strutturale

I quantitativi di armatura, determinati nel Capitolo 2 per valutare il *grado di difformità* dell'edificio tipo, vengono ora impiegati per stimare le emissioni di gas serra connesse alla produzione dei tondini di acciaio usati per la realizzazione degli elementi portanti in calcestruzzo armato.

Il fattore di conversione che, a partire dal peso complessivo dei ferri di armatura consente di stimare le emissioni di CO_2, viene estratto dalla *Dichiarazione ambientale di prodotto per tondo in acciaio in barre e rotoli per calcestruzzo armato* dell'azienda *Acciaierie di Sicilia*[26]. Il sistema produttivo di riferimento per la sua determinazione comprende le fasi di produzione delle materie prime e dei semilavorati utilizzati, il trasporto dei vettori energetici e del prodotto finale, nonché le fasi di movimentazione interna (trasporto del rottame e trasporto dei rifiuti). Se si escludono alterazioni connesse alla durabilità del manufatto in calcestruzzo armato, di cui le barre di acciaio sono parte costituente, il ciclo vita del prodotto certificato è teoricamente illimitato. Pertanto, la fase di uso non viene considerata ai fini della determinazione del fattore di conversione.

In Tabella 4.4, oltre a riproporre, per ciascuna tipologia strutturale, i quantitativi di armatura previsti nel progetto originale e i quantitativi calcolati per il soddisfacimento delle NTC 2008, vengono definite le emissioni di CO_2 ad essi associati.

ELEMENTI STRUTTURALI	PESO TOT. FERRI [daN]	
	PROGETTO ORIGINALE	**PROGETTO NTC08**
TRAVI (PT-P1-PS-COP)	3655	6663
PILASTRI	2294	6435
TRAVETTI SOLAI (PT-P1-PS-COP)	1854	2221.5
MURO PERIMETRALE INTERRATO	1009	2369
SETTO SCALA A	93	539
PLINTI	351	426
TOTALE	**9256**	**18653**
Fattore di conversione [$kgCO_2/kg$]	0.78	
eCO_2 [$kgCO_2$]	**7359.4**	**14831.5**

TAB. 4.4 Riepilogo dei quantitativi di armatura previsti nel progetto originale, dei quantitativi ricalcolati per il progetto secondo NTC08 e calcolo dell'emissioni di CO_2 ad essi correlate

Il progetto secondo la normativa più attuale richiede un significativo aumento dei quantitativi di armatura, che si traduce in un incremento delle emissioni di gas serra prodotti per la realizzazione dei tondi in acciaio. Alla variazione in peso delle barre di armatura, pari a $\Delta P = 9398\ daN$, corrisponde un incremento delle emissioni di CO_2 superiore a 7 tonnellate, essendo:

$$\Delta eCO_{2\ ST} = eCO_{2\ ST_{NTC}} - eCO_{2\ ST_{OR}} = 14831.5 - 7359.4 = 7472.0\ kgCO_2$$

Le emissioni connesse alla produzione delle barre di acciaio rappresentano soltanto un voce tra quelle che sarebbe necessario considerare per una valutazione completa dell'impatto ambientale generato dalla costruzione dell'edificio tipo. Oltre alla fase di produzione dovrebbero infatti essere stimate, per ciascun componente strutturale, le emissioni di CO_2 prodotte nelle fasi di esecuzione in cantiere, di uso e manutenzione, e di smaltimento, recupero o riciclaggio a fine vita. L'analisi dovrebbe poi essere estesa a tutti i componenti edilizi, indipendentemente dal ruolo, strutturale o meno, da essi ricoperto.

Tuttavia, come detto, obiettivo di questa parte di trattazione è quello di effettuare considerazioni preliminari inerenti l'impatto ambientale dell'edificio tipo, sfruttando i risultati ottenuti nei Capitoli precedenti. Inoltre, tenuto conto dei vincoli alla progettazione, discussi nel Paragrafo 2.3 e mirati alla minimizzazione delle differenze tra il progetto originale e quello

secondo le NTC 2008 (diversità che, infatti, hanno riguardato unicamente i quantitativi di armatura), i calcoli delle emissioni di gas effetto serra appena svolti sono gli unici determinanti nel confronto, in termini di *carbon footprint* connesso all'aspetto strutturale, fra le due soluzioni progettuali.

4.3.2 eCO_2 connesse all'aspetto energetico

Oltre all'ambito strutturale, a partire dal *fabbisogno di energia annuo per la climatizzazione invernale*, calcolato nel Capitolo 3 per le condizioni di stato attuale e nel Paragrafo 4.2 per la prestazione migliorata, è possibile valutare le emissioni di CO_2 annue correlate all'efficienza energetica del caso studio.

Anche per l'aspetto energetico, la valutazione dell'impatto ambientale può essere solo parziale. Per la stima completa del *carbon footprint* connesso alla dispendio energetico, sarebbe infatti necessario considerare, in aggiunta al fabbisogno per il riscaldamento, il quantitativo di energia richiesta per la produzione di acqua calda sanitaria e il consumo di energia elettrica annui.

Il fattore di conversione impiegato per la determinazione delle emissioni di CO_2 è diversificato in funzione del vettore energetico considerato. I valori di riferimento, riportati in Tabella 4.5 sono quelli suggeriti dall'Agenzia Nazionale per l'Efficienza Energetica per la compilazione degli attestati di prestazione energetica[27].

Vettore energetico	**Fattore di conversione in eCO_2** [$kgCO_2/kWh$]
Gas naturale	0.21
Energia elettrica da rete	0.46

TAB. 4.5 Fattori di emissione della CO_2

Ricordando i valori del *fabbisogno ideale di energia termica utile annuo* $Q_{H,ND}$ e delle perdite totali annue, distinte, in funzione del vettore energetico, in Q_l (per i sottosistemi di distribuzione, accumulo e generazione) e $Q_{gn,aux}$ (per gli ausiliari elettrici), le emissioni di CO_2 prodotte dall'edificio tipo nella condizione di stato attuale per la climatizzazione invernale sono quelle riportate in Tabella 4.6.

EDIFICIO TIPO PRESTAZIONE ENERGETICA ATTUALE	Fabbisogno di energia annuo [kWh/anno]	Vettore energetico	Fattore di conversione in eCO2 [kgCO2/kWh]	**eCO2** [kgCO2/anno]
$Q_{H,ND} + Q_l$	65017.0	Gas naturale	0.21	13653.6
$Q_{gn,aux}$	1380.1	Energia elettrica da rete	0.46	634.9

TAB. 4.6 Prestazione energetica originaria - Fabbisogno di energia e emissione di CO_2 annue per la climatizzazione invernale

Le emissioni di CO_2 annue totali connesse alla prestazione energetica originaria ammontano pertanto a

$$\boldsymbol{eCO_{2\,OR}} = 13653.6 + 634.9 = \mathbf{14288.4}\ \boldsymbol{kgCO_2/anno}$$

L'impatto ambientale legato alla prestazione energetica migliorata viene determinato, a partire dalle $eCO_{2\,OR}$, assumendo una riduzione delle emissioni di gas effetto serra pari a quella conseguita, in termini di fabbisogno energetico annuo, a seguito degli interventi di miglioramento descritti nel Paragrafo precedente. Con tale assunzione, che è diretta conseguenza del metodo speditivo adottato per quantificare il miglioramento energetico dell'edificio tipo, il calcolo del *carbon footprint* viene condotto senza considerare l'entità delle emissioni prodotte per la realizzazione degli interventi di miglioramento energetico. D'altronde, la valutazione di queste ultime risulterebbe piuttosto articolata, non solo perché sono molti gli interventi previsti con il miglioramento *standard,* ma, ancor di più, perché essi riguardano sia l'involucro edilizio che parte dei sottosistemi impiegati per il riscaldamento. Inoltre, con questa procedura, si trascura il fatto che la stima delle emissioni dipenda, nella realtà, da due differenti contributi di energia definiti in funzione di diversi vettori energetici (gas naturale ed energia elettrica) e per questo caratterizzati da valori del fattore di conversione distinti.

Ad ogni modo, ricordando che la riduzione del *fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale* è stata fissata al 37%, le emissioni annuali correlate alla **prestazione energetica migliorata** divengono

$$\boldsymbol{eCO_{2\,MIG}} = (1 - 0.37)\ eCO_{2\,OR} = 0.63 \cdot 14288.4 = \mathbf{9001.7}\ \boldsymbol{kgCO_2/anno}$$

La realizzazione degli interventi di miglioramento energetico porterebbe dunque un risparmio annuo di emissioni di gas effetto serra pari a

$$\Delta eCO_{2\ en} = eCO_{2\,OR} - eCO_{2\,MIG} = 5286.7\ kgCO_2/anno$$

4.4 Valutazioni congiunte degli aspetti strutturale ed energetico in termini di *carbon footprint*

Diretta conseguenza dell'esecuzione di interventi di miglioramento energetico è la riduzione delle emissioni di gas effetto serra prodotte annualmente per la climatizzazione invernale e, nel caso più generale, anche per la produzione di acqua calda sanitaria. L'effettivo aumento della sostenibilità ambientale dell'edificio migliorato deve però essere attentamente valutato perché esso non dipende unicamente dagli aspetti energetici, ma è anche correlato alla vulnerabilità strutturale dell'organismo resistente. Infatti, nel calcolo delle emissioni di CO_2 si dovrebbe prendere in considerazione l'eventualità che, a seguito di un sisma, la costruzione possa subire dei danni strutturali e che per essi siano necessari degli interventi di riparazione. Interventi la cui esecuzione dà luogo alla produzione di emissioni di gas effetto serra che andrebbero a incidere negativamente sulla valutazione di impatto ambientale dell'edificio. L'entità di tali emissioni è chiaramente proporzionale all'estensione del danno: l'unica strategia possibile per minimizzare le perdite attese correlate al rischio sismico, e ridurre così l'impatto ambientale ad esse associato, è quella di prevedere degli interventi in grado di diminuire la vulnerabilità strutturale del costruito. La progettazione di retrofit energetici non dovrebbe dunque mai prescindere da una attenta valutazione degli aspetti strutturali.

Qualora si preveda la possibilità di eseguire interventi di riqualificazione integrati, per la stima del *carbon footprint*, alle emissioni di CO_2 risparmiate con la riduzione del fabbisogno energetico, dovrebbero essere sottratte quelle prodotte per l'esecuzione del retrofit strutturale e del miglioramento dell'efficienza energetica.

Come esempio esplicativo, per quantificare gli effetti, in termini di emissioni di gas effetto serra, dell'interazione reciproca tra gli aspetti strutturale ed energetico, nel Sottoparagrafo 4.4.1 si pongono a diretto confronto i risultati ottenuti nel Paragrafo precedente. A conclusione del Capitolo, il bilancio di emissioni di CO_2 ottenuto viene poi comparato a quello stimato nell'ipotesi che l'edificio sia costruito ex novo. Da questo paragone saranno effettuate importanti considerazioni preliminari inerenti la possibilità di eseguire interventi integrati di miglioramento strutturale ed energetico, mettendo in evidenza peculiarità, vantaggi e possibili sviluppi per il perfezionamento dei risultati.

4.4.1 Il confronto tra lo stato originale e la condizione migliorata

Ipotizzando che il provvedimento scelto per migliorare strutturalmente l'edificio tipo sia quello di implementare i quantitativi di armatura presenti negli elementi resistenti in calcestruzzo armato, così da adeguare la struttura originale alle prescrizioni contenute nelle NTC 2008, e che tale operazione possa essere materialmente eseguita, sulla base delle stime precedenti (Sottoparagrafo 4.3.1), le emissioni di CO_2 prodotte risultano essere

$$\Delta eCO_{2\ ST} = eCO_{2\ ST_{NTC}} - eCO_{2\ ST_{OR}} = 14831.5 - 7359.4 = 7472.0\ kgCO_2$$

Valore con il quale si tiene conto delle sole emissioni generate per la produzione dei tondini di armatura e per il loro trasporto, avendo deciso di trascurare, perché di difficile determinazione e sicuramente di minore rilevanza, le eCO_2 legate alle operazioni pratiche di posizionamento dell'armatura.

Anche per il retrofit energetico si è deciso di prendere unicamente in considerazione i suoi effetti positivi e di trascurare l'entità di emissioni prodotte per l'esecuzione materiale dell'intervento. In funzione dei risultati del Sottoparagrafo 4.3.2, le emissioni di CO_2 risparmiate grazie al miglioramento energetico *standard* ammontano dunque a

$$\Delta eCO_{2\ en} = eCO_{2\ OR} - eCO_{2\ MIG} = 5286.7\ kgCO_2/anno$$

Poiché quest'ultimo valore fa riferimento ad una scala temporale annua, per il confronto diretto delle due quantità ci si riferisce ad un arco di tempo di 50 anni, periodo ammissibile, tenuto conto che al retrofit strutturale segue un rinnovamento della vita utile dell'edificio[25]. Pertanto, il benefit conseguito grazie all'intervento integrato di riqualificazione strutturale ed energetica, valutato in termini di emissioni di gas effetto serra annue nette risparmiate $eCO_{2,INT}$, risulta essere

$$\boldsymbol{eCO_{2\ INT}} = \Delta eCO_{2\ en} - \frac{\Delta eCO_{2\ ST}}{50} = 5286.7 - 149.5 = \boldsymbol{5137.3\ kgCO_2/anno}$$

Il retrofit strutturale ha dunque un'incidenza annua $\Delta eCO_{2\ st} = 149.5\ kgCO_2/anno$, che corrisponde al 2.8% di emissioni $\Delta eCO_{2\ en}$ risparmiate grazie al miglioramento dell'efficienza energetica (FIG. 4.1).

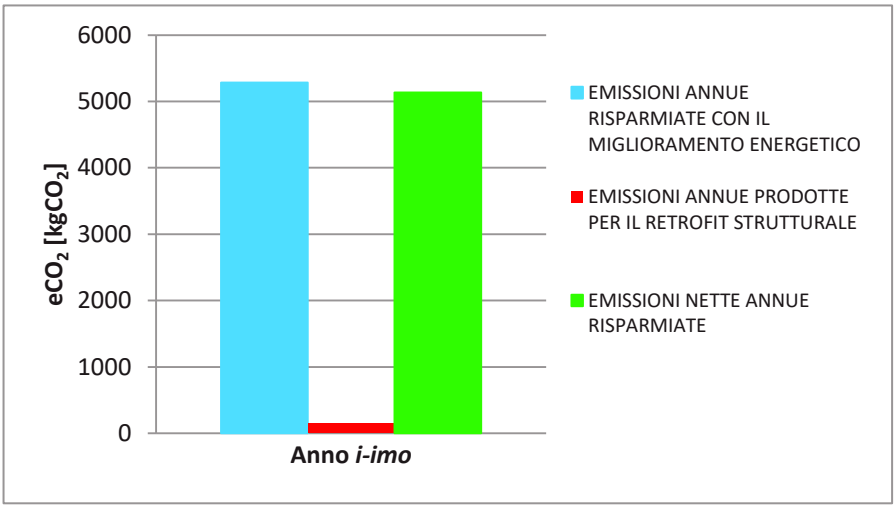


FIG. 4.1 Confronto diretto tra le emissioni di gas effetto serra annue risparmiate grazie al retrofit energetico, le emissioni annue prodotte per il retrofit strutturale e il quantitativo di CO_2 annuo netto risparmiato

Nel grafico di FIG. 4.2, viene valutato il risparmio effettivo complessivo conseguito allo scadere del cinquantesimo anno: esso ammonta a 256.9 tonnellate di emissioni di CO_2. Si noti che, anziché considerare il valore medio netto $eCO_{2\ INT}$, l'ammontare effettivo di emissioni è stato definito sottraendo il dispendio di CO_2 correlato al retrofit strutturale ai primi anni di risparmio di emissioni per effetto del miglioramento energetico. Lo scarto tra emissioni prodotte e risparmiate si annulla già nel corso del secondo anno, a partire da quale si registra dunque il risparmio effettivo cumulato.

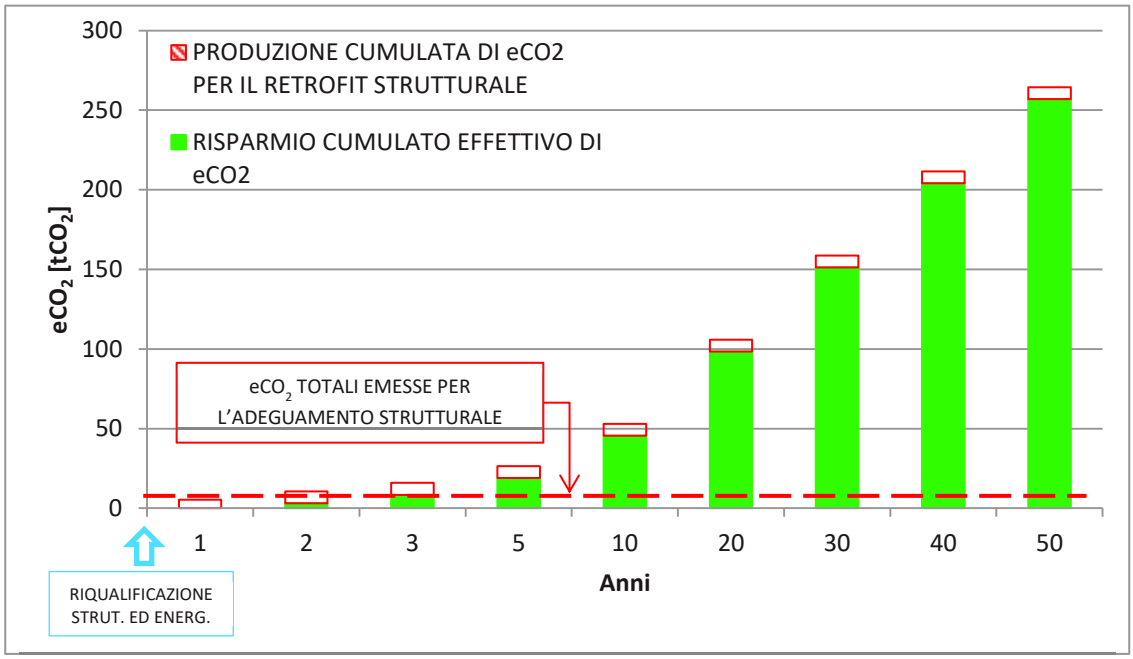


FIG. 4.2 Bilancio a lungo termine cumulato tra le emissioni risparmiate grazie alla retrofit energetico (+) e i quantitativi di CO2 emessi per la realizzazione dell'adeguamento strutturale

4.4.2 Il confronto tra lo stato originale e la costruzione ex novo

A questo punto diviene interessante confrontare il bilancio di emissioni di CO_2 appena introdotto, che ha permesso il raffronto tra la condizione di stato originale e la condizione migliorata, con il bilancio calcolato nell'ipotesi che l'edificio tipo sia costruito ex novo. Per la valutazione di quest'ultimo è necessario determinare le emissioni di gas effetto serra associate agli aspetti strutturale ed energetico della nuova costruzione e poi rapportarle allo stato originale dell'edificio.

Per l'ambito strutturale non è più sufficiente definire l'ammontare di emissioni correlate ai quantitativi di armatura, ma devono essere considerate le eCO_2 connesse a tutti i materiali impiegati per la costruzione. Limitandosi a considerare gli elementi costruttivi che compongono l'organismo edilizio allo stato grezzo, con riferimento al progetto secondo NTC 2008 introdotto nel Capitolo 2, nelle Tabelle che seguono vengono definite le quantità di materiale necessarie per la costruzione e determinate le emissioni di gas effetto serra ad esse associate.

Il calcolo dei quantitativi di CO_2 viene ancora una volta condotto considerando unicamente la fase di produzione degli elementi edilizi: le operazioni di costruzione possono essere infatti trascurate poiché le emissioni ad esse connesse risultano sempre inferiori al 5% delle eCO_2 prodotte in fase di realizzazione. Ad eccezione dei tondini di acciaio e se non diversamente specificato, i fattori di conversione per il calcolo delle emissioni sono estratti dal libro *Materials and the Enviroment*[29].

I quantitativi di acciaio impiegati per realizzare la struttura portante e le emissioni ad essi associate sono già state definite in Tabella 4.4, della quale viene riportato un estratto (Tabella 4.7), mentre i quantitativi di calcestruzzo in Tabella 4.8 sono determinati a partire dai disegni strutturali del Progetto secondo NTC 2008 (Allegato C).

ELEMENTI STRUTTURALI	**PROGETTO NTC08**
	PESO TOT. FERRI [daN]
TRAVI (PT-P1-PS-COP)	6663
PILASTRI	6435
TRAVETTI SOLAI (PT-P1-PS-COP)	2221.5
MURO PERIMETRALE INTERRATO	2369
SETTO SCALA A	539
PLINTI	426
TOTALE	**18653**

Fattore di conversione [$kgCO_2/kg$]	0.78
eCO_2 [$kgCO_2$]	**14831.5**

TAB. 4.7 Riepilogo dei quantitativi di armatura previsti nel progetto secondo NTC08 e calcolo dell'emissioni di CO_2 ad essi correlate

ELEMENTI STRUTTURALI	**PROGETTO NTC08**
	CALCESTRUZZO [mc]
TRAVI (PT-P1-PS-COP)	42.17
PILASTRI	25.22
TRAVETTI SOLAI (PT-P1-PS-COP)	49.10
MURO PERIMETRALE INTERRATO	51.42
SETTO SCALA A	3.52
PLINTI	9.06
TOTALE	**180.49**
Peso unità di volume [daN/m^3]	2400
Fattore di conversione [$kgCO_2/kg$]	0.14
eCO_2 [$kgCO_2$]	**61817.5**

TAB. 4.8 Volume di calcestruzzo complessivo previsto nel progetto secondo NTC08 e calcolo dell'emissioni di CO_2 ad esso correlato

Gli orizzontamenti di tutti i piani e le falde di copertura sono realizzate in latero-cemento, pertanto oltre alle barre di acciaio e al calcestruzzo, devono essere aggiunte al computo delle emissioni, i quantitativi connessi ai blocchi di alleggerimento in laterizio usati per la costruzione dei solai. Le caratteristiche di questi ultimi e l'ammontare di CO_2 ad essi associato sono definiti in Tabella 4.9.

eCO_2 per 1 mq di SOLAIO	Volume [mc]	Densità [kg/mc]	Unità funzionale [kg]	Fattore di conversione in eCO_2 [$kgCO_2/kg$]	eCO_2/mq [$kgCO_2$]
Pignatte in laterizio 18x40x25	0.144	561	80.7	0.22	17.76
Superficie totale solai [mq]	642.99				
eCO_2 [$kgCO_2$]	**11420.5**				

TAB. 4.9 Determinazione delle emissioni di CO_2 connesse alla produzione delle pignatte previste per la realizzazione dei solai in latero-cemento secondo il progetto NTC08

In aggiunta, per la struttura di copertura, viene definito l'ammontare di CO_2 legato alla produzione delle tegole in laterizio (Tabella 4.10). Si trascurano le emissioni prodotte per la realizzazione degli strati coibentanti, impermeabilizzanti e isolanti comunemente previsti per la costruzione di un tetto.

eCO_2 per 1 mq di COPERTURA	Superficie copertura [mq]	Fattore di conversione in eCO_2 [$kgCO_2$/mq]	eCO_2 [$kgCO_2$]
Tegole in laterizio	199.07	11.54	**2297.3**

TAB. 4.10 Determinazione delle emissioni di CO_2 connesse alla produzione delle tegole di copertura

Il fattore di conversione per il calcolo della CO_2 usato in Tabella 4.10 è stato estratto dalla rapporto conclusivo *Profilo Ambientale di Tegole in Laterizio*[30], considerando l'ammontare di emissioni di gas effetto serra previsto dal profilo ambientale Tegole ANDIL, normalizzato a metro quadrato di superficie.

Oltre alla struttura portante, vengono anche considerati i quantitativi di CO_2 emessi per la produzione delle murature perimetrali in laterizio e delle tramezzature interne (Tabelle 4.11 e 4.12). Le prime, di spessore 30 cm, di tipo a cassa-vuota, sono realizzate con una fila di mattoni interna (laterizi 8x24x24) ed una esterna (12x24x24). Nell'intercapedine trovano spazio gli strati isolanti, non considerati nel computo delle emissioni, alla pari dei rivestimenti sulle facciate esterne ed interne. Anche per le tramezzature gli strati di intonaco sono trascurati nel calcolo delle emissioni di gas effetto serra.

eCO_2 per 1 mq di MURO A CASSA-VUOTA	Volume [mc]	Densità [kg/mc]	Unità funzionale [kg]	Fattore di conversione in eCO_2 [$kgCO_2$/kg]	eCO_2/mq [$kgCO_2$]
Mattone forato in laterizio a 15 fori 12x24x24	0.120	750	90.0	0.22	19.80
Mattone forato in laterizio a 10 fori 8x24x24	0.08	750	60.0	0.22	13.20
Giunto di malta spessore 1 cm	0.005	1850	9.25	0.12	1.11
Totale eCO_2/mq [$kgCO_2$]			34.11		
Area facciata opaca [mq]			334.17		
eCO_2 [$kgCO_2$]			**11398.5**		

TAB. 4.11 Determinazione delle emissioni di CO_2 connesse alla realizzazione delle murature perimetrali a cassa-vuota

eCO_2 per 1 mq di TRAMEZZI	Volume [mc]	Densità [kg/mc]	Unità funzionale [kg]	Fattore di conversione in eCO_2 [$kgCO_2/kg$]	eCO_2/mq [$kgCO_2$]
Mattone forato in laterizio 6 fori 8x12x25	0.08	690	55.2	0.22	12.14
Giunto di malta spessore 1 cm	0.005	1850	9.25	0.12	1.11
Totale eCO_2/mq [$kgCO_2$]	13.25				
Area tramezzature [mq]	317.3				
eCO_2 [$kgCO_2$]	**4205.5**				

TAB. 4.12 Determinazione delle emissioni di CO_2 connesse alla realizzazione delle pareti divisorie interne

I contributi appena calcolati, riassunti nel grafico di FIG. 4.3, consentono di determinare le emissioni di CO_2 complessive prodotte per la realizzazione ex novo dell'edificio tipo allo stato grezzo, che ammontano dunque a

$$eCO_{2\,ST,NEW} = 105970.7\ kgCO_2$$

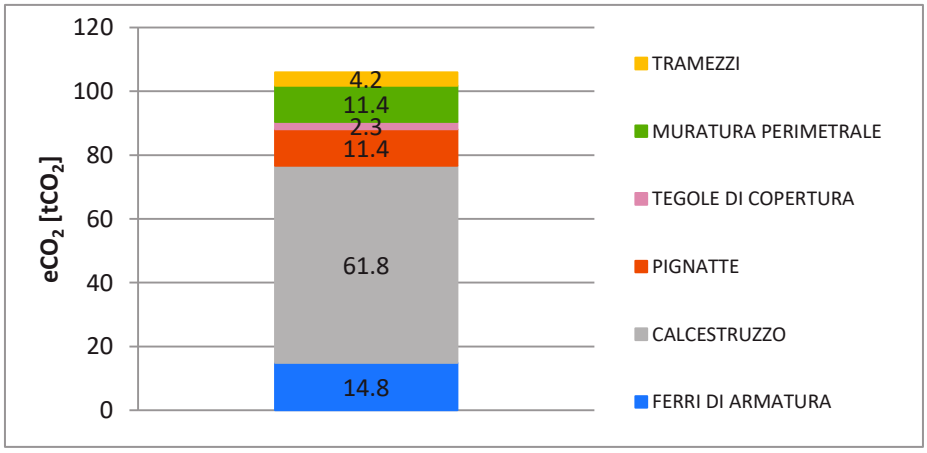


FIG. 4.3 Emissioni prodotte per la costruzione ex novo dell'edificio tipo allo stato grezzo

La prestazione energetica dell'edificio costruito ex novo viene valutata avvalendosi ancora una volta dei risultati del Progetto TABULA. Nello specifico, il *fabbisogno di energia per la climatizzazione invernale* attribuito alla nuova costruzione è calcolato a partire dal miglioramento dell'efficienza energetica che emerge dal confronto della classe di edifici IT.MidClim.SFH.06.Gen, a cui il caso studio appartiene, e la classe IT.MidClim.SFH.08.Gen (FIG.

4.4), che comprende gli edifici residenziali monofamiliari di più recente costruzione (dal 2006 a oggi).

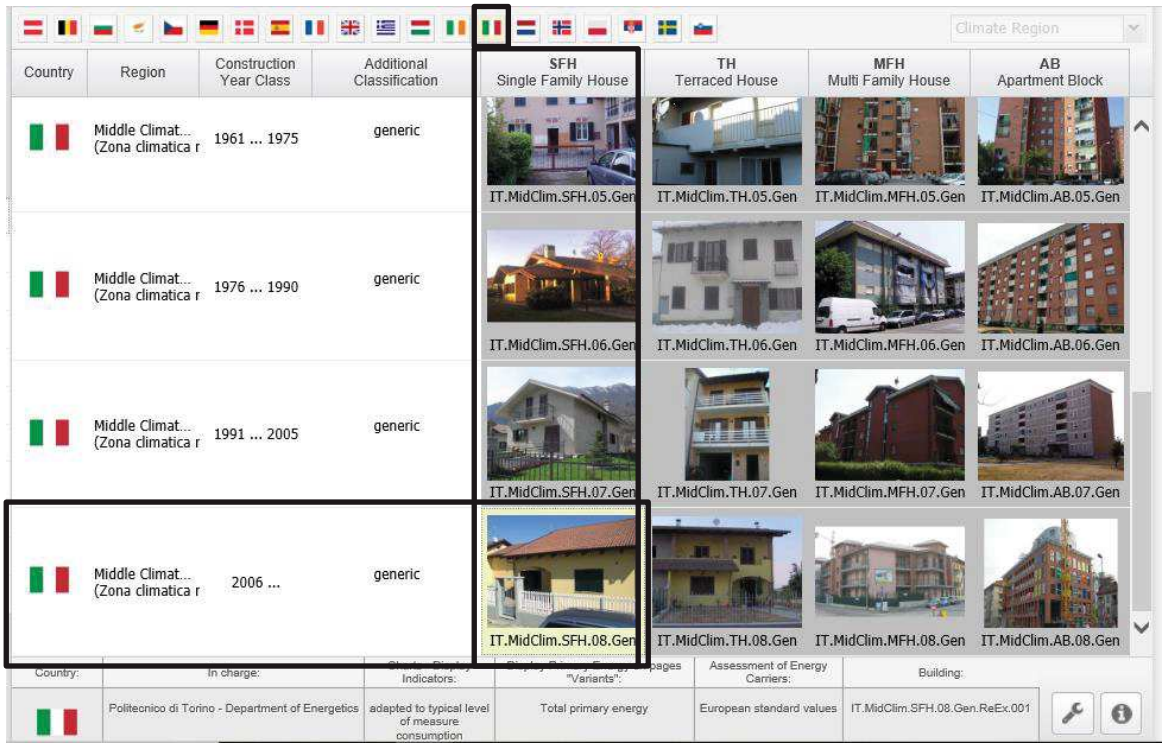


FIG. 4.4 Estratto da TABULA web tool[4]. I riquadri pongono in evidenza le informazioni di interesse

Tralasciando la descrizione dettagliata delle caratteristiche dell'involucro edilizio e dei sottosistemi impiegati, per la quale si rimanda ai contenuti del *Fascicolo sulla Tipologia edilizia italiana*[18], la riduzione del *fabbisogno annuale di energia per il riscaldamento*, prevista in TABULA per gli edifici di più recente costruzione nella condizione di miglioramento *standard* e calcolata rispetto alla classe IT.MidClim.SFH.06.Gen, è pari al 40%. Pertanto, l'*indice di prestazione di energia primaria* richiesta per la climatizzazione invernale EP_H, calcolato nel Capitolo 3 per l'edificio originale, si riduce a

$$EP_{H,NEW} = (1 - 0.40) \cdot EP_H = 0.60 \cdot 190.234 = 114.140\ kWh/(m^2 \cdot anno)$$

E applicando la stessa riduzione alle emissioni annuali correlate alle prestazione energetica, si ha

$$\boldsymbol{eCO_{2\ en,NEW}} = (1 - 0.40)\ eCO_{2\ OR} = 0.60 \cdot 14288.4 = \boldsymbol{8573.04\ \ kgCO_2/anno}$$

Si noti che, così come fatto per la valutazione delle emissioni connesse alla prestazione energetica migliorata dell'edificio tipo, ancora una volta, per la valutazione delle eCO_2 si assume la stessa percentuale di riduzione definita per il fabbisogno annuo, anche se, a rigori, il calcolo

dovrebbe essere condotto a partire dalle quantità di energia definite in funzione del vettore energetico.

L'efficienza energetica dell'edificio costruito ex novo permetterebbe dunque di conseguire un risparmio annuo di emissioni di gas effetto serra, valutato rispetto alle eCO_2 dell'edificio nella condizione originale, pari a

$$\Delta eCO_{2\ en,NEW} = eCO_{2\ OR} - eCO_{2\ en,NEW} = 5715.36\ kgCO_2/anno$$

che, posto a confronto con le emissioni annue prodotte per la costruzione ex novo dell'edificio

$$eCO_{2\ st,NEW} = \frac{eCO_{2\ ST,NEW}}{50} = \frac{105970.7}{50} = 2119.4\ kgCO_2/anno$$

(calcolate considerando un arco temporale di 50 anni, ossia un periodo coincidente alla vita utile), consente di stimare il risparmio effettivo annuo di emissioni di CO_2. Esso ammonta pertanto a

$$\boldsymbol{eCO_{2\ NEW}} = \Delta eCO_{2\ en,NEW} - eCO_{2\ st,NEW} = \boldsymbol{3596.0\ kgCO_2/anno}$$

Le emissioni prodotte per la costruzione ex novo hanno dunque un'incidenza annua del 37% rispetto alle emissioni di CO_2 risparmiate grazie alla migliore efficienza energetica che caratterizza l'edificio nuovo (FIG. 4.5).

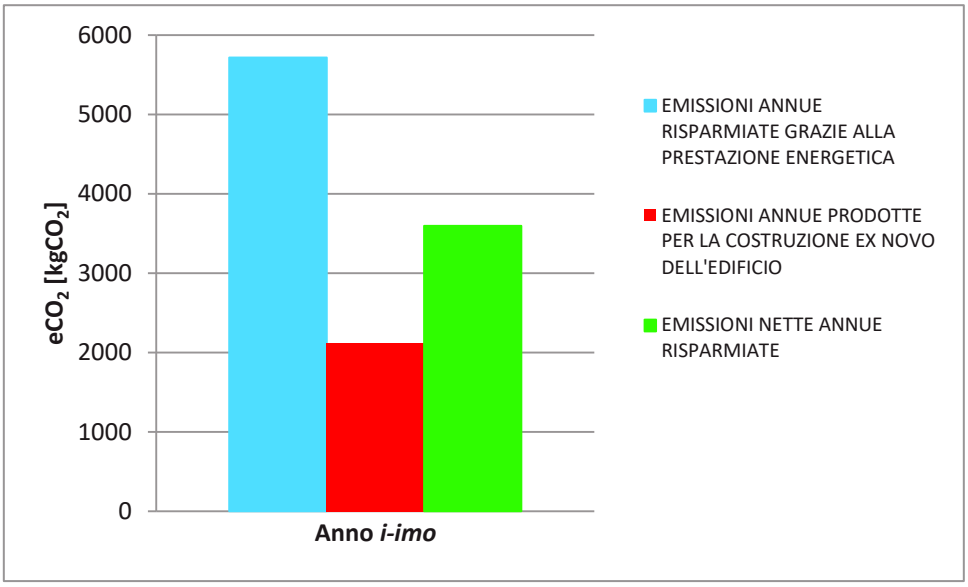


FIG. 4.5 Confronto diretto tra le emissioni di gas effetto serra annue risparmiate grazie alla prestazione energetica e le emissioni annue prodotte per la costruzione ex novo dell'edificio tipo

Come fatto in precedenza per l'edificio riqualificato strutturalmente ed energeticamente, anche per l'edificio di nuova costruzione viene valutato il risparmio effettivo complessivo di emissioni, conseguito allo scadere del cinquantesimo anno e calcolato rispetto alla condizione di stato attuale (FIG. 4.6): esso ammonta a 179.8 tCO_2. Ancora una volta le emissioni prodotte per la realizzazione del nuovo organismo strutturale sono state sottratte ai primi anni di risparmio di CO_2 per effetto dell'efficienza energetica migliorata rispetto allo stato originale. Lo scarto tra le emissioni prodotte e risparmiate si annulla nel corso del diciannovesimo anno, a partire da quale si registra dunque il risparmio effettivo cumulato.

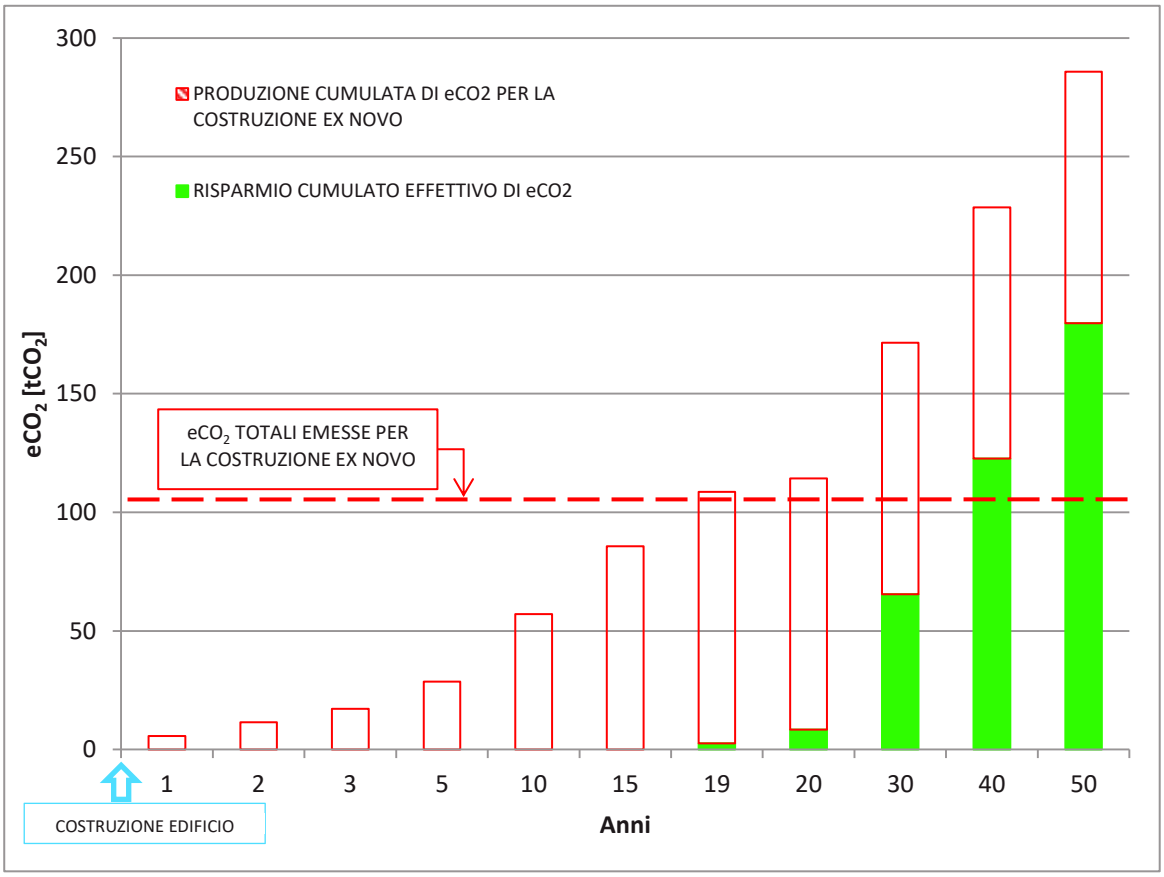


FIG. 4.6 Bilancio a lungo termine cumulato tra le emissioni risparmiate grazie alla migliore efficienza energetica dell'edificio nuovo (+) e i quantitativi di CO_2 emessi per la sua costruzione

4.4.3 L'analisi dei risultati

La valutazione dell'influenza degli aspetti strutturale ed energetico nella determinazione dell'impatto ambientale, sia esso associato ad interventi di adeguamento strutturale e miglioramento energetico o alla realizzazione ex novo dell'edificio tipo, permette di rilevare, in

termini di emissioni di gas effetto serra e rispetto alla condizione di stato originale, l'efficacia o meno dei provvedimenti scelti.

Se per l'ambito energetico, la riduzione dei quantitativi di CO_2 emessi per la climatizzazione invernale non presenta significative variazioni tra la condizione migliorata per effetto del retrofit energetico e il valore calcolato per la prestazione prevista con la nuova costruzione dell'edificio (la differenza e di 428.9 $kgCO_2$/anno a favore di quest'ultima), rilevante è invece lo scarto tra le emissioni prodotte per l'adeguamento strutturale e l'ammontare di CO_2 emesso per la costruzione ex novo dell'edificio (si veda la voce Ambito strutturale - *Emissioni di CO_2 totali* in Tabella 4.13).

AMBITO	PARAMETRO	CONDIZIONE		
		ORIGINALE [OR]	MIGLIORATA [MIG]	EX NOVO [NEW]
ENERGETICO	EP_H [kWh/mq anno]	190.2	119.8	114.1
	eCO_2 [$kgCO_2$/anno]	14288.4	9001.7	8573.0
	ΔeCO_2 [$kgCO_2$/anno]		5286.7	5715.36
	Risparmio di CO_2 cumulato in 50 anni [tCO_2]		264.3	285.8
STRUTTURALE	Peso totale ferri d'armatura [daN]	9256	9397	18653
	Ferri - eCO_2 [$kgCO_2$]		7472.0	14831.5
	Altri componenti edilizi - eCO_2 [$kgCO_2$]		-	91139.2
	Emissioni di CO_2 totali [$kgCO_2$]		7472.0	105970.7
	Emissioni di CO_2 annue per un periodo di riferimento di 50 anni [$kgCO_2$/anno]		149.5	2119.4
BILANCIO	Risparmio netto annuale di CO_2 [$kgCO_2$/anno]		5137.3	3596.0
	Risparmio netto cumulato in 50 anni [tCO_2]		256.9	179.8

TAB. 4.13 Tabella di riepilogo: confronto diretto delle emissioni prodotte e risparmiate per le condizioni migliorata ed ex novo

Il bilancio, annuo (FIG. 4.7) o a lungo termine, tra le emissioni risparmiate grazie all'efficienza energetica e quelle emesse per i provvedimenti in ambito strutturale è positivo per entrambe le condizioni analizzate.

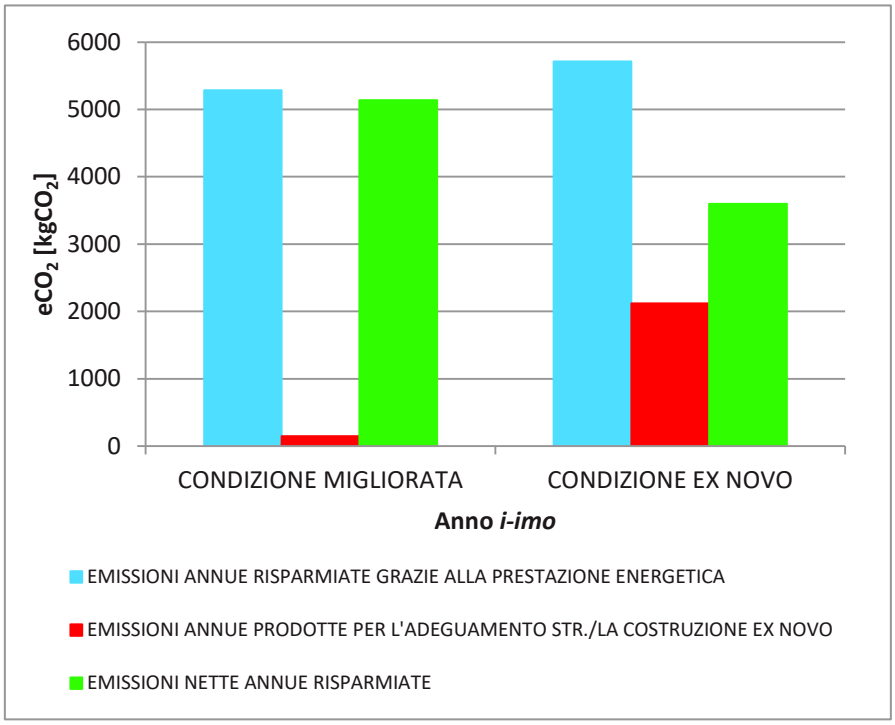


FIG. 4.7 Confronto tra i bilanci di emissioni annue di CO_2 nelle condizioni migliorata e ex novo

L'età di costruzione e le caratteristiche strutturali ed energetiche dell'edificio tipo allo stato originale, fanno sì che, anche nel caso si opti per la ricostruzione, a questa siano associati effetti positivi in termini di *carbon footprint*. E pur vero che, per la valutazione di questi ultimi, si è solo considerata la produzione di CO_2 necessaria per realizzazione dell'edificio allo stato grezzo e non sono state inserite nel bilancio le emissioni connesse alle operazioni di demolizione, di smaltimento e/o di riciclo dei componenti edilizi della costruzione originale.

D'altra parte, la riqualificazione integrata consentirebbe di conseguire un risparmio di CO_2, al termine della vita utile, superiore del 42% rispetto a quello stimato per la costruzione ex novo allo scadere del cinquantesimo anno (si mettano a confronto i grafici di FIG. 4.2 e 4.6 e i valori riportati alla voce Bilancio – *Risparmio netto cumulato in 50 anni* di Tabella 4.13). Il risparmio indotto dal miglioramento energetico sarebbe dunque poco influenzato dal retrofit strutturale, con il vantaggio di avere un edificio a ridotto impatto ambientale e strutturalmente riqualificato.

L'aspetto strutturale non è solo determinante per il rinnovamento della vita utile, ma rilevante anche nella valutazione delle perdite attese correlate alle possibilità di danneggiamento dell'organismo resistente a seguito di eventi sismici: se considerate nel calcolo dell'impatto ambientale, esse risulterebbero sicuramente più contenute di quelle associate alla condizione di stato originale (FIG. 4.8). Per la validazione di queste semplici osservazioni si dovrebbe fare

ricorso a modelli per la valutazione della sostenibilità ambientale, come il MIVES (Model for Integration of Values for Evaluation of Sustainability[28]), in grado di porre a confronto diverse tipologie di indicatori (ambientale, economico, estetico, di funzionalità), compito che esula dagli obiettivi della presente trattazione.

FIG. 4.8 La riqualificazione integrata energetico-strutturale[25]

Peraltro, senza voler impiegare dei metodi più complessi, anche i risultati appena ottenuti dal confronto diretto degli aspetti strutturale ed energetico, in termini di *carbon footprint*, potrebbero essere perfezionati operando su molteplici fronti. Per l'ambito energetico:

- Anziché adottare le caratteristiche dell'involucro esterno e dei sottosistemi di riscaldamento previste nel progetto TABULA, si potrebbe procedere ad una valutazione dettagliata della *trasmittanza termica* dei componenti edilizi e dei rendimenti degli impianti per la climatizzazione invernale.
- La procedura impiegata per il calcolo della prestazione energetica dell'edificio tipo nelle condizioni di stato attuale dovrebbe essere estesa alla stima della prestazione migliorata, per la quale si è invece scelto un metodo di calcolo speditivo. Metodo usato anche per la determinazione dell'efficienza energetica dell'edificio costruito ex novo.
- Nel calcolo della prestazione, oltre a considerare il *fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale*, potrebbero essere presi in conto anche i dispendi energetici per l'utilizzo di acqua calda sanitaria e di energia elettrica.
- Alle emissioni di CO_2 risparmiate con il retrofit energetico dovrebbero essere sottratte le emissioni prodotte per la realizzazione degli interventi di riqualificazione.

In ambito strutturale:

- Si dovrebbero definire le emissioni di gas effetto serra prodotte durante la fase di realizzazione dell'intervento di retrofit strutturale e di costruzione ex novo dell'edificio. Tuttavia, come detto, l'influenza di queste fasi risulta minima se posta a confronto con quella legata alla fase di produzione dei materiali e dei componenti edilizi.

- La valutazione dei quantitativi di eCO_2 prodotti per la realizzazione ex novo dell'edificio tipo non dovrebbe essere limitata alla condizione di edificio allo stato grezzo, ma dovrebbe comprendere tutti gli elementi edilizi e tutti i materiali impiegati per la costruzione, finiture e infissi compresi.
- Invece di quantificare le emissioni connesse all'ambito strutturale in funzione della variazione dei quantitativi di armatura tra progetto originale e progetto secondo NTC 2008, per l'edificio riqualificato si potrebbero progettare interventi di miglioramento o adeguamento strutturale (prevedendo la costruzione di nuovi elementi resistenti o intervenendo su quelli esistenti) e calcolare le emissioni correlate alla loro realizzazione.
- Anziché fare riferimento al progetto secondo NTC 2008, che sappiamo essere stato realizzato sulla base degli elaborati originali, progettare un organismo strutturale capace di rispondere in modo ottimale alle prescrizioni della normativa attuale, valutando eventualmente la possibilità di impiegare materiali diversi dal calcestruzzo armato per realizzare la struttura portante.

Inoltre, è bene sottolineare che i risultati dei confronti diretti degli ambiti strutturale ed energetico sono stati ottenuti in funzione di un'analisi ambientale, tuttavia tanto la fattibilità degli interventi di miglioramento strutturale ed energetico, quanto quella della ricostruzione non possono prescindere da valutazioni di carattere economico.

Per concludere, volendo fornire un termine di paragone semplice e di immediata comprensione attraverso il quale quantificare il risparmio potenziale di emissioni di gas effetto serra associato tanto alla riqualificazione strutturale ed energetica dell'edificio tipo, quanto alla sua costruzione ex novo, si propone un paragone tra le emissioni annue nette risparmiate e l'ammontare di CO_2 emesso per l'utilizzo annuo di una lampadina da 50W, per la produzione di bottiglie di plastica da 0.5 litri e per l'uso dell'automobile per passeggero-chilometro percorso (Tabella 4.14). L'indicazione generale che deriva dalla comparazione è utile strumento per sottolineare l'importanza di intervenire sul patrimonio residenziale esistente, al fine di perseguire l'obiettivo di una società a ridotto impatto ambientale, e per confermare il ruolo non trascurabile del settore edilizio in materia di sostenibilità ambientale.

EMISSIONI DI CO_2 EQUIVALENTI				
Descrizione Emissioni di CO_2 [$kgCO_2$]		Lampadina da 50W accesa per 5h al giorno per un anno 50[31]	Produzione di 1000 bottiglie da 0.5 l di plastica (PET) 49.0[29]	Uso dell'automobile per passeggero-chilometro percorso 0.104[32]
RISPARMIO NETTO ANNUO	**CONDIZIONE MIGLIORATA** 5137.3 $kgCO_2$/anno	102 lampadine	105000 bottiglie di plastica	49400 km
	CONDIZIONE EX NOVO 3596.0 $kgCO_2$/anno	72 lampadine	73400 bottiglie di plastica	34600 km

TAB. 4.14 Equivalenza tra le emissioni risparmiate per l'edificio tipo nelle condizioni migliorata ed ex novo e i quantitativi di CO_2 emessi per l'illuminazione, per la produzione delle bottiglie di plastica e per l'uso dell'automobile

Conclusioni

La scheda CARTIS e il Progetto TABULA rappresentano due realtà che, seppur in ambiti diversi, sono in grado di fornire importanti informazioni inerenti le caratteristiche del patrimonio edilizio esistente su scala medio-grande. La lettura critica e l'elaborazione dei dati acquisti in ambito strutturale ed energetico per il Comune di Sant'Antonino di Susa, si sono rivelate azioni indispensabili per la scelta dell'edificio tipo e per l'individuazione delle sue caratteristiche energetiche. Tuttavia, è solo con un' analisi più approfondita che si è giunti alla caratterizzazione strutturale ed energetica del caso studio. I risultati ottenuti confermano le aspettative: il *grado di difformità*, stimato per mezzo del confronto dei quantitativi di armatura previsti nel progetto originale con quelli ricalcolati con la progettazione secondo NTC 2008, è indice di una vulnerabilità strutturale, tipica degli edifici in calcestruzzo armato progettati secondo normative non più vigenti e in assenza di classificazione sismica del territorio. Il *fabbisogno di energia per la climatizzazione invernale*, calcolato avvalendosi dei contenuti del Progetto TABULA, rispecchia invece i valori propri di abitazioni realizzate con scarsa attenzione al problema energetico.

I limiti strutturali ed energetici mostrati dal caso studio hanno indotto a considerare l'eventualità di eseguire interventi di riqualificazione strutturale ed energetica e di valutarne gli effetti ed i benefici. Se, per l'ambito strutturale, l'adeguamento dell'organismo resistente consente di ridurre la vulnerabilità e di rinnovare la vita utile dell'edificio, il miglioramento energetico permette invece di contenere i consumi annui per la climatizzazione invernale. La possibilità che questi interventi siano eseguiti simultaneamente ha poi fornito ulteriori spunti di riflessione: oltre ai benefici direttamente correlati alla riqualificazione e al vantaggio di poter ottimizzare i tempi e le risorse economiche disponibili, per esempio condividendo un unico cantiere ed organizzando attività parallele da svolgere contemporaneamente, in quali altri termini possono essere posti a confronto gli ambiti strutturale ed energetico?

L'analisi del *carbon footprint* svolta nel Capitolo 4 fornisce una risposta al quesito. Infatti, il calcolo delle emissioni di gas effetto serra non è solo servito per quantificare l'impatto ambientale degli interventi di adeguamento strutturale e miglioramento dell'efficienza energetica, ma ha anche permesso di porre in relazione i due aspetti e di valutarne, mediante il bilancio tra emissioni prodotte per la realizzazione dell'intervento strutturale e CO_2 risparmiata grazie alla rinnovata prestazione energetica, l'influenza reciproca. I risultati, seppur ottenuti con un approccio affetto da semplificazioni e assunzioni, dimostrano che, per l'edificio tipo, lo scarto

tra le emissioni risparmiate grazie al miglioramento energetico e quelle prodotte per l'adeguamento strutturale è ampiamente positivo. Tale esito assume ulteriore rilevanza a seguito del confronto tra il suddetto bilancio, definito per la condizione migliorata, e quello stimato nell'ipotesi di edificio realizzato ex novo. Anche per quest'ultima condizione il bilancio risulta essere positivo, tuttavia il risparmio netto di emissioni di CO_2 si registra soltanto a lungo termine e, considerato un periodo di riferimento coincidente alla vita utile, allo scadere del cinquantesimo anno le emissioni risparmiate risultano essere del 30% inferiori rispetto a quelle cumulate con la riqualificazione dell'edificio. Oltretutto, il valore stimato è inevitabilmente condannato a scendere qualora, nel calcolo delle emissioni, siano considerati tutti i materiali necessari per realizzare l'edificio, e non solo quelli impiegati per la sua costruzione allo stato grezzo, nonché i quantitativi di CO_2 prodotti per la demolizione della struttura esistente e lo smaltimento e/o il riciclo dei materiali di risulta.

L'esecuzione di interventi integrati di miglioramento energetico e strutturale si dimostra dunque conveniente anche in relazione alla sostenibilità ambientale, tuttavia, come più volte accennato, è bene precisare che un'analisi completa richiederebbe di valutare, in aggiunta, le emissioni di gas effetto serra connesse al rischio sismico, ovvero considerare l'ammontare di CO_2 a partire dalle perdite attese.

Ricordando che l'edificio tipo è stato estratto dalle tipologie strutturali che caratterizzano il patrimonio edilizio residenziale del Comune di Sant'Antonino di Susa, i dati acquisiti tanto dall'analisi separata degli aspetti strutturale ed energetico, quanto dal confronto diretto tra i due ambiti possono essere estesi all'intera classe di edifici C03-CAR1. Lo studio rivolto al singolo fabbricato diviene in questo modo utile strumento per lo sviluppo di considerazioni preliminari su più ampia scala. L'analisi approfondita dello stato di fatto, la determinazione della vulnerabilità strutturale, la stima del miglioramento conseguibile a seguito di interventi di riqualificazione energetica e i risultati ottenuti in merito all'impatto ambientale sono solo alcune delle informazioni che, se elaborate su vasta scala, forniscono interessanti chiavi di lettura per la conoscenza del costruito nazionale. Si pensi, per esempio, a quanto questi risultati possano essere utili per la pianificazione e lo sviluppo di programmi, da parte degli organi competenti, capaci di sfruttare al meglio le risorse economiche disponibili per rinnovare il patrimonio edilizio esistente e per raggiungere gli obiettivi, fissati a corto, medio e lungo termine dall'Unione Europea, per l'evoluzione verso una società a ridotto impatto ambientale.

A questo proposito, la trattazione potrebbe essere perfezionata con la caratterizzazione strutturale ed energetica, nonché la valutazione del *carbon footprint* di un edificio tipo per

ciascuna tipologia strutturale. Così facendo si avrebbe l'opportunità di completare in modo particolareggiato la descrizione di tutto il patrimonio edilizio residenziale santantoninese: il quadro complessivo diventerebbe un'utile base per lo sviluppo di ulteriori considerazioni e paragoni. Si potrebbe, per esempio, effettuare il raffronto tra le prestazioni energetiche o i bilanci di emissioni di CO_2, calcolati per edifici aventi uguale meccanismo resistente, ma costruiti in epoche diverse (si pensi ai fabbricati in muratura MUR1 appartenenti ai comparti C01 e C02 oppure a quelli in calcestruzzo armato del comparto C03, CAR1 e CAR2) oppure concentrarsi sulle differenze che emergono tra edifici aventi la stessa età di costruzione, ma differente organismo resistente (per il periodo 1946-1981 il confronto tra i casi studio estratti dalle tipologie MUR1 e CAR1 del comparto C03).

Comunque, anche limitandosi al caso studio analizzato, è evidente che, per effettuare corrette valutazioni inerenti la sostenibilità ambientale del costruito, l'aspetto energetico non dovrebbe mai prescindere da un'attenta valutazione della condizione strutturale. In questo senso, per la riqualificazione del patrimonio edilizio italiano, come richiesto e sollecitato da più fronti, si dovrebbe mirare allo sviluppo di politiche di incentivazione combinate, che inducano all'esecuzione di interventi integrati di miglioramento strutturale ed energetico, anziché rivolgersi, come accade oggigiorno con gli *Ecobonnus* e i *Sismabonus*, solamente a uno dei due ambiti.

ALLEGATO A

La scheda CARTIS per il Comune di Sant'Antonino di Susa

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica

CARTIS 2014

SCHEDA DI 1° LIVELLO PER LA CARATTERIZZAZIONE TIPOLOGICO-STRUTTURALE DEI COMPARTI URBANI COSTITUITI DA EDIFICI ORDINARI

SEZIONE 0: Identificazione Comune e Comparti		PARTE A

DATA 13 / 10 / 2017

a. DATI DI LOCALIZZAZIONE

Regione: PIEMONTE — Codice ISTAT 01
Provincia: TORINO — Codice ISTAT 001
Comune: SANT'ANTONINO DI SUSA — Codice ISTAT 256
Municipalità/ Frazione/ Località (denominazione ISTAT)
/

b. DATI GENERALI COMUNE

Numero totale residenti del Comune 4227
Anno di prima classificazione sismica 1982
Anno di adozione Piano Regolatore Generale 2013
Piano Particolareggiato Centro Storico: ○ SI ⊗ NO

Numero totale abitazioni
Dato ISTAT 1865 — Dato rilevato

Numero totale edifici
Dato ISTAT 1237 — Dato rilevato

c. NUMERO ZONE OMOGENEE (COMPARTI)

4

d. DATI IDENTIFICATIVI UNITÀ DI RICERCA (UR) RELUIS

Codice UR:
Referente: Prof. Alessandro Pasquale Fantilli
Ente di appartenenza: Politecnico di Torino
Qualifica: Professore associato
Titolo di studio: Laurea in Ingegneria Civile
Indirizzo: Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129, Torino
Mail: alessandro.fantilli@polito.it
Tel. ufficio: +39 0110904900 Cell.:

e. DATI IDENTIFICATIVI TECNICO INTERVISTATO

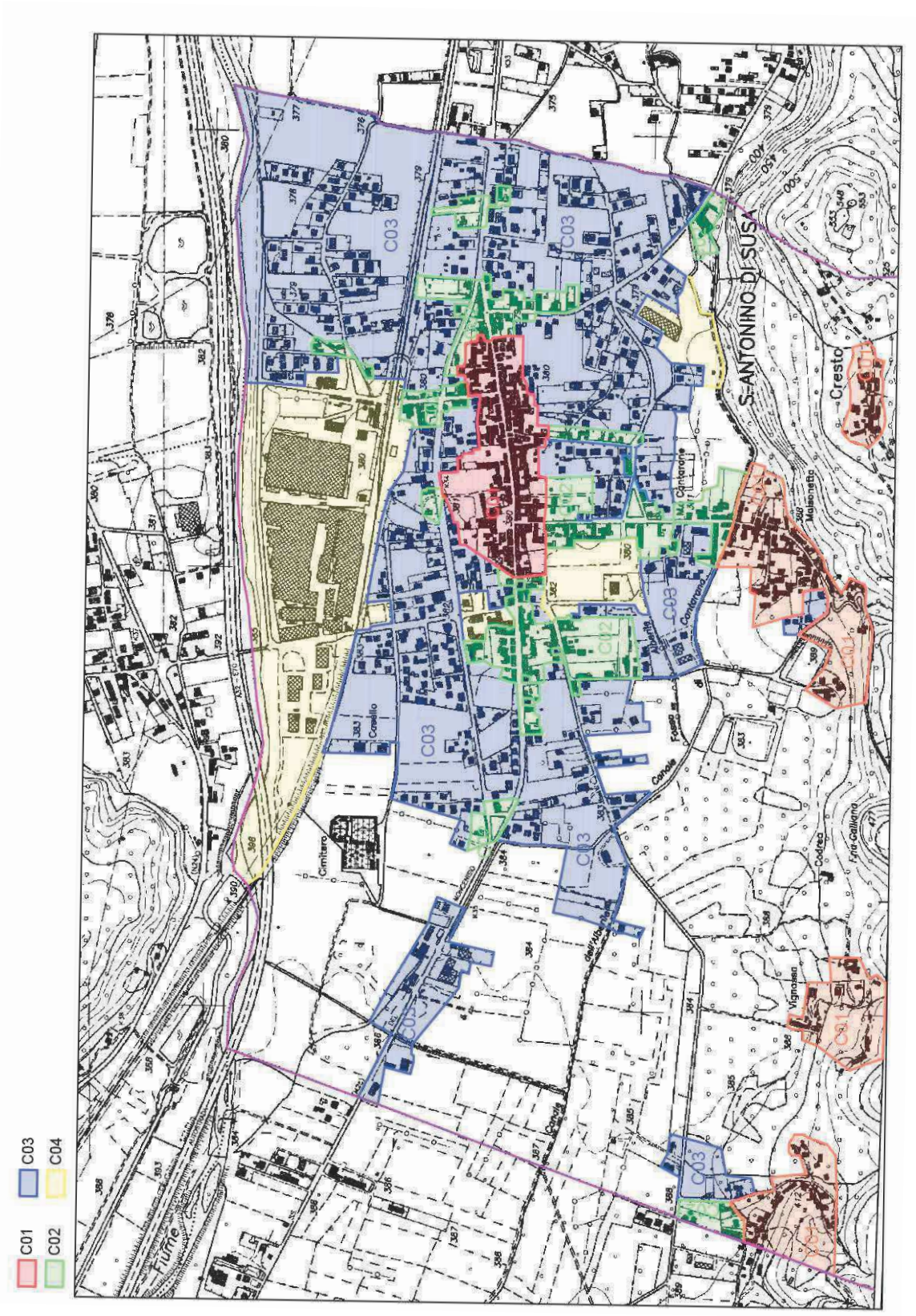
Nominativo: Geom. Claudia Chiapusso
Ente di appartenenza: Comune di Sant'Antonino di Susa
Qualifica: Dipendente Area Tecnica del Comune di S. Antonino di Susa
Titolo di studio: Diploma di Geometra
Indirizzo: Via Torino 95, 10050 Sant'Antonino di Susa
Mail: tecnico@comune.santantoninodisusa.to.it
Tel. ufficio: +39 011 9639934 Cell.:

SEZIONE 0: Identificazione Comune e Comparti — PARTE B

ELENCO COMPARTI

a. Codice	b. Denominazione Comparto	c. Epoca di Costruzione	d. Residenti	e. Edifici e Superficie Coperta		f. Abitazioni	g. Tipologie presenti nel comparto								h. Affidabilità Informazione		
							MURATURA (Codice)				CEMENTO ARMATO (Codice)						
			[N°]	[N°]	[mq]	[N°]	MUR 1	MUR 2	MUR 3	MUR 4	CAR 1	CAR 2	CAR 3	CAR 4	Bassa	Media	Alta
c01	CENTRO STORICO E NUCLEI FRAZIONALI	1600		4500			☒ 98 %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	⊗	○	○
c02	ESPANSIONE 1	1800		150			☒ 98 %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	⊗	○	○
c03	ESPANSIONE 2	1900		600			☒ 55 %	☐ %	☐ %	☐ %	☒ 25 %	☒ 20 %	☐ %	☐ %	⊗	○	○
c04	ZONA INDUSTRIALE E AREE POLIFUNZIONALI		EDIFICI NON ORDINARI				☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	○	○	○
c__							☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	○	○	○
c__							☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	○	○	○
c__							☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	○	○	○
c__							☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	○	○	○
c__							☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	○	○	○
c__							☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	○	○	○
c__							☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	○	○	○
c__							☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	☐ %	○	○	○

f. PLANIMETRIA DEL CENTRO URBANO CON PERIMETRAZIONE DEI COMPARTI E NUMERAZIONE DEGLI STESSI



SEZIONE 1: Identificazione Tipologia

a. CODICE TIPOLOGIA

⊗ MUR 1	○ MUR 2	○ MUR 3	○ MUR 4	○ CAR 1	○ CAR 2	○ CAR 3	○ CAR 4

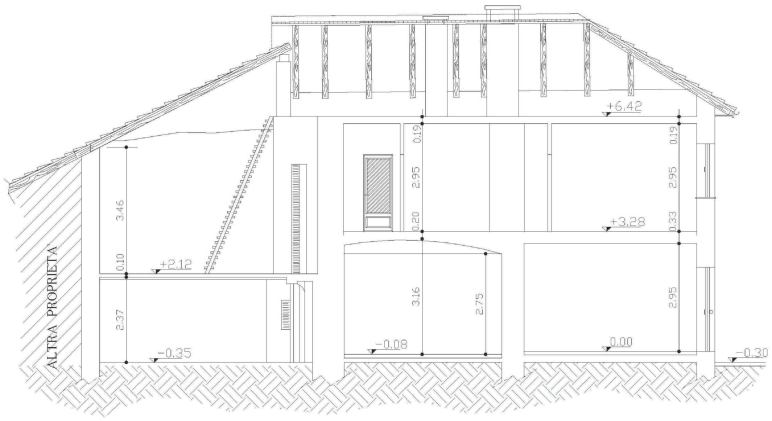
b. CODICE IDENTIFICATIVO DELLA TIPOLOGIA NEL COMPARTO (IDT)

0 1	0 0 1	2 5 6	C 0 1	M U R 1
Codice ISTAT Regione	Codice ISTAT Provincia	Codice ISTAT Comune	Codice Comparto	Codice Tipologia

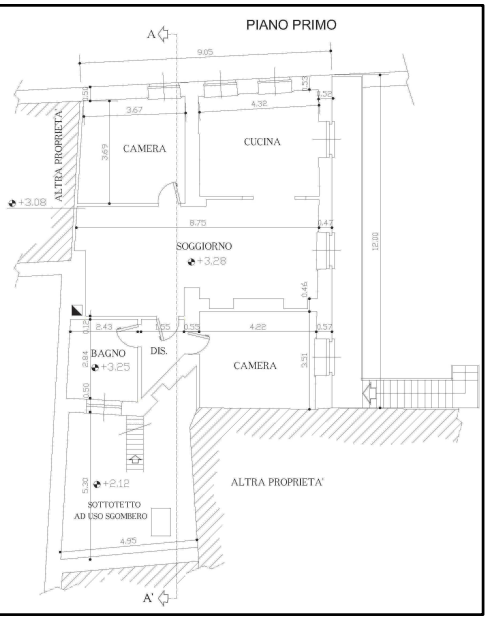
c. POSIZIONE TIPOLOGIA NEL CONTESTO URBANO	ISOLATA ~~IN AGGREGATO~~	IN AGGREGATO	
		9 8 %	
		In adiacenza (strutture staticamente indipendenti)	*In connessione* (strutture interagenti)
	2 %	%	%

d. FOTOGRAFIA TIPOLOGIA

d. PIANTA E SEZIONE



SEZIONE A-A'



SEZIONE 2: Caratteristiche generali

DATI METRICI

a. Piani totali compresi interrati [N°] (max 2)	☐ 1 ☐ 4 ☐ 7 ☐ 10 ☐ 2 ☐ 5 ☐ 8 ☐ 11 ☒ 3 ☐ 6 ☐ 9 ☐ ≥12
b. Altezza media di piano [m]	1 ○ ≤ 2.50 3 ○ 3.50 ÷ 5.00 2 ⊗ 2.50 ÷ 3.49 4 ○ > 5.00
c. Altezza media di piano terra [m]	1 ○ ≤ 2.50 3 ○ 3.50 ÷ 5.00 2 ⊗ 2.50 ÷ 3.49 4 ○ > 5.00
d. Piani interrati [N°]	A ⊗ 0 B ○ 1 C ○ 2 D ○ ≥ 3
e. Superficie media di piano [m^2] (max 2)	A ☐ 50 E ☐ 170 I ☐ 500 O ☐ 1600 B ☒ 70 F ☐ 230 L ☐ 650 P ☐ 2200 C ☒ 100 G ☐ 300 M ☐ 900 Q ☐ 3000 D ☐ 130 H ☐ 400 N ☐ 1200 R ☐ > 3000
f. Età della costruzione	1 ⊗ ≤ 1860 8 ○ 82 ÷ 86 2 ○ 1861 - 19 9 ○ 87 ÷ 91 3 ○ 19 ÷ 45 10 ○ 92 ÷ 96 4 ○ 46 ÷ 61 11 ○ 97 ÷ 01 5 ○ 62 ÷ 71 12 ○ 02 ÷ 08 6 ○ 72 ÷ 75 13 ○ 09 ÷ 11 7 ○ 76 ÷ 81 14 ○ ≥ 2011
g. Uso prevalente	A ☒ Abitativo B ☐ Produttivo C ☒ Commercio D ☒ Uffici D ☐ Servizi pubblici D ☐ Deposito D ☐ Strategico D ☐ Turistico - ricettivo

SEZIONE 3.1 A **Caratterizzazione tipologica MURATURA** *(da compilare in alternativa alla Sezione 3.1 B)*

IDT 0 1 0 0 1 2 5 6 C 0 1 M U R 1

a. Caratteristiche Muratura

A 1.1	MURATURA IRREGOLARE	Pietra arrotondata	Senza ricorsi	Ciottoli con tessitura disordinata nel parametro	○
A 1.2				Ciottoli con tessitura ordinata nel parametro	○
A 1.3			Con ricorsi	Ciottoli e mattoni	○
A 1.4				Ciottoli e mattoni con ricorsi in laterizio	○
A 2.1		Pietra grezza	Senza ricorsi	Pietrame con tessitura disordinata nel parametro	⊗
A 2.2				Pietrame con tessitura ordinata nel parametro	○
A 2.3			Con ricorsi	Murata disordinata con embrici e calcare	○
A 2.4				Pietrame con ricorsi in laterizio	○
B 1.1	MURATURA SBOZZATA	Pietra lastriforme	Senza ricorsi		○
B 1.2			Con ricorsi		○
B 2.1		Pietra squadrata	Senza ricorsi		○
B 2.2			Con ricorsi		○
C 1.1	MURATURA REGOLARE	Pietra pseudo regolare	Senza ricorsi		○
C 1.2			Con ricorsi		○
C 2.0		Mattoni			○

b. Presenza muratura a Sacco ○ SI ⊗ NO

c. Presenza Catene o Cordoli *(% nella tipologia)* 2 5 %

d. Collegamento trasversale ⊗ COLLEGATO ○ SCOLLEGATO ○ NON SO

e. Spessore medio Pareti Piano Terra 5 5 cm

f. Interasse medio Pareti 5 , 0 0 m

g. Caratteristiche Solai *(max 2)*

S 1.1	SOLETTA DEFORMABILE	Solaio in legno con mezzane	☐
S 1.2		Solaio in legno con tavolato semplice a orditura	☐
S 1.3		Solaio con travi di ferro a voltine	☒
S 2.1	SOLETTA SEMIRIGIDA	Solaio in legno con doppio tavolato	☐
S 2.2		Solaio prefabbricato del tipo SAP	☐
S 2.3		Solaio in ferro e tavelloni	☐
S 3.1	SOLETTA RIGIDA	Solaio in cemento armato a soletta piena	☐
S 3.2		Solaio in cemento armato a travetti prefabbricati	☐
S 3.3		Solaio in latero-cemento gettato in opera	☒

h. Caratteristiche Volte *tipologia (max 2)*

V 1	Volta a botte	☐	%
V 2	Volta a botte con lunette	☐	%
V 3	Volta a botte con teste a padiglione	☐	%
V 4	Volta a specchio o a schifo	☐	%
V 5	Volta a padiglione	☒	%
V 6	Volta a crociera	☐	%
V 7	Volta a vela	☐	%
V 8	Volta a imbuto o ventaglio su pianta quadrata	☐	%

Presenza di volte ai piani intermedi ⊗ SI ○ NO

SEZIONE 3.1 A | **Caratterizzazione tipologica MURATURA** *(da compilare in alternativa alla Sezione 3.1 B)*

IDT 0 1 0 0 1 2 5 6 C 0 1 M U R 1

i. Strutture miste

Percentuale nella tipologia ☐☐2 %

○ C.A. (o altre strutture Intelaiate) su muratura (G1)	⊗ Muratura perimetrale e pilastri interni in C.A. (G3.2)
○ Muratura su C.A. (o altre strutture intelaiate) (G2)	○ Muratura perimetrale e pilastri esterni (G3.3)
○ Muratura con ampliamento in pianta in C.A. (G3.1)	○ Muratura confinata (G3.4)

j. Malta *(max 2 scelte)*

	Tipo		Condizioni	
1	Calce	☒	⊗ BUONE (a)	○ CATTIVE (b)
2	Gesso	☐		
3	Argilla	☐		
4	Calce idraulica	☐		
5	Calce pozzolanica	☐		
6	Malta bastarda	☒		
7	Cemento portland	☐		

k. Portici, logge e cavedi *(% nella tipologia)*

☐ 1 - PORTICI ☐☐☐ %	☐ 2 - LOGGE ☐☐☐ %	☐ 3 - CAVEDI ☐☐☐ %

l. Ulteriori elementi di vulnerabilità per le murature

		SI	NO	NON SO
1	Mancanza di ammorsamenti tra pareti ortogonali	☒ ☐☐5 %	☐	☐
2	Presenza di cordoli in breccia su murature a doppio paramento	☐ ☐☐☐ %	☒	☐
3	Presenza di architravi con ridotta rigidezza flessionale o con inadeguata lunghezza di appoggio	☒ ☐50 %	☐	☐
4	Presenza di archi ribassati e/o piattabande con imposte inadeguate	☐ ☐☐☐ %	☒	☐
5	Riduzioni localizzate della sezione muraria (presenza di canne fumarie, cavedi, nicchie, etc.)	☒ ☐95 %	☐	☐
6	Discontinuità localizzate (chiusura vecchie aperture, sarciture mal realizzate, etc.)	☒ ☐☐5 %	☐	☐
7	Presenza di aperture poste in prossimità della linea di colmo della copertura	☒ ☐95 %	☐	☐
8	Presenza di pilastri isolati	☐ ☐☐☐ %	☒	☐
9	Presenza di struttura di copertura rigida e mal collegata	☒ ☐85 %	☐	☐
10	Presenza di travi di colmo di notevoli dimensioni mal collegate	☐ ☐☐☐ %	☒	☐
11	Orizzontamenti di qualsiasi tipo mal collegati alle pareti	☒ ☐75 %	☐	☐
12	Mancanza di connessione della parete alla copertura	☒ ☐80 %	☐	☐
13	Fondazione inadeguata a sostenere l'incremento di carico verticale dovuto al sisma	☒ ☐90 %	☐	☐
14	Presenza di piccoli corpi aggiunti di differente rigidezza e/o con collegamenti localizzati	☒ ☐☐8 %	☐	☐
15	Presenza di piani sfalsati anche rispetto ad edifici contigui nell'aggregato	☒ ☐80 %	☐	☐

SEZIONE 3.2 Altre informazioni

a. Copertura		Tipo	
	Forma	Leggera (1)	Pesante (2)
1	Singola falda	○	○
2	Falde inclinate	⊗	○
3	Terrazzo praticabile	○	○
4	Terrazzo non praticabile	○	○
5	Volte	○	○

Materiale	
Legno	⊗
Acciaio	○
Cemento Armato	○
Muratura	○

Spingente	SI ⊗	NO ○

b. Aperture in facciata *(% sulla superficie della facciata)*	
< 10 %	○
10/19 %	⊗
20/29 %	○
30/50 %	○
> 50%	○

c. Regolarità	
Pianta	**Elevazione**
○ Regolare (1)	⊗ Regolare (1)
⊗ Mediamente regolare (2)	○ Mediamente regolare (2)
○ Irregolare (3)	○ Irregolare (3)

d. Interventi strutturali della tipologia		
1 - Anno		⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋
2 - Interventi tipici	⊗	A. Interventi locali
	○	B. Miglioramento sismico
	○	C. Adeguamento sismico
3 - Diffusione percentuale di miglioramento		⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]

e. Aperture Piano terra (PT) *(% sulla superficie della facciata al PT)*	
< 10 %	○
10/19 %	⊗
20/29 %	○
30/50 %	○
> 50%	○

f. Conservazione		Scadente	Buono
1	Stato di conservazione d'insieme	○	⊗
2	Stato di conservazione strutture verticali	○	⊗
3	Stato di conservazione strutture orizzontali	○	⊗
4	Stato di conservazione elementi non strutturali	○	⊗

g. Tipologia scale	
A - Scale a soletta rampante	○
B - Scale con travi a ginocchio e gradini a sbalzo	○
D - Scale con gradini a sbalzo	○
E - Scale in legno	○
F - Scale su volta rampante	⊗

h. ELEMENTI NON STRUTTURALI VULNERABILI *(elementi a tipologia vulnerabile e/o in cattive condizioni)*

1	Tramezzi non strutturali (forati, etc.)	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
2	Manto di copertura tipico (tegole, coppi)	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
3	Comignoli ed altri aggetti verticali	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
4	Balconi (in muratura, acciaio, c.a., etc.)	☒	⌊_⌋⌊9⌋⌊0⌋ [%]
5	Cornicioni (muratura, scarsa qualità ancoraggi, etc.)	☒	⌊_⌋⌊2⌋⌊5⌋ [%]
6	Parapetti (in muratura, c.a. etc.)	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
7	Controsoffitti leggeri	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
8	Controsoffitti pesanti	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
9	False volte pesanti (mattoni in foglio)	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
10	False volte leggere (incannucciata)	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]

NOTE

IDT 0 1 0 0 1 2 5 6 C 0 1 M U R 1

SEZIONE 1: Identificazione Tipologia

a. CODICE TIPOLOGIA

☒ MUR 1	○ MUR 2	○ MUR 3	○ MUR 4	○ CAR 1	○ CAR 2	○ CAR 3	○ CAR 4

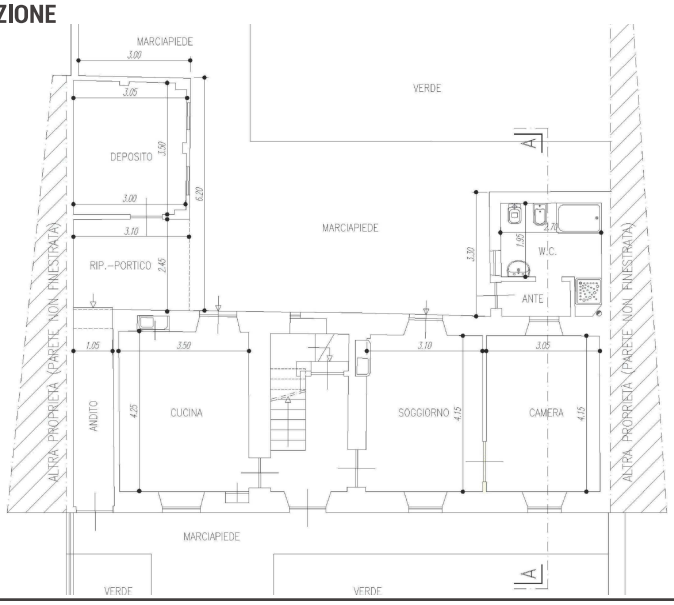
b. CODICE IDENTIFICATIVO DELLA TIPOLOGIA NEL COMPARTO (IDT)

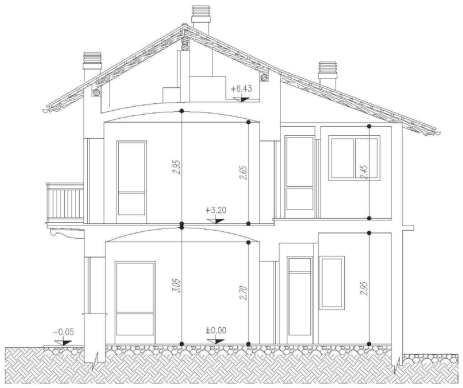
0 1	0 0 1	2 5 6	C 0 2	M U R 1
Codice ISTAT Regione	Codice ISTAT Provincia	Codice ISTAT Comune	Codice Comparto	Codice Tipologia

c. POSIZIONE TIPOLOGIA NEL CONTESTO URBANO	ISOLATA ~~IN AGGREGATO~~	IN AGGREGATO	
		8 8 %	
		In adiacenza (strutture staticamente indipendenti)	*In connessione* (strutture interagenti)
	1 2 %	%	%

d. FOTOGRAFIA TIPOLOGIA

d. PIANTA E SEZIONE





SEZIONE A–A

SEZIONE 2: Caratteristiche generali

DATI METRICI

a. Piani totali compresi interrati [N°] (max 2)	☐ 1 ☐ 4 ☐ 7 ☐ 10 ☒ 2 ☐ 5 ☐ 8 ☐ 11 ☒ 3 ☐ 6 ☐ 9 ☐ ≥12
b. Altezza media di piano [m]	1 ○ ≤ 2.50 3 ○ 3.50 ÷ 5.00 2 ⊗ 2.50 ÷ 3.49 4 ○ > 5.00
c. Altezza media di piano terra [m]	1 ○ ≤ 2.50 3 ○ 3.50 ÷ 5.00 2 ⊗ 2.50 ÷ 3.49 4 ○ > 5.00
d. Piani interrati [N°]	A ⊗ 0 B ○ 1 C ○ 2 D ○ ≥ 3
e. Superficie media di piano [m^2] (max 2)	A ☐ 50 E ☐ 170 I ☐ 500 O ☐ 1600 B ☒ 70 F ☐ 230 L ☐ 650 P ☐ 2200 C ☒ 100 G ☐ 300 M ☐ 900 Q ☐ 3000 D ☐ 130 H ☐ 400 N ☐ 1200 R ☐ > 3000
f. Età della costruzione	1 ○ ≤ 1860 8 ○ 82 ÷ 86 2 ⊗ 1861 - 19 9 ○ 87 ÷ 91 3 ⊗ 19 ÷ 45 10 ○ 92 ÷ 96 4 ○ 46 ÷ 61 11 ○ 97 ÷ 01 5 ○ 62 ÷ 71 12 ○ 02 ÷ 08 6 ○ 72 ÷ 75 13 ○ 09 ÷ 11 7 ○ 76 ÷ 81 14 ○ ≥ 2011
g. Uso prevalente	A ☒ Abitativo B ☐ Produttivo C ☐ Commercio D ☐ Uffici D ☐ Servizi pubblici D ☐ Deposito D ☐ Strategico D ☐ Turistico - ricettivo

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

CARTIS 2014

Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica

SEZIONE 3.1 A **Caratterizzazione tipologica MURATURA** *(da compilare in alternativa alla Sezione 3.1 B)*

IDT 0 1 0 0 1 2 5 6 C 0 2 M U R 1

a. Caratteristiche Muratura

A 1.1	MURATURA IRREGOLARE	Pietra arrotondata	Senza ricorsi	Ciottoli con tessitura disordinata nel parametro	○
A 1.2				Ciottoli con tessitura ordinata nel parametro	○
A 1.3			Con ricorsi	Ciottoli e mattoni	○
A 1.4				Ciottoli e mattoni con ricorsi in laterizio	○
A 2.1		Pietra grezza	Senza ricorsi	Pietrame con tessitura disordinata nel parametro	☒
A 2.2				Pietrame con tessitura ordinata nel parametro	○
A 2.3			Con ricorsi	Murata disordinata con embrici e calcare	○
A 2.4				Pietrame con ricorsi in laterizio	○
B 1.1	MURATURA SBOZZATA	Pietra lastriforme	Senza ricorsi		○
B 1.2			Con ricorsi		○
B 2.1		Pietra squadrata	Senza ricorsi		○
B 2.2			Con ricorsi		○
C 1.1	MURATURA REGOLARE	Pietra pseudo regolare	Senza ricorsi		○
C 1.2			Con ricorsi		○
C 2.0		Mattoni			○

b. Presenza muratura a Sacco ○ SI ☒ NO

c. Presenza Catene o Cordoli *(% nella tipologia)* ___ %

d. Collegamento trasversale ☒ COLLEGATO ○ SCOLLEGATO ○ NON SO

e. Spessore medio Pareti Piano Terra 55 cm

f. Interasse medio Pareti 5,00 m

g. Caratteristiche Solai *(max 2)*

S 1.1	SOLETTA DEFORMABILE	Solaio in legno con mezzane	☐
S 1.2		Solaio in legno con tavolato semplice a orditura	☐
S 1.3		Solaio con travi di ferro a voltine	☒
S 2.1	SOLETTA SEMIRIGIDA	Solaio in legno con doppio tavolato	☐
S 2.2		Solaio prefabbricato del tipo SAP	☐
S 2.3		Solaio in ferro e tavelloni	☐
S 3.1	SOLETTA RIGIDA	Solaio in cemento armato a soletta piena	☐
S 3.2		Solaio in cemento armato a travetti prefabbricati	☐
S 3.3		Solaio in latero-cemento gettato in opera	☒

h. Caratteristiche Volte *tipologia (max 2)*

V 1	Volta a botte	☐	___ %
V 2	Volta a botte con lunette	☐	___ %
V 3	Volta a botte con teste a padiglione	☐	___ %
V 4	Volta a specchio o a schifo	☐	___ %
V 5	Volta a padiglione	☒	___ %
V 6	Volta a crociera	☐	___ %
V 7	Volta a vela	☐	___ %
V 8	Volta a imbuto o ventaglio su pianta quadrata	☐	___ %

Presenza di volte ai piani intermedi ☒ SI ○ NO

SEZIONE 3.1 A **Caratterizzazione tipologica MURATURA** *(da compilare in alternativa alla Sezione 3.1 B)*

IDT 0 1 0 0 1 2 5 6 C 0 2 M U R 1

i. Strutture miste

Percentuale nella tipologia ___ 0 %

○ C.A. (o altre strutture Intelaiate) su muratura (G1)	○ Muratura perimetrale e pilastri interni in C.A. (G3.2)
○ Muratura su C.A. (o altre strutture intelaiate) (G2)	○ Muratura perimetrale e pilastri esterni (G3.3)
○ Muratura con ampliamento in pianta in C.A. (G3.1)	○ Muratura confinata (G3.4)

j. Malta *(max 2 scelte)*

	Tipo		Condizioni	
1	Calce	☒	⊗ BUONE (a)	○ CATTIVE (b)
2	Gesso	☐		
3	Argilla	☐		
4	Calce idraulica	☐		
5	Calce pozzolanica	☐		
6	Malta bastarda	☒		
7	Cemento portland	☐		

k. Portici, logge e cavedi *(% nella tipologia)*

☐ 1 - PORTICI ___ %	☐ 2 - LOGGE ___ %	☐ 3 - CAVEDI ___ %

	l. Ulteriori elementi di vulnerabilità per le murature	SI		NO	NON SO
1	Mancanza di ammorsamenti tra pareti ortogonali	☐	___ %	☒	☐
2	Presenza di cordoli in breccia su murature a doppio paramento	☐	___ %	☒	☐
3	Presenza di architravi con ridotta rigidezza flessionale o con inadeguata lunghezza di appoggio	☒	9 0 %	☐	☐
4	Presenza di archi ribassati e/o piattabande con imposte inadeguate	☐	___ %	☒	☐
5	Riduzioni localizzate della sezione muraria (presenza di canne fumarie, cavedi, nicchie, etc.)	☒	7 0 %	☐	☐
6	Discontinuità localizzate (chiusura vecchie aperture, sarciture mal realizzate, etc.)	☒	5 %	☐	☐
7	Presenza di aperture poste in prossimità della linea di colmo della copertura	☒	1 0 0 %	☐	☐
8	Presenza di pilastri isolati	☐	___ %	☒	☐
9	Presenza di struttura di copertura rigida e mal collegata	☒	8 5 %	☐	☐
10	Presenza di travi di colmo di notevoli dimensioni mal collegate	☒	8 5 %	☐	☐
11	Orizzontamenti di qualsiasi tipo mal collegati alle pareti	☒	7 0 %	☐	☐
12	Mancanza di connessione della parete alla copertura	☒	7 0 %	☐	☐
13	Fondazione inadeguata a sostenere l'incremento di carico verticale dovuto al sisma	☒	1 0 0 %	☐	☐
14	Presenza di piccoli corpi aggiunti di differente rigidezza e/o con collegamenti localizzati	☒	5 %	☐	☐
15	Presenza di piani sfalsati anche rispetto ad edifici contigui nell'aggregato	☒	3 0 %	☐	☐

SEZIONE 3.2 Altre informazioni

a. Copertura		Tipo	
	Forma	Leggera (1)	Pesante (2)
1	Singola falda	○	○
2	Falde inclinate	⊠	○
3	Terrazzo praticabile	○	○
4	Terrazzo non praticabile	○	○
5	Volte	○	○

Materiale	
Legno	⊠
Acciaio	○
Cemento Armato	○
Muratura	○

Spingente	SI ⊠	NO ○

b. Aperture in facciata *(% sulla superficie della facciata)*	
< 10 %	○
10/19 %	⊠
20/29 %	○
30/50 %	○
> 50%	○

c. Regolarità	
Pianta	**Elevazione**
○ Regolare (1)	○ Regolare (1)
⊠ Mediamente regolare (2)	⊠ Mediamente regolare (2)
○ Irregolare (3)	○ Irregolare (3)

d. Interventi strutturali della tipologia		
1 - Anno		⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋
2 - Interventi tipici	⊠	A. Interventi locali
	○	B. Miglioramento sismico
	○	C. Adeguamento sismico
3 - Diffusione percentuale di miglioramento		⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]

e. Aperture Piano terra (PT) *(% sulla superficie della facciata al PT)*	
< 10 %	○
10/19 %	⊠
20/29 %	○
30/50 %	○
> 50%	○

f. Conservazione		Scadente	Buono
1	Stato di conservazione d'insieme	○	⊠
2	Stato di conservazione strutture verticali	○	⊠
3	Stato di conservazione strutture orizzontali	○	⊠
4	Stato di conservazione elementi non strutturali	○	⊠

g. Tipologia scale	
A - Scale a soletta rampante	○
B - Scale con travi a ginocchio e gradini a sbalzo	○
D - Scale con gradini a sbalzo	⊠
E - Scale in legno	○
F - Scale su volta rampante	○

h. ELEMENTI NON STRUTTURALI VULNERABILI *(elementi a tipologia vulnerabile e/o in cattive condizioni)*			
1	Tramezzi non strutturali (forati, etc.)	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
2	Manto di copertura tipico (tegole, coppi)	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
3	Comignoli ed altri aggetti verticali	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
4	Balconi (in muratura, acciaio, c.a., etc.)	☒	⌊_⌋⌊9⌋⌊0⌋ [%]
5	Cornicioni (muratura, scarsa qualità ancoraggi, etc.)	☒	⌊_⌋⌊3⌋⌊0⌋ [%]
6	Parapetti (in muratura, c.a. etc.)	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
7	Controsoffitti leggeri	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
8	Controsoffitti pesanti	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
9	False volte pesanti (mattoni in foglio)	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
10	False volte leggere (incannucciata)	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]

NOTE

IDT 0 1 0 0 1 2 5 6 C 0 2 M U R 1

g. Tipologia Scale: L'opzione scelta, D-Scale con gradini a sbalzo, descrive solo parzialmente la tipologia di scale più frequente negli edifici della presente Tipologia Strutturale. Infatti, il gradino in pietra è solitamente incastrato nella muratura portante da un lato e appoggiato su mattoni all'altra estremità.

SEZIONE 1: Identificazione Tipologia

a. CODICE TIPOLOGIA

⊗ MUR 1	○ MUR 2	○ MUR 3	○ MUR 4	○ CAR 1	○ CAR 2	○ CAR 3	○ CAR 4

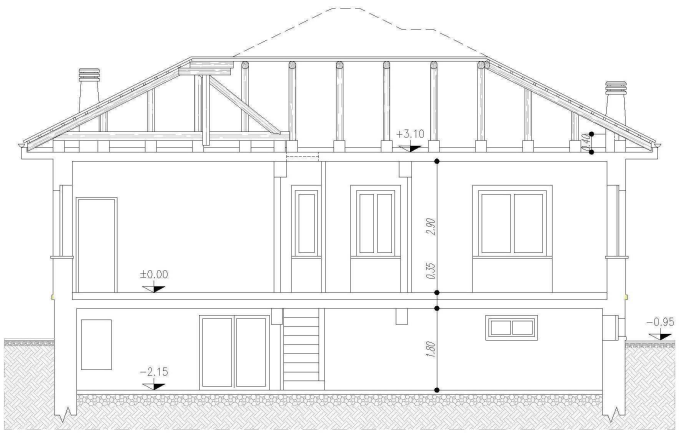
b. CODICE IDENTIFICATIVO DELLA TIPOLOGIA NEL COMPARTO (IDT)

0 1	0 9 1	2 5 6	C 0 3	M U R 1
Codice ISTAT Regione	Codice ISTAT Provincia	Codice ISTAT Comune	Codice Comparto	Codice Tipologia

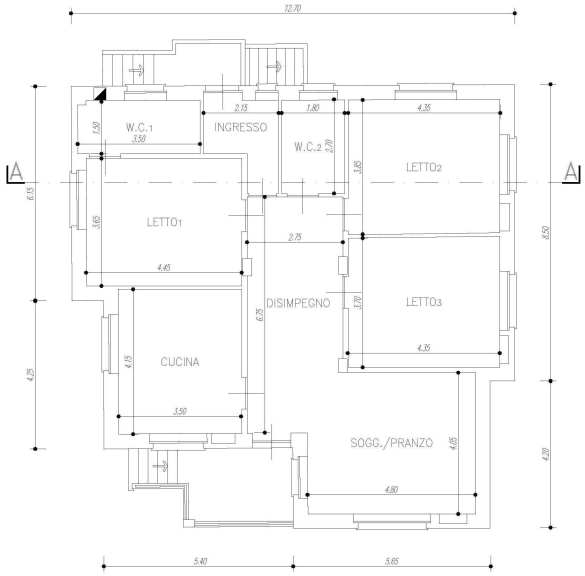
c. POSIZIONE TIPOLOGIA NEL CONTESTO URBANO	ISOLATA IN AGGREGATO	IN AGGREGATO	
		1 5 %	
		In adiacenza (strutture staticamente indipendenti)	*In connessione* (strutture interagenti)
	8 5 %	%	%

d. FOTOGRAFIA TIPOLOGIA

d. PIANTA E SEZIONE



SEZIONE A–A



PIANO RIALZATO

SEZIONE 2: Caratteristiche generali

DATI METRICI

a. Piani totali compresi interrati [N°] (max 2)	☐ 1 ☐ 4 ☐ 7 ☐ 10 ☒ 2 ☐ 5 ☐ 8 ☐ 11 ☒ 3 ☐ 6 ☐ 9 ☐ ≥12
b. Altezza media di piano [m]	1 ○ ≤ 2.50 3 ○ 3.50 ÷ 5.00 2 ⊗ 2.50 ÷ 3.49 4 ○ > 5.00
c. Altezza media di piano terra [m]	1 ○ ≤ 2.50 3 ○ 3.50 ÷ 5.00 2 ⊗ 2.50 ÷ 3.49 4 ○ > 5.00
d. Piani interrati [N°]	A ○ 0 B ⊗ 1 C ○ 2 D ○ ≥ 3
e. Superficie media di piano [m^2] (max 2)	A ☐ 50 E ☐ 170 I ☐ 500 O ☐ 1600 B ☐ 70 F ☐ 230 L ☐ 650 P ☐ 2200 C ☒ 100 G ☐ 300 M ☐ 900 Q ☐ 3000 D ☒ 130 H ☐ 400 N ☐ 1200 R ☐ > 3000
f. Età della costruzione	1 ○ ≤ 1860 8 ○ 82 ÷ 86 2 ○ 1861 - 19 9 ○ 87 ÷ 91 3 ○ 19 ÷ 45 10 ○ 92 ÷ 96 4 ⊗ 46 ÷ 61 11 ○ 97 ÷ 01 5 ⊗ 62 ÷ 71 12 ○ 02 ÷ 08 6 ○ 72 ÷ 75 13 ○ 09 ÷ 11 7 ○ 76 ÷ 81 14 ○ ≥ 2011
g. Uso prevalente	A ☒ Abitativo B ☐ Produttivo C ☐ Commercio D ☐ Uffici D ☐ Servizi pubblici D ☐ Deposito D ☐ Strategico D ☐ Turistico - ricettivo

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

CARTIS 2014

Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica

SEZIONE 3.1 A | **Caratterizzazione tipologica MURATURA** *(da compilare in alternativa alla Sezione 3.1 B)*

IDT 0 1 0 0 1 2 5 6 C 0 3 M U R 1

a. Caratteristiche Muratura

A 1.1	**MURATURA IRREGOLARE**	**Pietra arrotondata**	Senza ricorsi	Ciottoli con tessitura disordinata nel parametro	○
A 1.2				Ciottoli con tessitura ordinata nel parametro	○
A 1.3			Con ricorsi	Ciottoli e mattoni	○
A 1.4				Ciottoli e mattoni con ricorsi in laterizio	○
A 2.1		**Pietra grezza**	Senza ricorsi	Pietrame con tessitura disordinata nel parametro	○
A 2.2				Pietrame con tessitura ordinata nel parametro	○
A 2.3			Con ricorsi	Murata disordinata con embrici e calcare	○
A 2.4				Pietrame con ricorsi in laterizio	○
B 1.1	**MURATURA SBOZZATA**	**Pietra lastriforme**	Senza ricorsi		○
B 1.2			Con ricorsi		○
B 2.1		**Pietra squadrata**	Senza ricorsi		○
B 2.2			Con ricorsi		○
C 1.1	**MURATURA REGOLARE**	**Pietra pseudo regolare**	Senza ricorsi		○
C 1.2			Con ricorsi		○
C 2.0		**Mattoni**			⊠

b. Presenza muratura a Sacco ○ SI ⊠ NO

c. Presenza Catene o Cordoli *(% nella tipologia)* 9 0 %

d. Collegamento trasversale ○ COLLEGATO ⊠ SCOLLEGATO ○ NON SO

e. Spessore medio Pareti Piano Terra 4 0 cm

f. Interasse medio Pareti 1 2 , 0 0 m

g. Caratteristiche Solai *(max 2)*

S 1.1	SOLETTA DEFORMABILE	Solaio in legno con mezzane	☐
S 1.2		Solaio in legno con tavolato semplice a orditura	☐
S 1.3		Solaio con travi di ferro a voltine	☐
S 2.1	SOLETTA SEMIRIGIDA	Solaio in legno con doppio tavolato	☐
S 2.2		Solaio prefabbricato del tipo SAP	☐
S 2.3		Solaio in ferro e tavelloni	☐
S 3.1	SOLETTA RIGIDA	Solaio in cemento armato a soletta piena	☐
S 3.2		Solaio in cemento armato a travetti prefabbricati	☒
S 3.3		Solaio in latero-cemento gettato in opera	☒

h. Caratteristiche Volte *tipologia (max 2)*

V 1	Volta a botte	☐	%
V 2	Volta a botte con lunette	☐	%
V 3	Volta a botte con teste a padiglione	☐	%
V 4	Volta a specchio o a schifo	☐	%
V 5	Volta a padiglione	☐	%
V 6	Volta a crociera	☐	%
V 7	Volta a vela	☐	%
V 8	Volta a imbuto o ventaglio su pianta quadrata	☐	%

Presenza di volte ai piani intermedi ○ SI ○ NO

SEZIONE 3.1 A **Caratterizzazione tipologica MURATURA** *(da compilare in alternativa alla Sezione 3.1 B)*

IDT 0 1 0 0 1 2 5 6 C 0 3 M U R 1

i. Strutture miste

Percentuale nella tipologia 97%

○ C.A. (o altre strutture Intelaiate) su muratura (G1)	⊗ Muratura perimetrale e pilastri interni in C.A. (G3.2)
○ Muratura su C.A. (o altre strutture intelaiate) (G2)	○ Muratura perimetrale e pilastri esterni (G3.3)
○ Muratura con ampliamento in pianta in C.A. (G3.1)	○ Muratura confinata (G3.4)

j. Malta *(max 2 scelte)*

	Tipo		Condizioni: ⊗ BUONE (a)	Condizioni: ○ CATTIVE (b)
1	Calce	☐		
2	Gesso	☐		
3	Argilla	☐		
4	Calce idraulica	☐		
5	Calce pozzolanica	☐		
6	Malta bastarda	☒		
7	Cemento portland	☐		

k. Portici, logge e cavedi *(% nella tipologia)*

☐ 1 - PORTICI ___%	☒ 2 - LOGGE 20%	☐ 3 - CAVEDI ___%

l. Ulteriori elementi di vulnerabilità per le murature

		SI	NO	NON SO
1	Mancanza di ammorsamenti tra pareti ortogonali	☐ ___%	☒	☐
2	Presenza di cordoli in breccia su murature a doppio paramento	☐ ___%	☒	☐
3	Presenza di architravi con ridotta rigidezza flessionale o con inadeguata lunghezza di appoggio	☒ 95%	☐	☐
4	Presenza di archi ribassati e/o piattabande con imposte inadeguate	☐ ___%	☒	☐
5	Riduzioni localizzate della sezione muraria (presenza di canne fumarie, cavedi, nicchie, etc.)	☒ 90%	☐	☐
6	Discontinuità localizzate (chiusura vecchie aperture, sarciture mal realizzate, etc.)	☐ ___%	☒	☐
7	Presenza di aperture poste in prossimità della linea di colmo della copertura	☐ ___%	☒	☐
8	Presenza di pilastri isolati	☒ 97%	☐	☐
9	Presenza di struttura di copertura rigida e mal collegata	☒ ___%	☐	☐
10	Presenza di travi di colmo di notevoli dimensioni mal collegate	☒ ___%	☐	☐
11	Orizzontamenti di qualsiasi tipo mal collegati alle pareti	☒ 10%	☐	☐
12	Mancanza di connessione della parete alla copertura	☒ 95%	☐	☐
13	Fondazione inadeguata a sostenere l'incremento di carico verticale dovuto al sisma	☒ 100%	☐	☐
14	Presenza di piccoli corpi aggiunti di differente rigidezza e/o con collegamenti localizzati	☒ 15%	☐	☐
15	Presenza di piani sfalsati anche rispetto ad edifici contigui nell'aggregato	☐ ___%	☒	☐

SEZIONE 3.2 Altre informazioni

a. Copertura		Tipo	
	Forma	Leggera (1)	Pesante (2)
1	Singola falda	○	○
2	Falde inclinate	⊠	○
3	Terrazzo praticabile	○	○
4	Terrazzo non praticabile	○	○
5	Volte	○	○

Materiale	
Legno	⊠
Acciaio	○
Cemento Armato	○
Muratura	○

Spingente	SI ⊠	NO ○

b. Aperture in facciata *(% sulla superficie della facciata)*	
< 10 %	○
10/19 %	○
20/29 %	⊠
30/50 %	○
> 50%	○

c. Regolarità	
Pianta	**Elevazione**
○ Regolare (1)	○ Regolare (1)
⊠ Mediamente regolare (2)	⊠ Mediamente regolare (2)
○ Irregolare (3)	○ Irregolare (3)

d. Interventi strutturali della tipologia		
1 - Anno		⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋
2 - Interventi tipici	⊠	A. Interventi locali
	○	B. Miglioramento sismico
	○	C. Adeguamento sismico
3 - Diffusione percentuale di miglioramento		⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]

e. Aperture Piano terra (PT) *(% sulla superficie della facciata al PT)*	
< 10 %	○
10/19 %	⊠
20/29 %	○
30/50 %	○
> 50%	○

f. Conservazione		Scadente	Buono
1	Stato di conservazione d'insieme	○	⊠
2	Stato di conservazione strutture verticali	○	⊠
3	Stato di conservazione strutture orizzontali	○	⊠
4	Stato di conservazione elementi non strutturali	○	⊠

g. Tipologia scale	
A - Scale a soletta rampante	⊠
B - Scale con travi a ginocchio e gradini a sbalzo	○
D - Scale con gradini a sbalzo	○
E - Scale in legno	○
F - Scale su volta rampante	○

h. ELEMENTI NON STRUTTURALI VULNERABILI *(elementi a tipologia vulnerabile e/o in cattive condizioni)*			
1	Tramezzi non strutturali (forati, etc.)	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
2	Manto di copertura tipico (tegole, coppi)	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
3	Comignoli ed altri aggetti verticali	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
4	Balconi (in muratura, acciaio, c.a., etc.) CA	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
5	Cornicioni (muratura, scarsa qualità ancoraggi, etc.)	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
6	Parapetti (in muratura, c.a. etc.)	☒	⌊_⌋⌊3⌋⌊0⌋ [%]
7	Controsoffitti leggeri	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
8	Controsoffitti pesanti	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
9	False volte pesanti (mattoni in foglio)	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
10	False volte leggere (incannucciata)	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]

NOTE

IDT 0 1 0 0 1 2 5 6 C 0 3 M U R 1

Sezione 3.1 A - c. Presenza di catene o cordoli
La percentuale definita in questa sezione tiene conto anche degli edifici in cui i cordoli di piano sono presenti in corrispondenza di tutti gli orizzontamenti, ma non in sommità.

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

CARTIS 2014

Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica

SEZIONE 1: Identificazione Tipologia

a. CODICE TIPOLOGIA

○ MUR 1	○ MUR 2	○ MUR 3	○ MUR 4	⊗ CAR 1	○ CAR 2	○ CAR 3	○ CAR 4

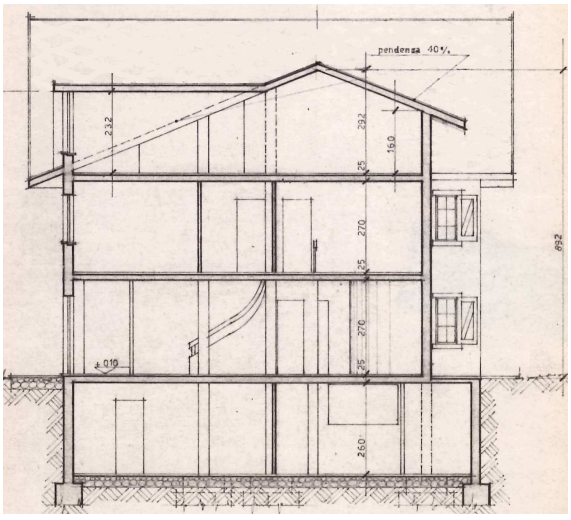
b. CODICE IDENTIFICATIVO DELLA TIPOLOGIA NEL COMPARTO (IDT)

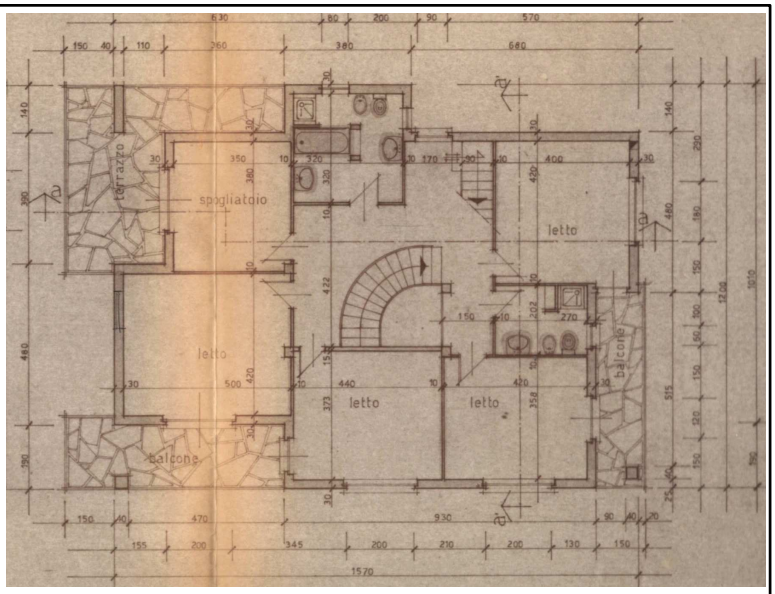
011	01011	21516	C103	CLAR1
Codice ISTAT Regione	Codice ISTAT Provincia	Codice ISTAT Comune	Codice Comparto	Codice Tipologia

c. POSIZIONE TIPOLOGIA NEL CONTESTO URBANO	ISOLATA ~~IN AGGREGATO~~	IN AGGREGATO	
		10%	
		In adiacenza (strutture staticamente indipendenti)	*In connessione* (strutture interagenti)
	90%	___%	___%

d. FOTOGRAFIA TIPOLOGIA

d. PIANTA E SEZIONE





SEZIONE 2: Caratteristiche generali

DATI METRICI

a. Piani totali compresi interrati [N°] (max 2)	☐ 1 ☐ 4 ☐ 7 ☐ 10 ☒ 2 ☒ 5 ☐ 8 ☐ 11 ☐ 3 ☐ 6 ☐ 9 ☐ ≥12
b. Altezza media di piano [m]	1 ○ ≤ 2.50 3 ○ 3.50 ÷ 5.00 2 ⊗ 2.50 ÷ 3.49 4 ○ > 5.00
c. Altezza media di piano terra [m]	1 ○ ≤ 2.50 3 ○ 3.50 ÷ 5.00 2 ⊗ 2.50 ÷ 3.49 4 ○ > 5.00
d. Piani interrati [N°]	A ○ 0 B ⊗ 1 C ○ 2 D ○ ≥ 3
e. Superficie media di piano [m^2] (max 2)	A ☐ 50 E ☐ 170 I ☐ 500 O ☐ 1600 B ☐ 70 F ☐ 230 L ☐ 650 P ☐ 2200 C ☐ 100 G ☒ 300 M ☐ 900 Q ☐ 3000 D ☒ 130 H ☐ 400 N ☐ 1200 R ☐ > 3000
f. Età della costruzione	1 ○ ≤ 1860 8 ○ 82 ÷ 86 2 ○ 1861 - 19 9 ○ 87 ÷ 91 3 ○ 19 ÷ 45 10 ○ 92 ÷ 96 4 ⊗ 46 ÷ 61 11 ○ 97 ÷ 01 5 ○ 62 ÷ 71 12 ○ 02 ÷ 08 6 ○ 72 ÷ 75 13 ○ 09 ÷ 11 7 ⊗ 76 ÷ 81 14 ○ ≥ 2011
g. Uso prevalente	A ☒ Abitativo B ☐ Produttivo C ☐ Commercio D ☐ Uffici D ☐ Servizi pubblici D ☐ Deposito D ☐ Strategico D ☐ Turistico - ricettivo

SEZIONE 3.1 B **Caratterizzazione tipologica CEMENTO ARMATO** *(da compilare in alternativa alla Sezione 3.1 A)*

IDT 0 1 0 0 1 2 5 6 C 0 3 C A R 1

a. Qualifica Cemento Armato		
A	Prevalenza di telai tamponati con murature consistenti *(senza grosse aperture, di materiali resistenti e ben organizzate)*	○
B	Prevalenza di telai con travi alte e tamponature poco consistentI *(con aperture di grosse dimensioni e diffuse, materiali poco resistenti)*	○
C	Prevalenza di telai con travi in spessore di solaio e tamponature poco consistenti o assenti	⊗
D	Prevalenza di telai con travi alte sul perimetro con tamponature poco consistenti o assenti e travi in spessore di solaio all'interno	○
E	Presenza contemporanea di telai con travi alte e nuclei in c.a. interni	○
F	Prevalenza di setti	○

b. Giunti di separazione	1) Giunti a norma ○	2) Giunti fuori norma ⊗	% nella tipologia 2 0 [%]

c. Bow windows strutturali			% nella tipologia 5 [%]
1) Assenza di Bow windows ○	2) Bow windows inferiori a 1,5m ⊗	3) Bow windows superiori a 1,5m ○	

d. Telai in una sola direzione	SI ⊗	NO ○	% nella tipologia [%]

e. Elementi tozzi			% nella tipologia 3 [%]
A - Assenti	○	B - Travi a ginocchio/piani sfalsati	⊗
C - Per finestre a nastro	○	D - Per altre cause	○

f. Tamponature Piano Terra		
A - Disposizione regolare ○	B - Disposizione irregolare ⊗	C - Assente ○
Piano soffice piani intermedi	SI ○	NO ⊗

g. Posizione dellatamponatura rispetto al telaio			
1 - Tamponatura inserita nel telaio	☒	2 - Tamponatura non inserita nel telaio	☐
3 - Pilastri arretrati	☒	4 - Cortina esterna non inserita nel telaio	☐

h. Dimensione pilastri piano terra			% nella tipologia [%]
1) Dimensione media < 25cm ○	2) Dimensione media 25/45cm ⊗	3) Dimensione media > 45cm ○	

i. Armature pilastri			
1	Armatura longitudinale	0 6 [%]	
2	Interasse staffe pilastri	3 3 [cm]	
3	Diametro staffe pilastri	6 [mm]	
4	Lunghezza d'ancoraggio	[Φ]	
5	Tipo armature ○ Liscia	⊗ Aderenza migliorata	

j. Maglia strutturale		
1	Interasse medio tra pilastri < 4,5m	○
2	Interasse medio tra pilastri 4,5/6m	⊗
3	Interasse medio tra pilastri > 6m	○

k. Presenza solai SAP o Assimilabili	○ SI [%]	⊗ NO

SEZIONE 3.2 Altre informazioni

a. Copertura		Tipo	
	Forma	Leggera (1)	Pesante (2)
1	Singola falda	○	○
2	Falde inclinate	○	⊠
3	Terrazzo praticabile	○	○
4	Terrazzo non praticabile	○	○
5	Volte	○	○

Materiale	
Legno	⊠
Acciaio	○
Cemento Armato	⊠
Muratura	○

Spingente	SI ⊠	NO ○

b. Aperture in facciata *(% sulla superficie della facciata)*	
< 10 %	○
10/19 %	○
20/29 %	⊠
30/50 %	○
> 50%	○

c. Regolarità	
Pianta	**Elevazione**
○ Regolare (1)	○ Regolare (1)
⊠ Mediamente regolare (2)	⊠ Mediamente regolare (2)
○ Irregolare (3)	○ Irregolare (3)

d. Interventi strutturali della tipologia	
1 - Anno	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋
2 - Interventi tipici	○ A. Interventi locali
	○ B. Miglioramento sismico
	○ C. Adeguamento sismico
3 - Diffusione percentuale di miglioramento	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]

e. Aperture Piano terra (PT) *(% sulla superficie della facciata al PT)*	
< 10 %	○
10/19 %	○
20/29 %	⊠
30/50 %	○
> 50%	○

f. Conservazione		Scadente	Buono
1	Stato di conservazione d'insieme	○	⊠
2	Stato di conservazione strutture verticali	○	⊠
3	Stato di conservazione strutture orizzontali	○	⊠
4	Stato di conservazione elementi non strutturali	○	⊠

g. Tipologia scale	
A - Scale a soletta rampante	⊠
B - Scale con travi a ginocchio e gradini a sbalzo	○
D - Scale con gradini a sbalzo	○
E - Scale in legno	○
F - Scale su volta rampante	○

h. ELEMENTI NON STRUTTURALI VULNERABILI *(elementi a tipologia vulnerabile e/o in cattive condizioni)*			
1	Tramezzi non strutturali (forati, etc.)	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
2	Manto di copertura tipico (tegole, coppi)	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
3	Comignoli ed altri aggetti verticali	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
4	Balconi (in muratura, acciaio, c.a., etc.)	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
5	Cornicioni (muratura, scarsa qualità ancoraggi, etc.)	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
6	Parapetti (in muratura, c.a. etc.)	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
7	Controsoffitti leggeri	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
8	Controsoffitti pesanti	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
9	False volte pesanti (mattoni in foglio)	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
10	False volte leggere (incannucciata)	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]

NOTE

IDT 0 1 0 0 1 2 5 6 C 0 3 C A R 1

SEZIONE 1: Identificazione Tipologia

a. CODICE TIPOLOGIA

○ MUR 1	○ MUR 2	○ MUR 3	○ MUR 4	○ CAR 1	⊗ CAR 2	○ CAR 3	○ CAR 4

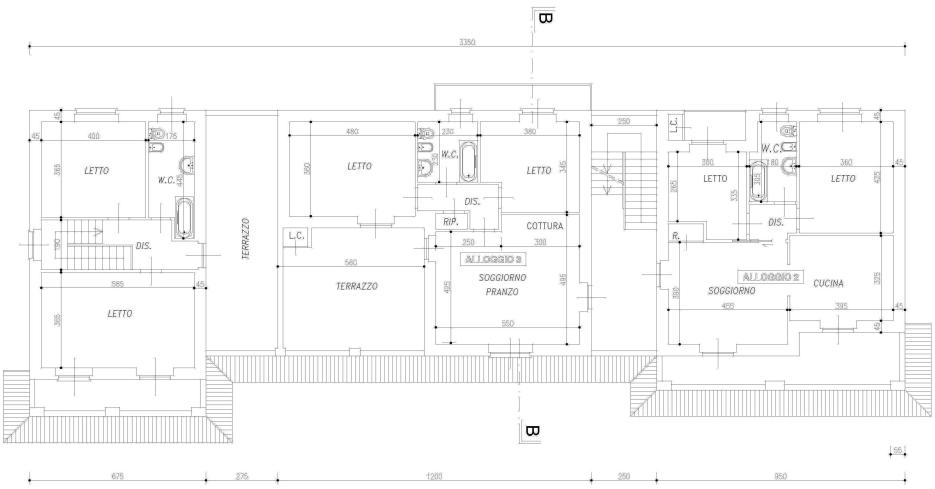
b. CODICE IDENTIFICATIVO DELLA TIPOLOGIA NEL COMPARTO (IDT)

0 1	0 0 1	2 5 6	C 0 3	C A R 2
Codice ISTAT Regione	Codice ISTAT Provincia	Codice ISTAT Comune	Codice Comparto	Codice Tipologia

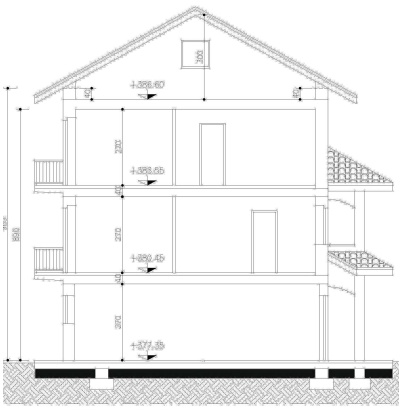
c. POSIZIONE TIPOLOGIA NEL CONTESTO URBANO	ISOLATA ~~IN AGGREGATO~~	IN AGGREGATO	
		☐☐5%	
	Bassi fabbricati	*In adiacenza* (strutture staticamente indipendenti)	*In connessione* (strutture interagenti)
	☐9 5%	☐☐☐%	☐☐☐%

d. FOTOGRAFIA TIPOLOGIA

d. PIANTA E SEZIONE



PIANTA PIANO PRIMO



SEZIONE B–B autorizzata

SEZIONE 2: Caratteristiche generali

DATI METRICI

a. Piani totali compresi interrati [N°] (max 2)	☐ 1 ☐ 4 ☐ 7 ☐ 10 ☒ 2 ☐ 5 ☐ 8 ☐ 11 ☒ 3 ☐ 6 ☐ 9 ☐ ≥12
b. Altezza media di piano [m]	1 ○ ≤ 2.50 3 ○ 3.50 ÷ 5.00 2 ⊗ 2.50 ÷ 3.49 4 ○ > 5.00
c. Altezza media di piano terra [m]	1 ○ ≤ 2.50 3 ○ 3.50 ÷ 5.00 2 ⊗ 2.50 ÷ 3.49 4 ○ > 5.00
d. Piani interrati [N°]	A ⊗ 0 B ○ 1 C ○ 2 D ○ ≥ 3
e. Superficie media di piano [m^2] (max 2)	A ☐ 50 E ☐ 170 I ☐ 500 O ☐ 1600 B ☐ 70 F ☐ 230 L ☐ 650 P ☐ 2200 C ☐ 100 G ☒ 300 M ☐ 900 Q ☐ 3000 D ☒ 130 H ☐ 400 N ☐ 1200 R ☐ > 3000
f. Età della costruzione	1 ○ ≤ 1860 8 ⊗ 82 ÷ 86 2 ○ 1861 - 19 9 ○ 87 ÷ 91 3 ○ 19 ÷ 45 10 ○ 92 ÷ 96 4 ○ 46 ÷ 61 11 ○ 97 ÷ 01 5 ○ 62 ÷ 71 12 ○ 02 ÷ 08 6 ○ 72 ÷ 75 13 ○ 09 ÷ 11 7 ○ 76 ÷ 81 14 ⊗ ≥ 2011
g. Uso prevalente	A ☒ Abitativo B ☐ Produttivo C ☐ Commercio D ☐ Uffici D ☐ Servizi pubblici D ☐ Deposito D ☐ Strategico D ☐ Turistico - ricettivo

SEZIONE 3.1 B | **Caratterizzazione tipologica CEMENTO ARMATO** *(da compilare in alternativa alla Sezione 3.1 A)*

IDT 0 1 0 0 1 2 5 6 C 0 3 C A R 2

a. Qualifica Cemento Armato

A	Prevalenza di telai tamponati con murature consistenti *(senza grosse aperture, di materiali resistenti e ben organizzate)*	○
B	Prevalenza di telai con travi alte e tamponature poco consistentI *(con aperture di grosse dimensioni e diffuse, materiali poco resistenti)*	○
C	Prevalenza di telai con travi in spessore di solaio e tamponature poco consistenti o assenti	⊗
D	Prevalenza di telai con travi alte sul perimetro con tamponature poco consistenti o assenti e travi in spessore di solaio all'interno	○
E	Presenza contemporanea di telai con travi alte e nuclei in c.a. interni	○
F	Prevalenza di setti	○

b. Giunti di separazione 1) Giunti a norma ⊗ | 2) Giunti fuori norma ○ | % nella tipologia 1 0 0 [%]

c. Bow windows strutturali | % nella tipologia [%]

1) Assenza di Bow windows ⊗ | 2) Bow windows inferiori a 1,5m ○ | 3) Bow windows superiori a 1,5m ○

d. Telai in una sola direzione SI ○ | NO ⊗ | % nella tipologia [%]

e. Elementi tozzi | % nella tipologia [%]

? A - Assenti ⊗ | B - Travi a ginocchio/piani sfalsati ○

C - Per finestre a nastro ○ | D - Per altre cause ○

f. Tamponature Piano Terra

A - Disposizione regolare ○ | B - Disposizione irregolare ⊗ | C - Assente ○

Piano soffice piani intermedi SI ○ NO ⊗

g. Posizione dellatamponatura rispetto al telaio

1 - Tamponatura inserita nel telaio ☒ | 2 - Tamponatura non inserita nel telaio ☐

3 - Pilastri arretrati ☒ | 4 - Cortina esterna non inserita nel telaio ☐

h. Dimensione pilastri piano terra | % nella tipologia [%]

1) Dimensione media < 25cm ○ | 2) Dimensione media 25/45cm ⊗ | 3) Dimensione media > 45cm ○

i. Armature pilastri

1	Armatura longitudinale	1,2 [%]
2	Interasse staffe pilastri	15 [cm]
3	Diametro staffe pilastri	8 [mm]
4	Lunghezza d'ancoraggio	[Φ]
5	Tipo armature ○ Liscia	⊗ Aderenza migliorata

j. Maglia strutturale

1	Interasse medio tra pilastri < 4,5m	○
2	Interasse medio tra pilastri 4,5/6m	⊗
3	Interasse medio tra pilastri > 6m	○

k. Presenza solai SAP o Assimilabili ○ SI [%] | ⊗ NO

SEZIONE 3.2 Altre informazioni

a. Copertura		Tipo	
	Forma	Leggera (1)	Pesante (2)
1	Singola falda	○	○
2	Falde inclinate	○	⊠
3	Terrazzo praticabile	○	○
4	Terrazzo non praticabile	○	○
5	Volte	○	○

Materiale	
Legno	○
Acciaio	○
Cemento Armato	⊠
Muratura	○

Spingente	SI	NO
	○	⊠

b. Aperture in facciata *(% sulla superficie della facciata)*	
< 10 %	○
10/19 %	○
20/29 %	⊠
30/50 %	○
> 50%	○

c. Regolarità	
Pianta	**Elevazione**
○ Regolare (1)	○ Regolare (1)
⊠ Mediamente regolare (2)	⊠ Mediamente regolare (2)
○ Irregolare (3)	○ Irregolare (3)

d. Interventi strutturali della tipologia		
1 - Anno		⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋
2 - Interventi tipici	○	A. Interventi locali
	○	B. Miglioramento sismico
	○	C. Adeguamento sismico
3 - Diffusione percentuale di miglioramento		⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]

e. Aperture Piano terra (PT) *(% sulla superficie della facciata al PT)*	
< 10 %	○
10/19 %	○
20/29 %	⊠
30/50 %	○
> 50%	○

f. Conservazione		Scadente	Buono
1	Stato di conservazione d'insieme	○	⊠
2	Stato di conservazione strutture verticali	○	⊠
3	Stato di conservazione strutture orizzontali	○	⊠
4	Stato di conservazione elementi non strutturali	○	⊠

g. Tipologia scale	
A - Scale a soletta rampante	⊠
B - Scale con travi a ginocchio e gradini a sbalzo	○
D - Scale con gradini a sbalzo	○
E - Scale in legno	○
F - Scale su volta rampante	○

h. ELEMENTI NON STRUTTURALI VULNERABILI *(elementi a tipologia vulnerabile e/o in cattive condizioni)*			
1	Tramezzi non strutturali (forati, etc.)	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
2	Manto di copertura tipico (tegole, coppi)	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
3	Comignoli ed altri aggetti verticali	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
4	Balconi (in muratura, acciaio, c.a., etc.)	☒	⌊1⌋⌊0⌋⌊0⌋ [%]
5	Cornicioni (muratura, scarsa qualità ancoraggi, etc.)	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
6	Parapetti (in muratura, c.a. etc.)	☒	⌊_⌋⌊_⌋⌊3⌋ [%]
7	Controsoffitti leggeri	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
8	Controsoffitti pesanti	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
9	False volte pesanti (mattoni in foglio)	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]
10	False volte leggere (incannucciata)	☐	⌊_⌋⌊_⌋⌊_⌋ [%]

NOTE

IDT 0 1 0 0 1 2 5 6 C 0 3 C A R 2

ALLEGATO B

Progetto originale - Schemi dei ferri di armatura

B.1 Pianta fondazioni e schemi dei ferri

Oltre alla pianta delle fondazioni, in questa sezione vengono presentati gli schemi dei ferri dei plinti di fondazione, mentre per le suole di fondazione del muro perimetrale e del setto della Scala A si rimanda alle sezioni successive dedicate a tali elementi strutturali.

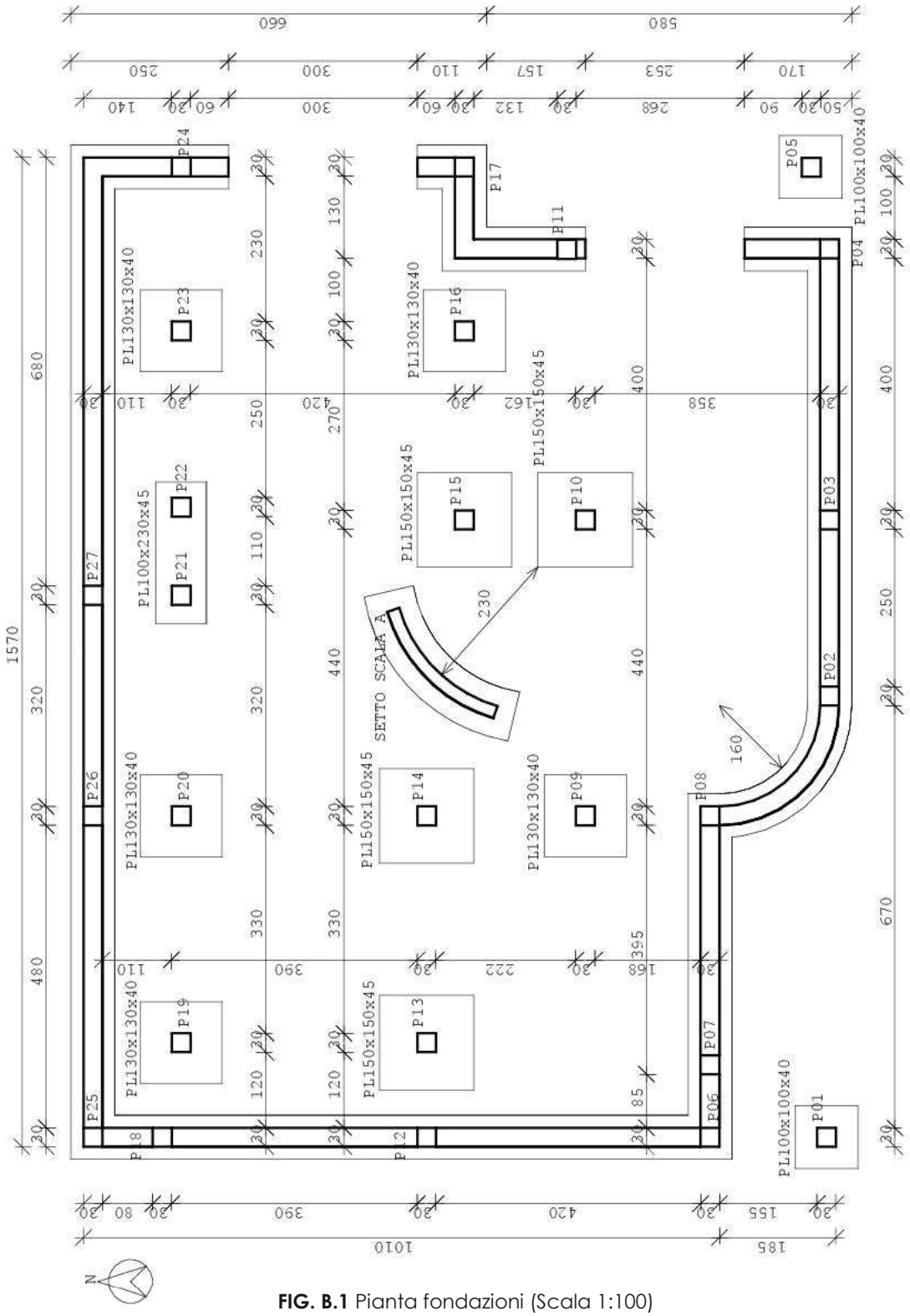


FIG. B.1 Pianta fondazioni (Scala 1:100)

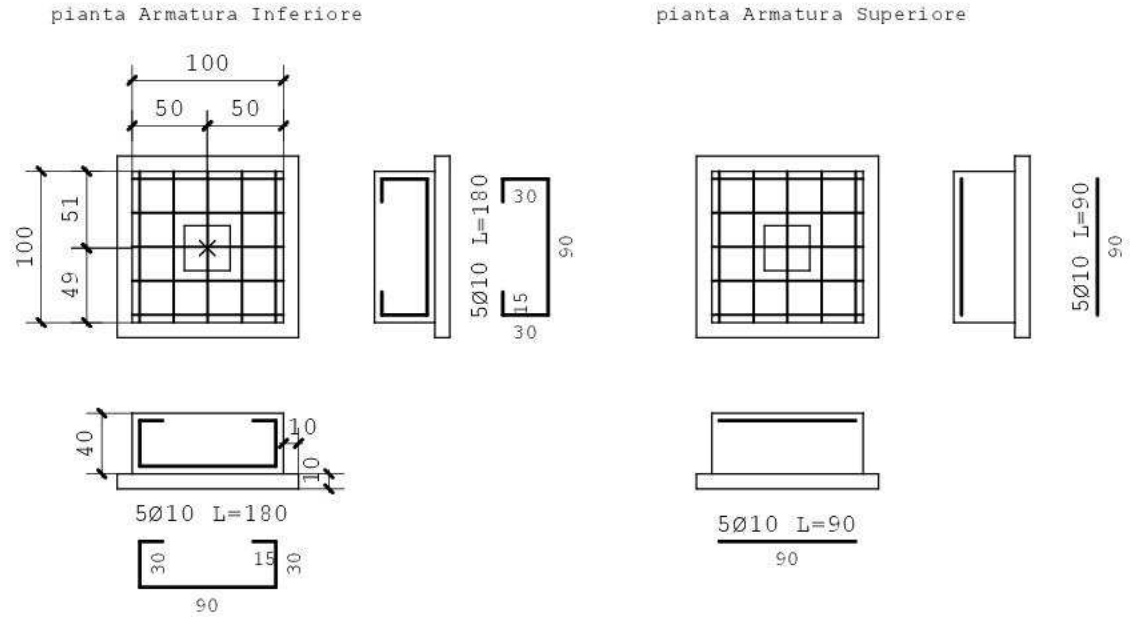


FIG. B.2 Progetto originale – Plinto 100x100: pilastri P01 e P05 (Scala 1:50)

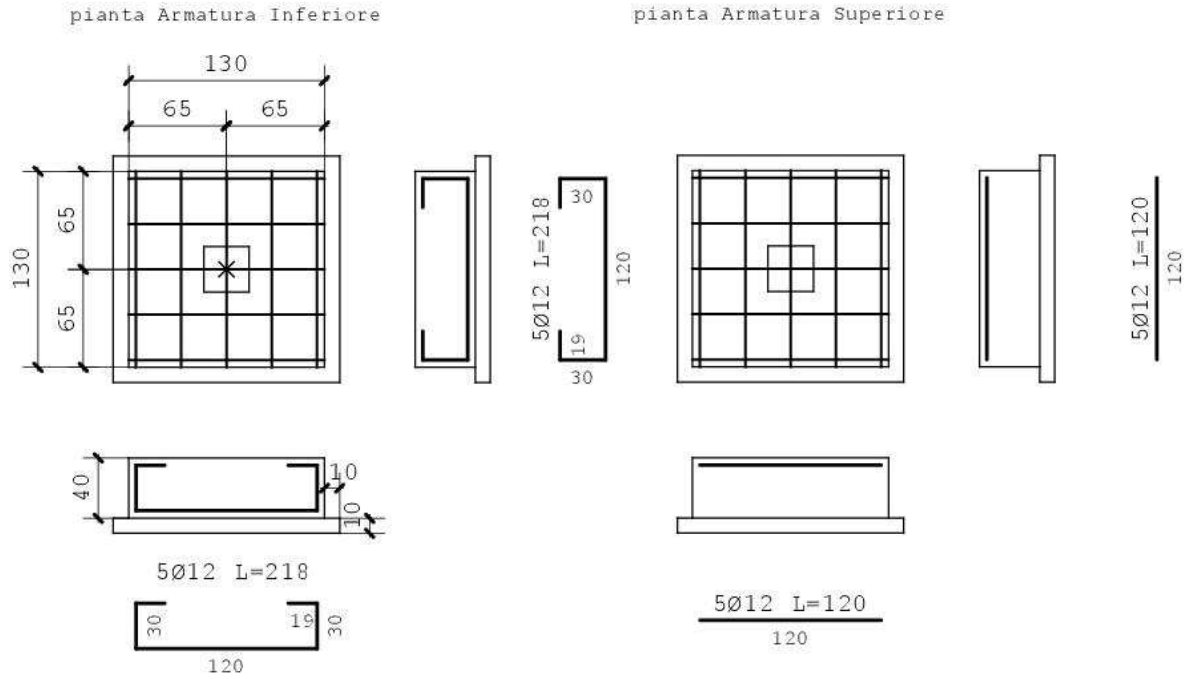


FIG. B.3 Progetto originale – Plinto 130x130: pilastri P09, P16, P19, P20 e P23 (Scala 1:50)

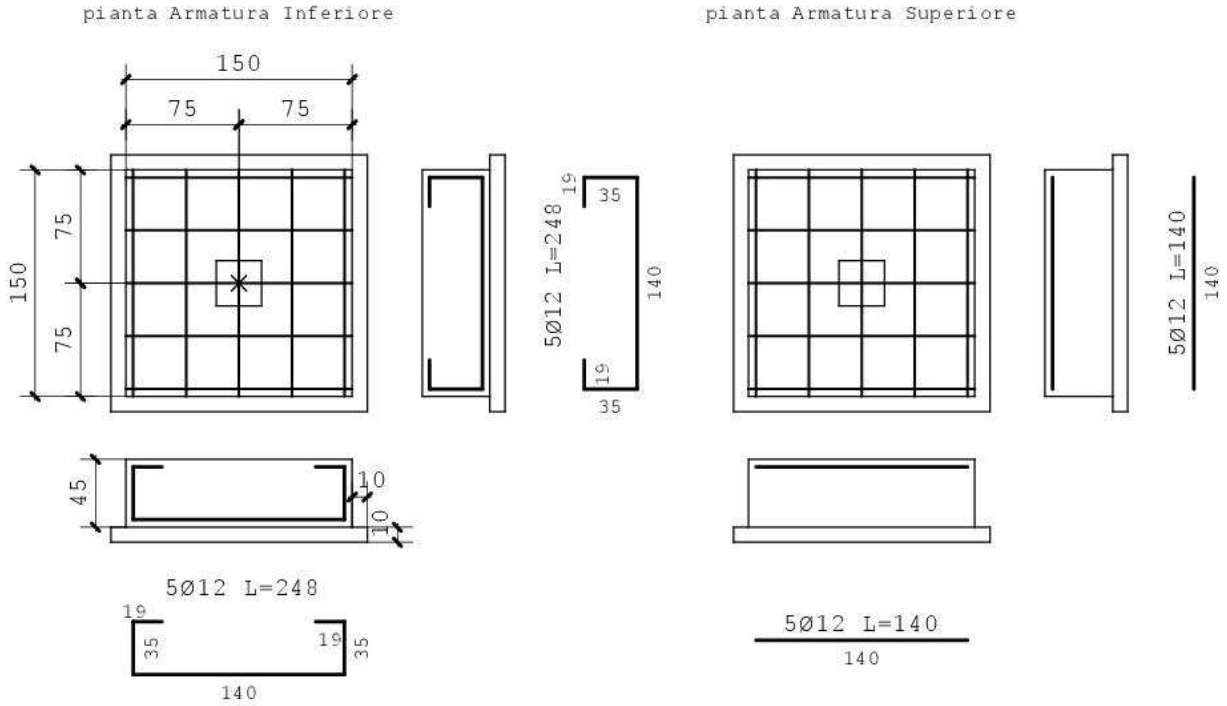


FIG. B.4 Progetto originale – Plinto 150x150: pilastri P09, P10, P13, P14 e P15 (Scala 1:50)

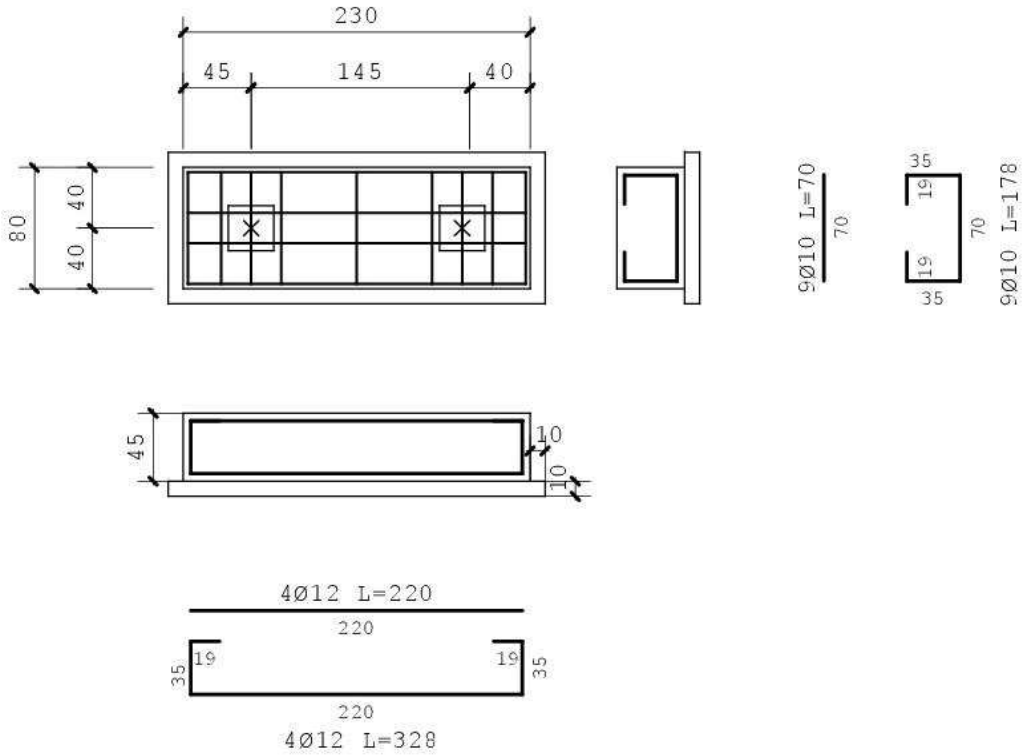
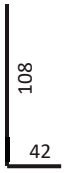
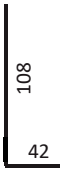
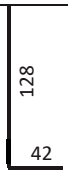
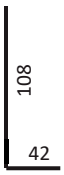
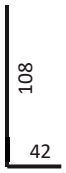
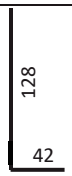
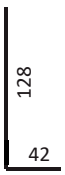
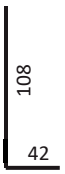
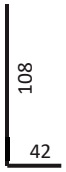
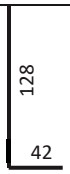
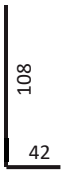
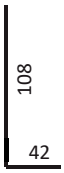
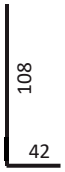


FIG. B.5 Progetto originale – Plinto 230x80: pilastri P21, P22 (Scala 1:50)

B.2 La tabella dei pilastri

PROGETTO ORIGINALE					
PILASTRO	**AGGANCI IN FONDAZIONE**	**1° ORDINE**	**2° ORDINE**	**3° ORDINE**	**4° ORDINE**
P01	4ϕ14 L=170	30X30 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ12 L=300 ST. ϕ6/15	-
P02	 4ϕ14 L=150	30X30 Nel muro 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/50	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ12 L=320 ST. ϕ6/15
P03-P04	 4ϕ14 L=150	30X30 Nel muro 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/50	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 Ferri a proseguire dal 3° ORD. L=100
P05	 4ϕ14 L=170	30X30 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 Ferri a proseguire dal 3° ORD. L=100
P06	4ϕ14 L=150	30X30 Nel muro 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/50	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ12 L=290 ST. ϕ6/15	-
P07-P11	 4 ϕ14 L=150	30X30 Nel muro 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/50	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ12 L=340 ST. ϕ6/15	-
P08	4 ϕ14 L=150	30X30 Nel muro 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/50	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=390 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ12 L=490 ST. ϕ6/15

PROGETTO ORIGINALE					
PILASTRO	**AGGANCI IN FONDAZIONE**	**1° ORDINE**	**2° ORDINE**	**3° ORDINE**	**4° ORDINE**
P09-P10	4 ϕ14 L=170	30X30 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ12 L=340 ST. ϕ6/15	-
P12	 4 ϕ14 L=150	30X30 Nel muro 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/50	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ12 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 Ferri a proseguire dal 3° ORD. L=160
P13	4ϕ14 L=170	30X30 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 Ferri a proseguire dal 3° ORD. L=250
P14-P20	 4 ϕ14 L=170	30X30 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ12 L=510 ST. ϕ6/15
P15-P16	 4ϕ14 L=170	30X30 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ12 L=310 ST. ϕ6/15
P17	 4ϕ14 L=150	30X30 Nel muro 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/50	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ12 L=310 ST. ϕ6/15
P18	 4 ϕ14 L=150	30X30 Nel muro 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/50	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ12 L=380 ST. ϕ6/15	-

PROGETTO ORIGINALE					
PILASTRO	**AGGANCI IN FONDAZIONE**	**1° ORDINE**	**2° ORDINE**	**3° ORDINE**	**4° ORDINE**
P19	 4ϕ14 L=170	30X30 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 Ferri a proseguire dal 3° ORD. L=260
P21-P22-P23	4 ϕ14 L=170	30X30 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=390 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ12 L=240 ST. ϕ6/15
P24	 4 ϕ14 L=150	30X30 Nel muro 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/50	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ12 L=240 ST. ϕ6/15
P25	 4 ϕ14 L=150	30X30 Nel muro 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/50	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ12 L=380 ST. ϕ6/15	-
P26	4 ϕ14 L=150	30X30 Nel muro 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/50	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=390 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ12 L=510 ST. ϕ6/15
P27	 4 ϕ14 L=150	30X30 Nel muro 4ϕ14 L=360 ST. ϕ6/50	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 4ϕ14 L=380 ST. ϕ6/15	30X30 Ferri a proseguire dal 3° ORD. L=170

TAB. B.1 Progetto originale – Tabella Pilastri

A titolo esemplificativo, nella pagina successiva si riportano le sezioni dei pilastri P10 e P15.

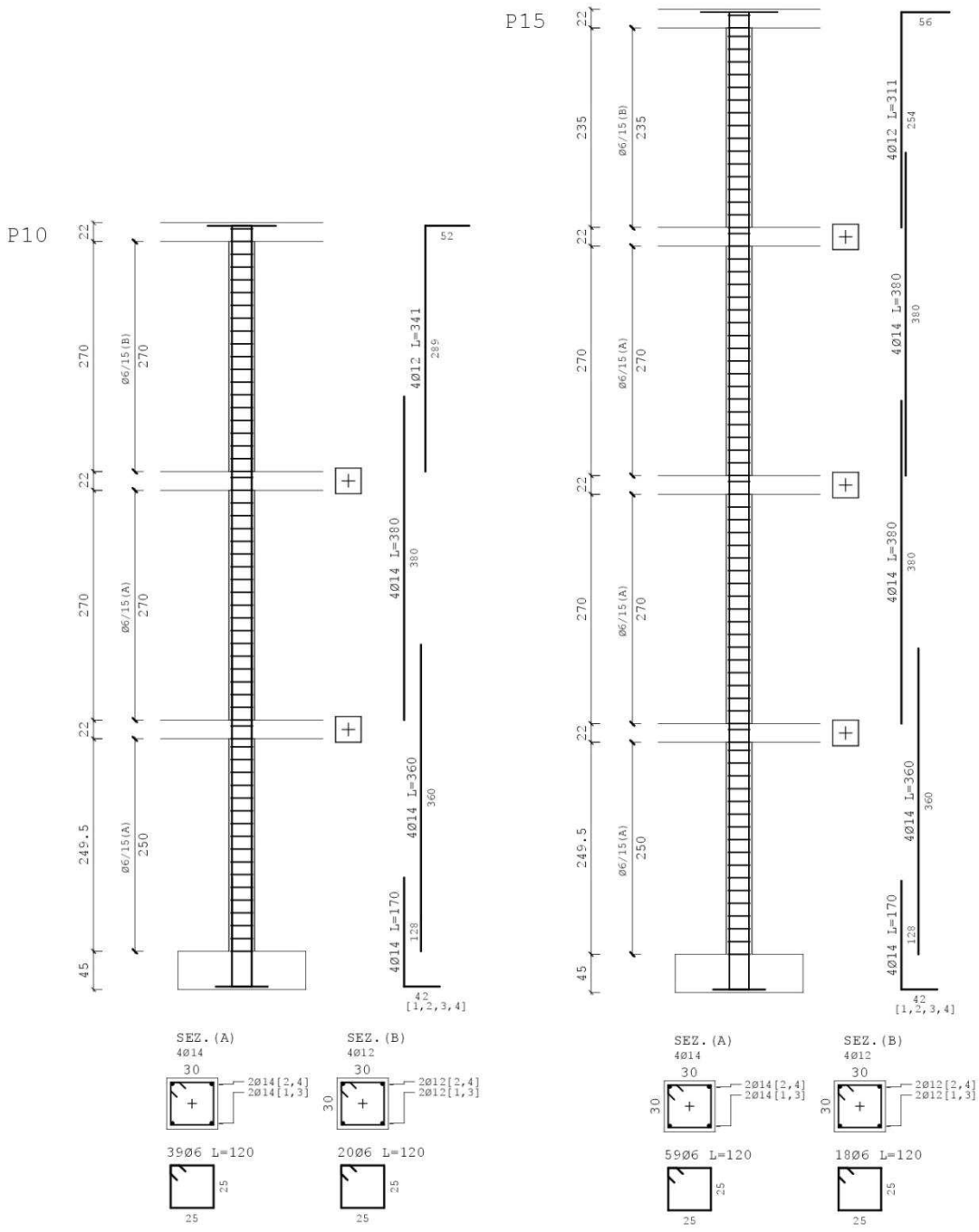


FIG. B.6 Progetto originale – Pilastri P10 e P15 (Disegno fuori scala)

B.3 Pianta primo solaio e schemi dei ferri

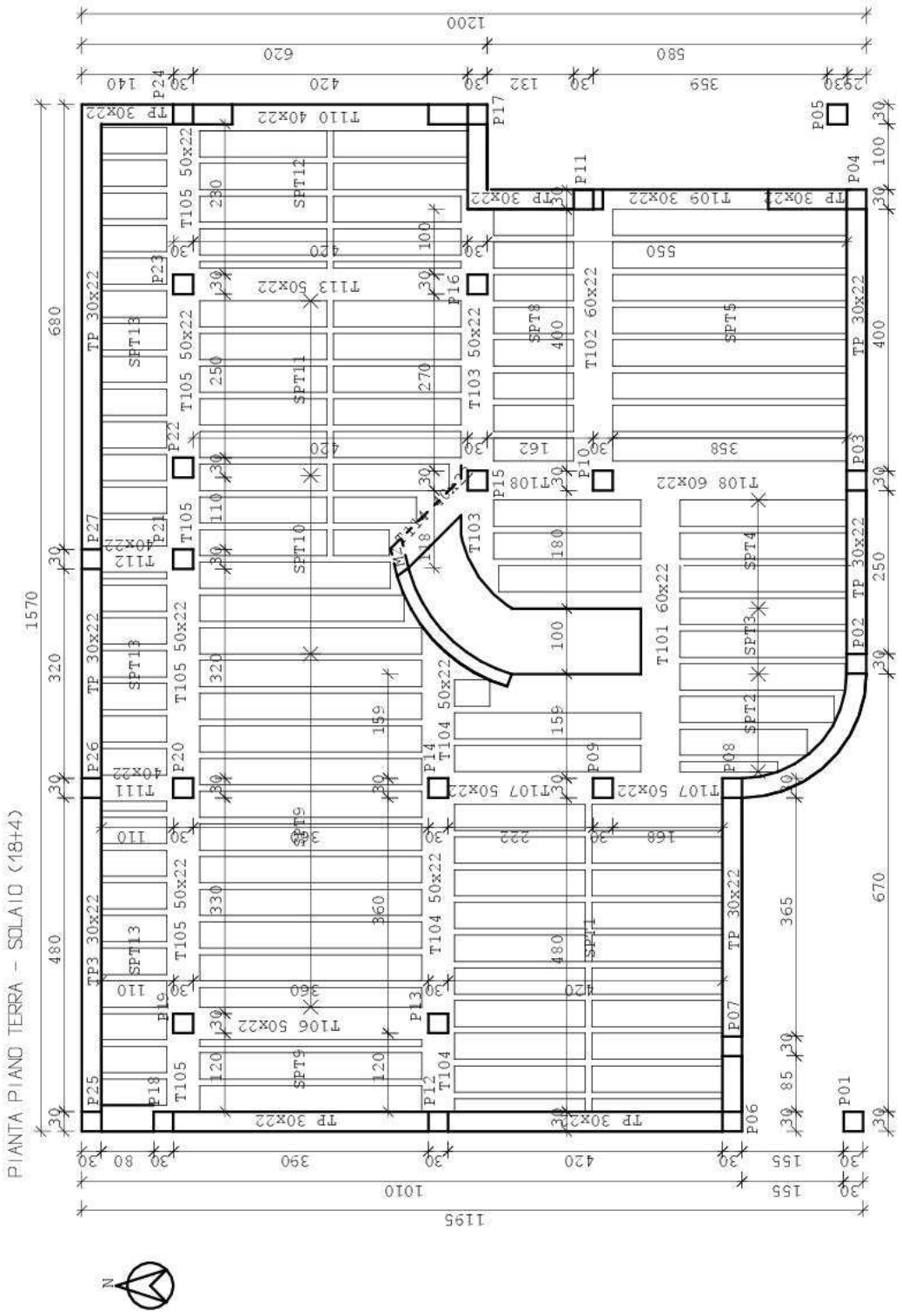


FIG. B.7 Progetto originale – Pianta Piano Terra (Scala 1:100)

La sezione tipo che caratterizza tutti i travetti di solaio è presentata in FIG. B.8. A questa seguono i disegni esecutivi e gli schemi di armatura, così come presentati nelle Tavole originali, sia dei travetti, che delle travi del primo orizzontamento.

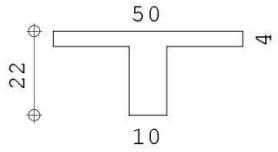


FIG. B.8 Progetto originale – Sezione tipo travetti di solaio(Scala 1:20)

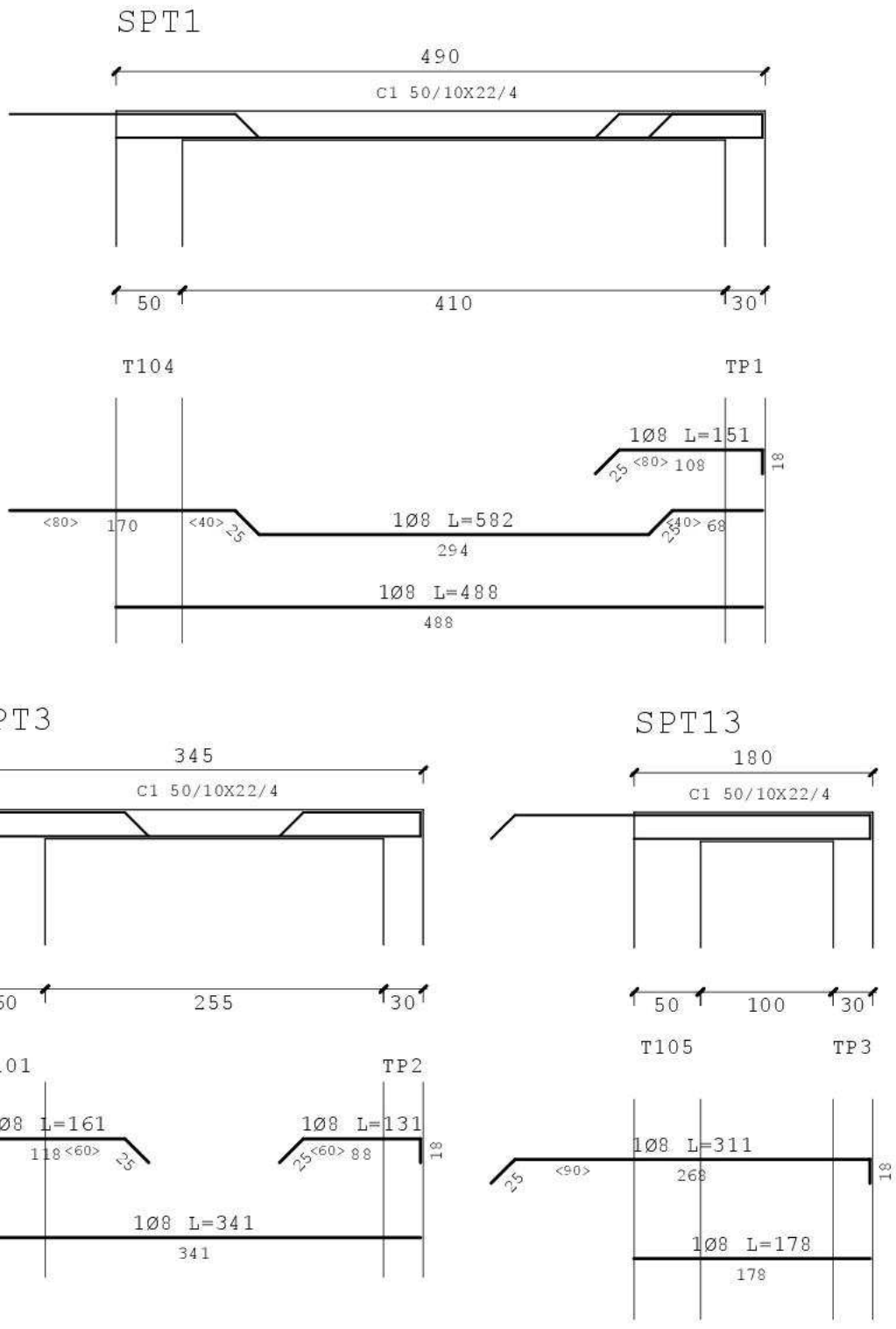


FIG. B.9 Progetto originale – Travetti solaio PT: SPT1, SPT3 e SPT13 (Scala 1:50)

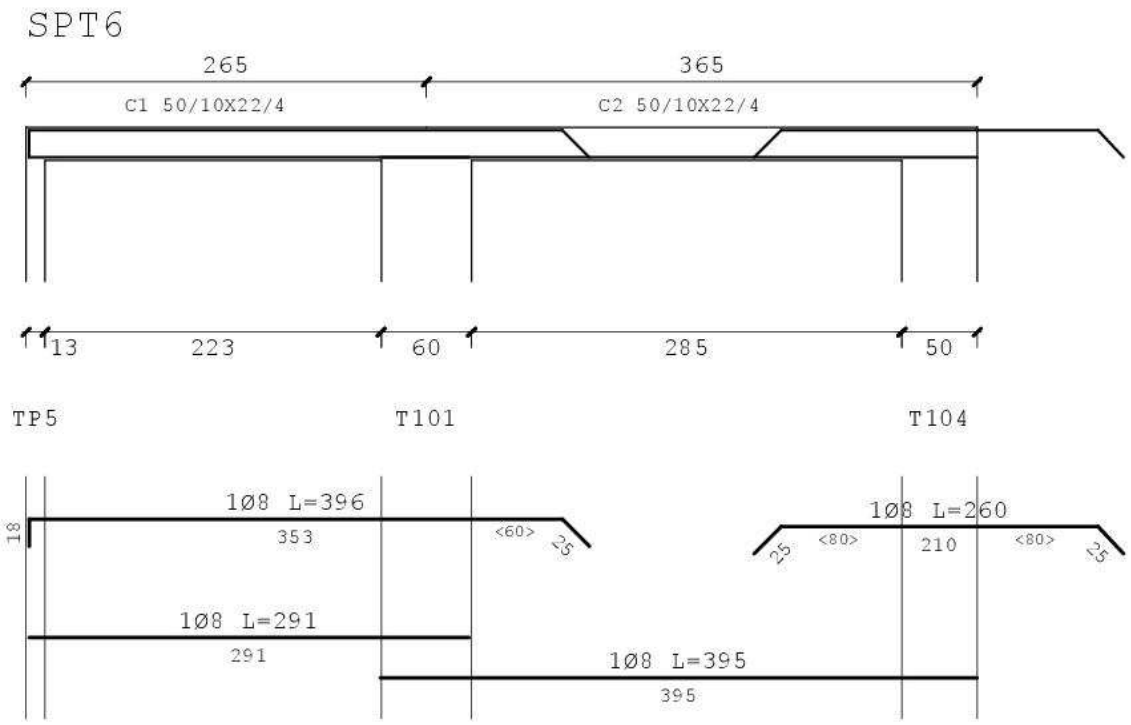


FIG. B.10 Progetto originale – Travetti solaio PT: SPT6-SPT2 (Scala 1:50)

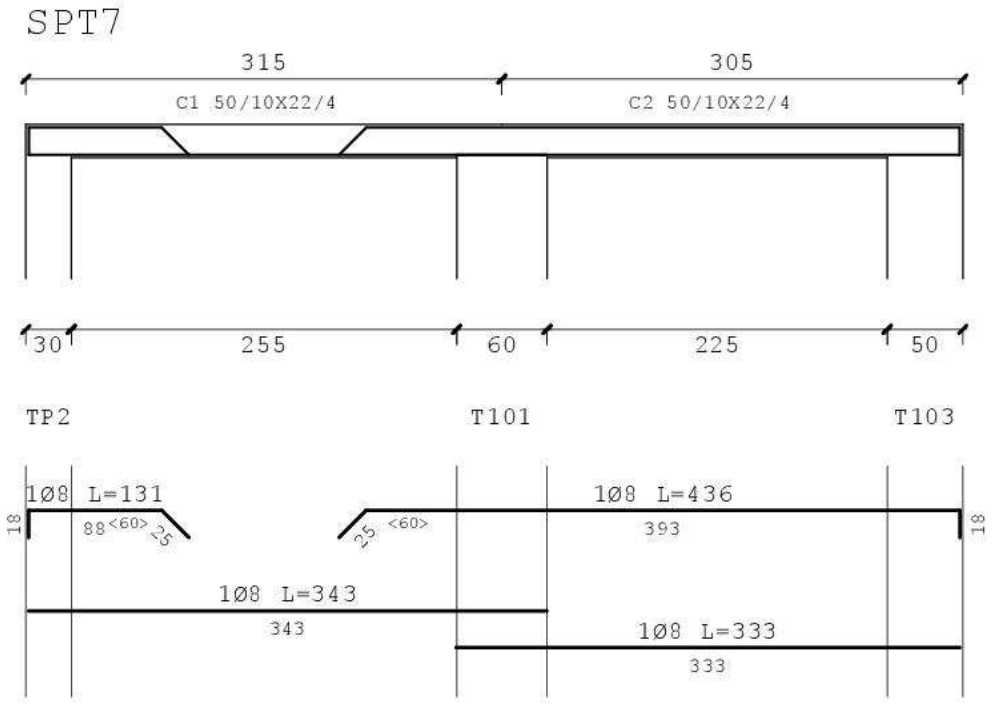


FIG. B.11 Progetto originale – Travetti solaio PT: SPT4-SPT7 (Scala 1:50)

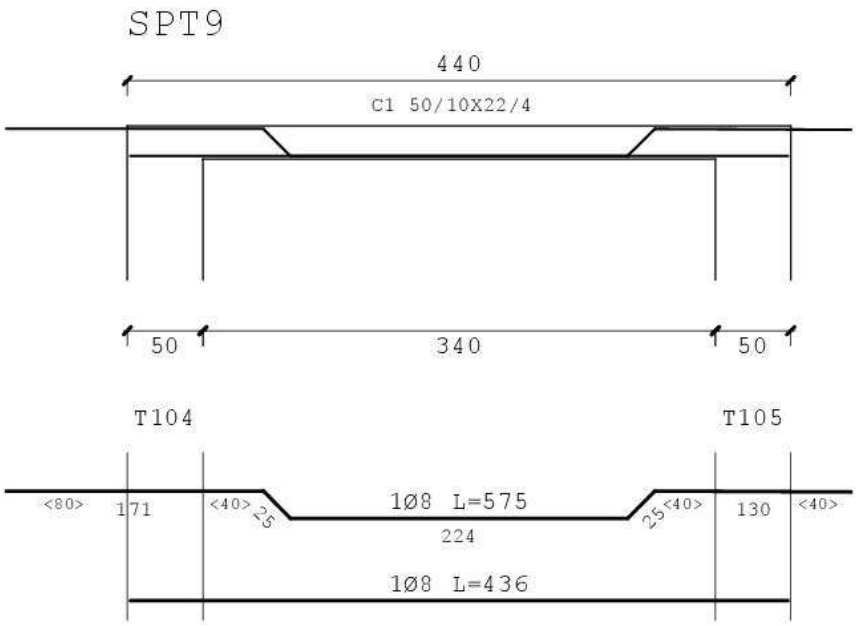


FIG. B.12 Progetto originale – Travetti solaio PT: SPT9 (Scala 1:50)

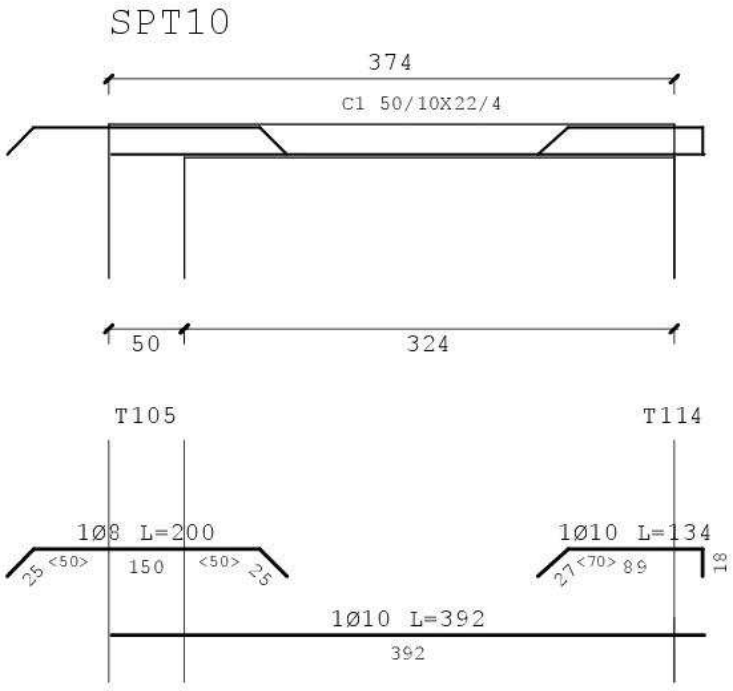


FIG. B.13 Progetto originale – Travetti solaio PT: SPT10 (Scala 1:50)

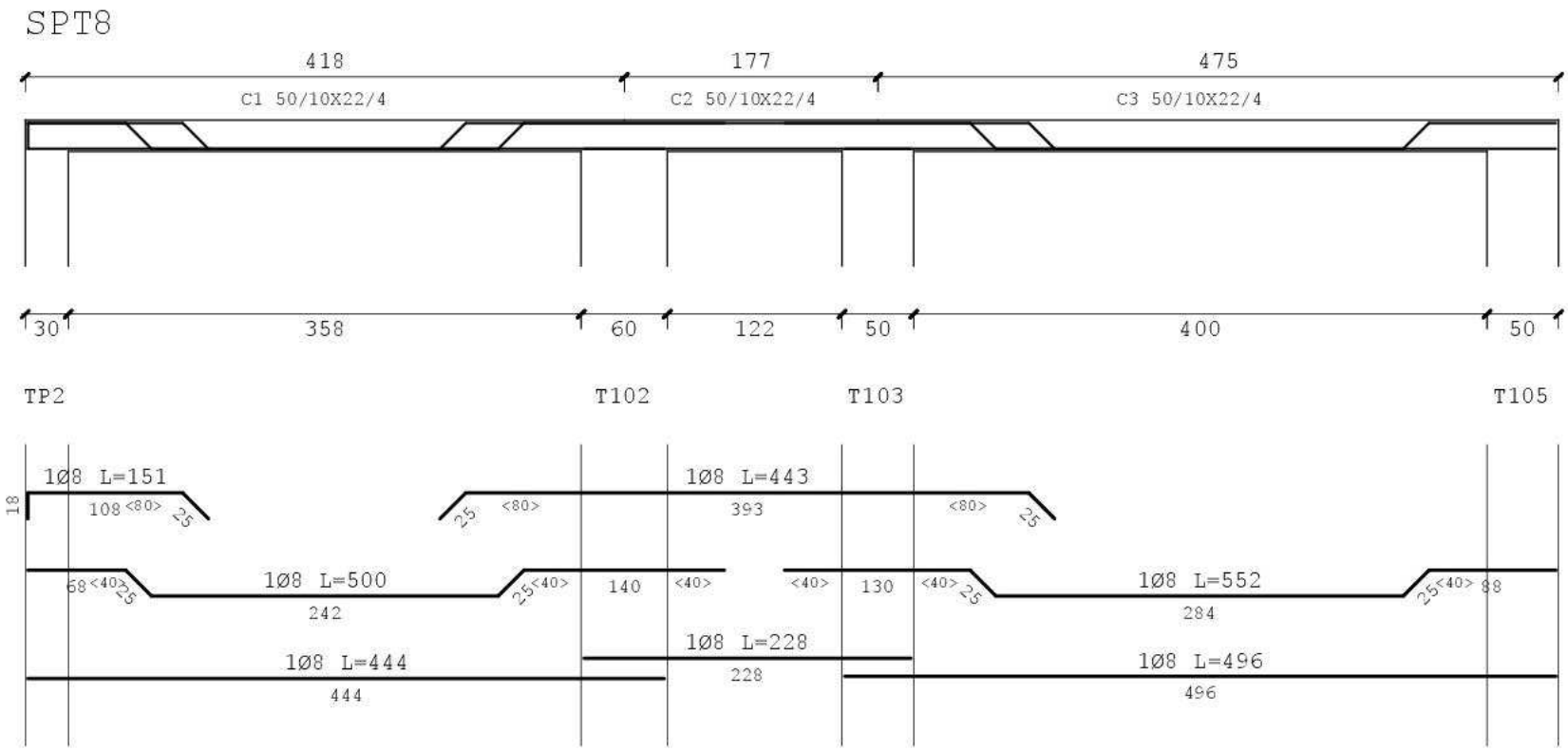


FIG. B.14 Progetto originale – Travetti solaio PT: SPT5-SPT8-SPT11 (Scala 1:50)

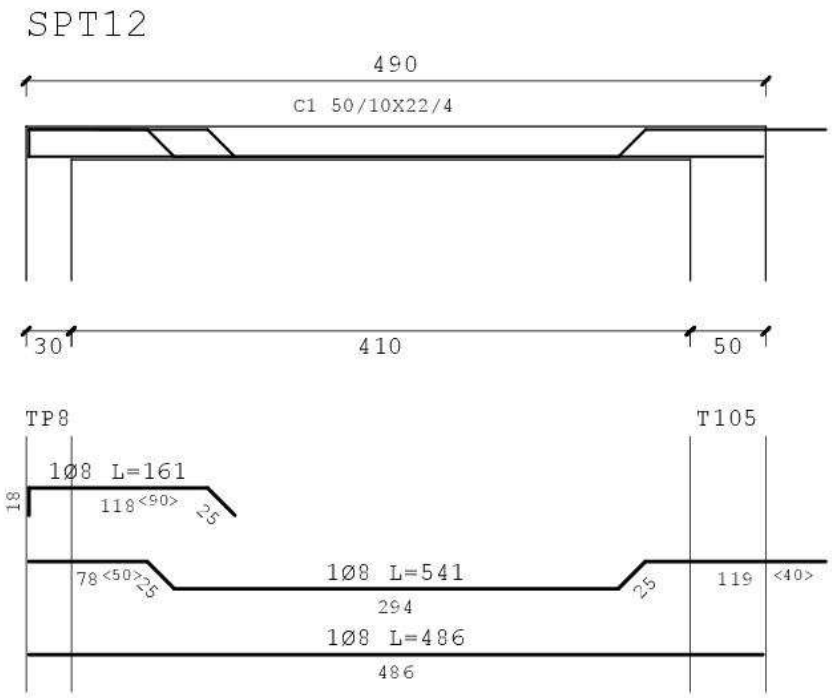


FIG. B.15 Progetto originale – Travetti solaio PT: SPT12 (Scala 1:50)

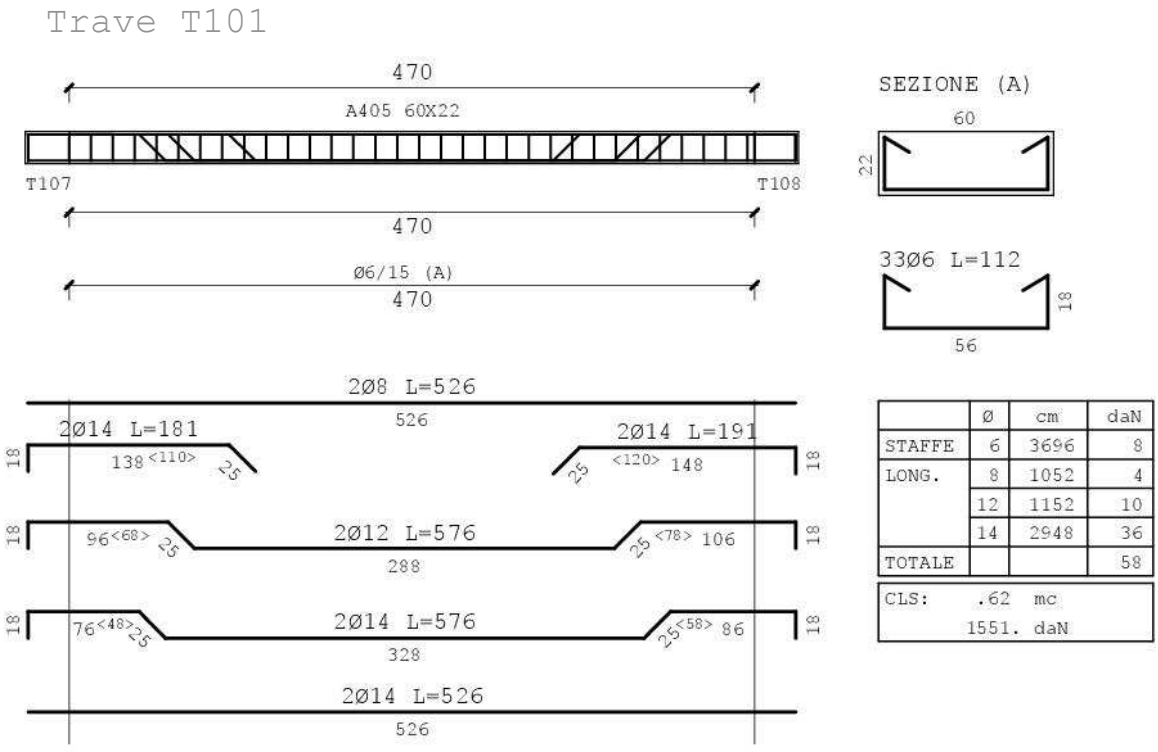
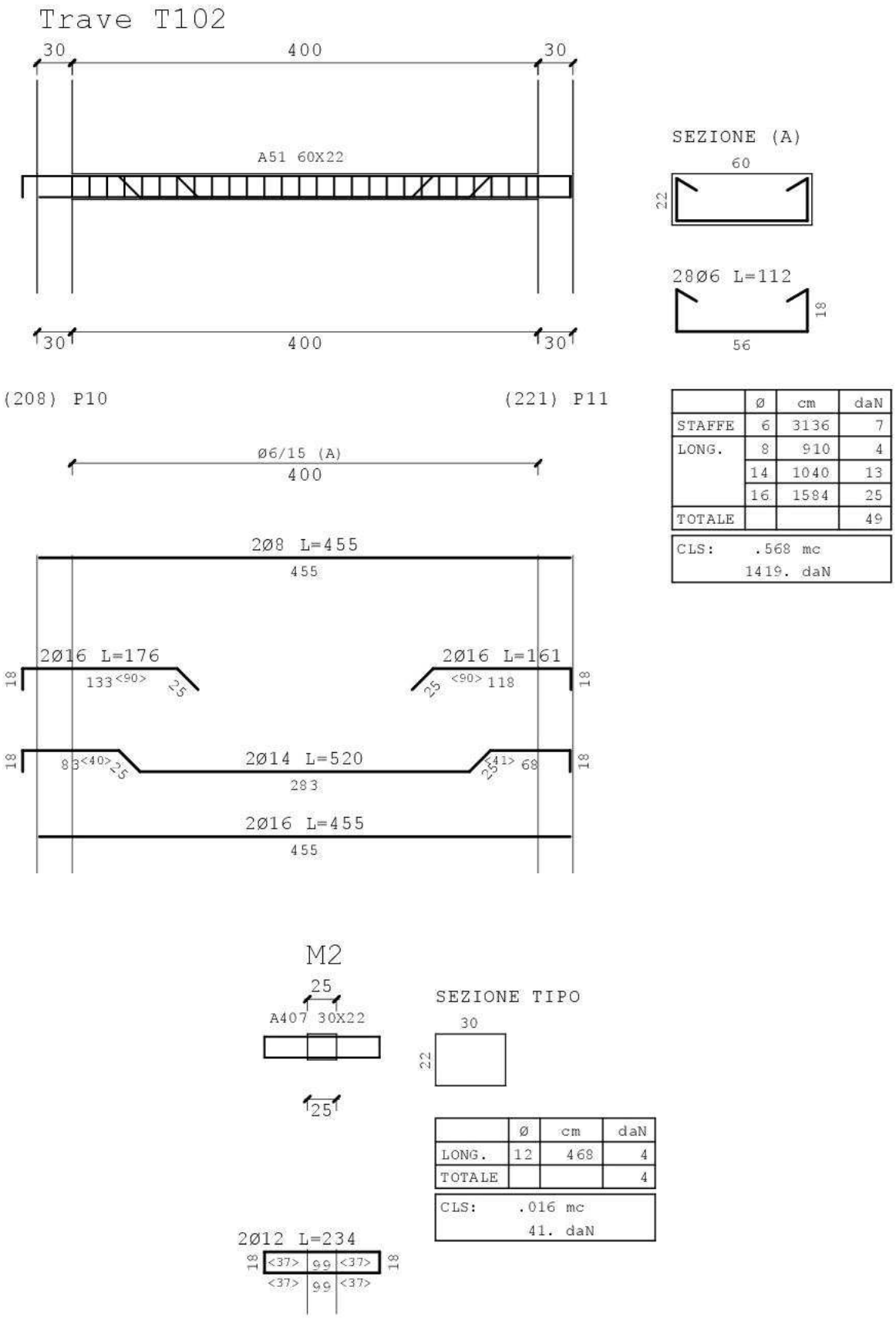


FIG. B.16 Progetto originale – Trave T101 (Scala 1:50)



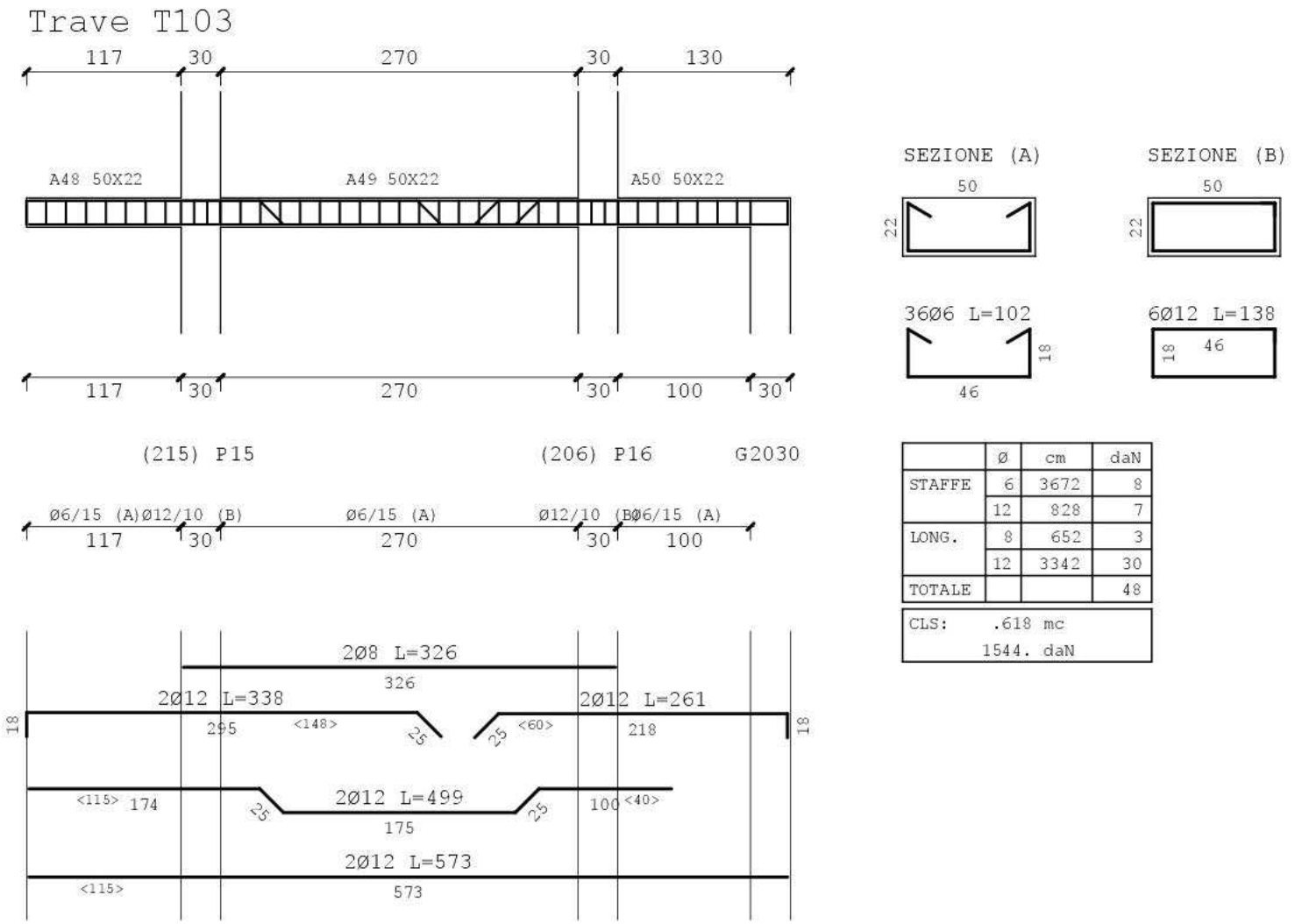
	Ø	cm	daN
STAFFE	6	3136	7
LONG.	8	910	4
	14	1040	13
	16	1584	25
TOTALE			49

CLS: .568 mc
1419. daN

	Ø	cm	daN
LONG.	12	468	4
TOTALE			4

CLS: .016 mc
41. daN

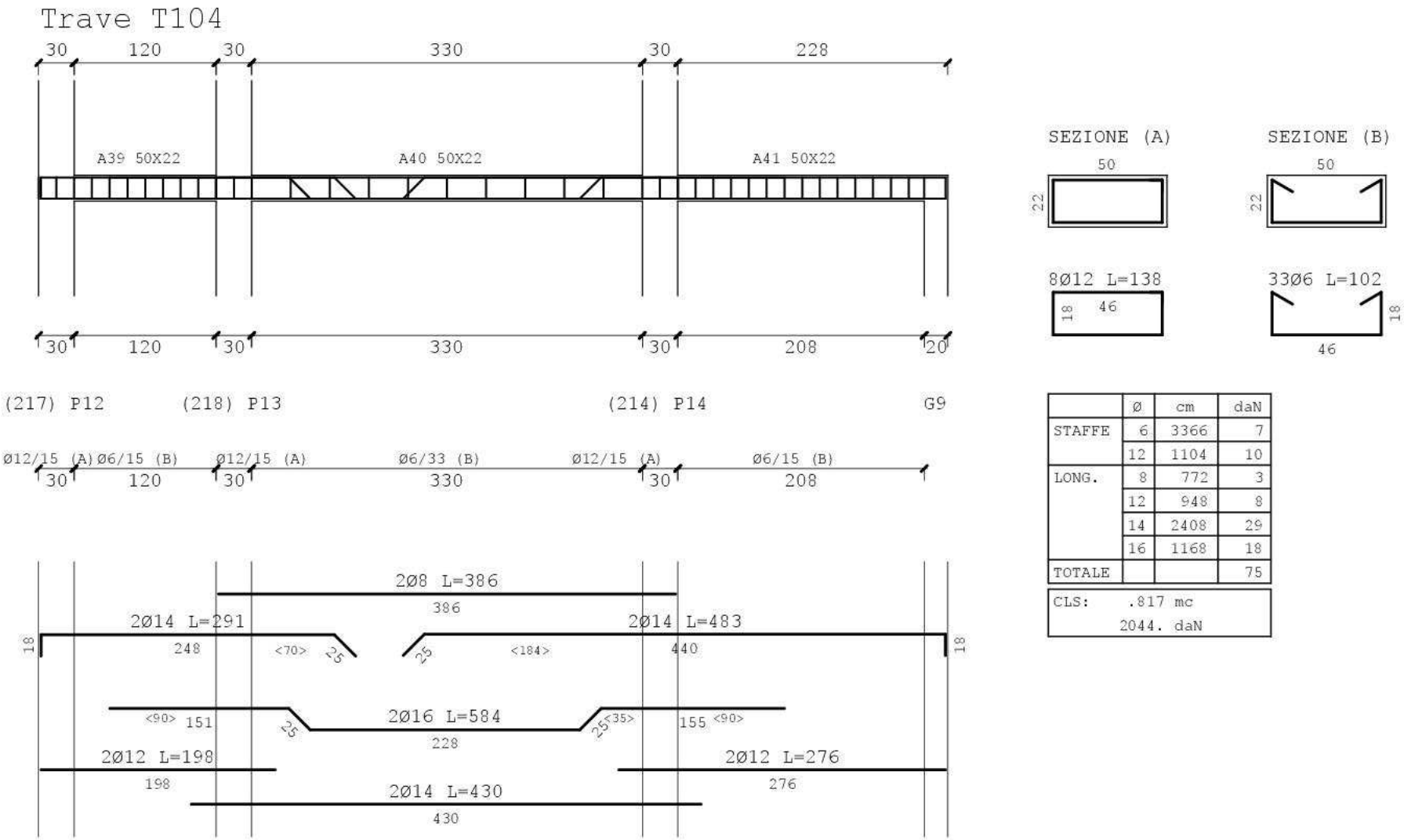
FIG. B.17 Progetto originale – Trave T102 e M2 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	3672	8
	12	828	7
LONG.	8	652	3
	12	3342	30
TOTALE			48

CLS: .618 mc
1544. daN

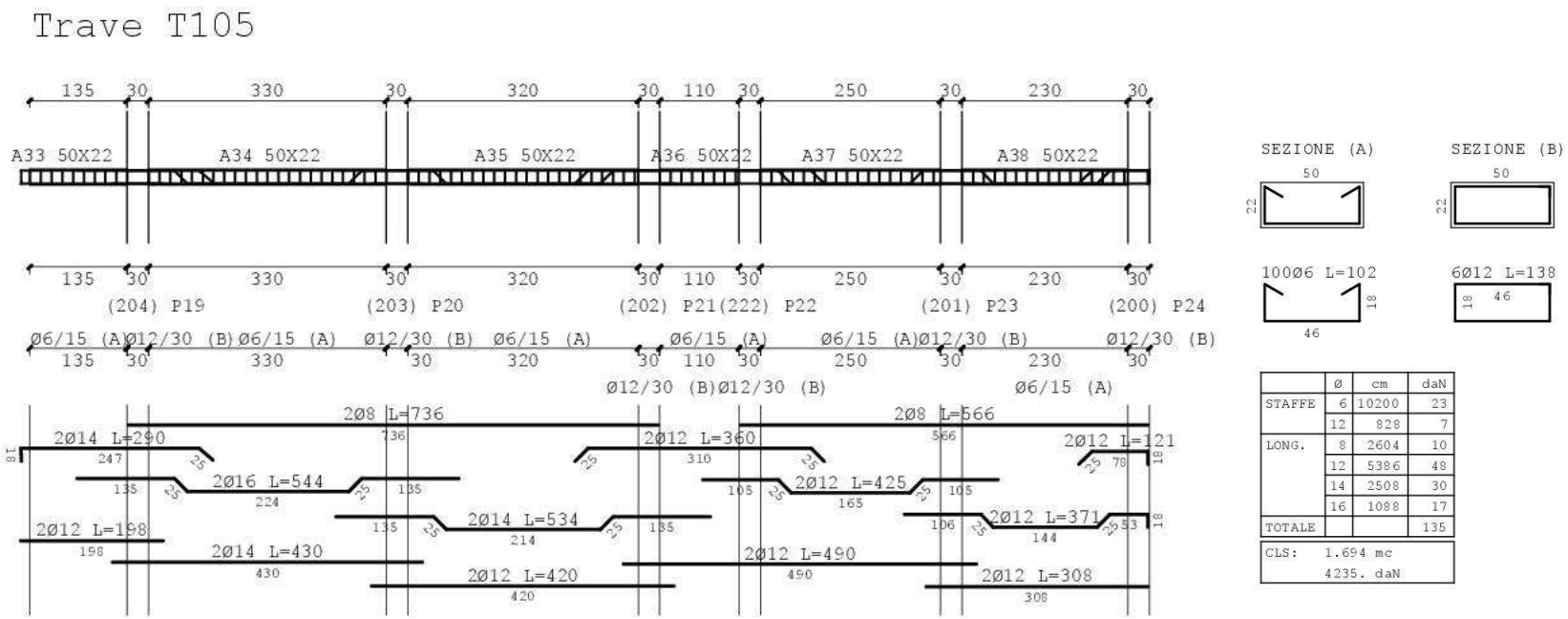
FIG. B.18 Progetto originale – Trave T103 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	3366	7
	12	1104	10
LONG.	8	772	3
	12	948	8
	14	2408	29
	16	1168	18
TOTALE			75

CLS: .817 mc
2044. daN

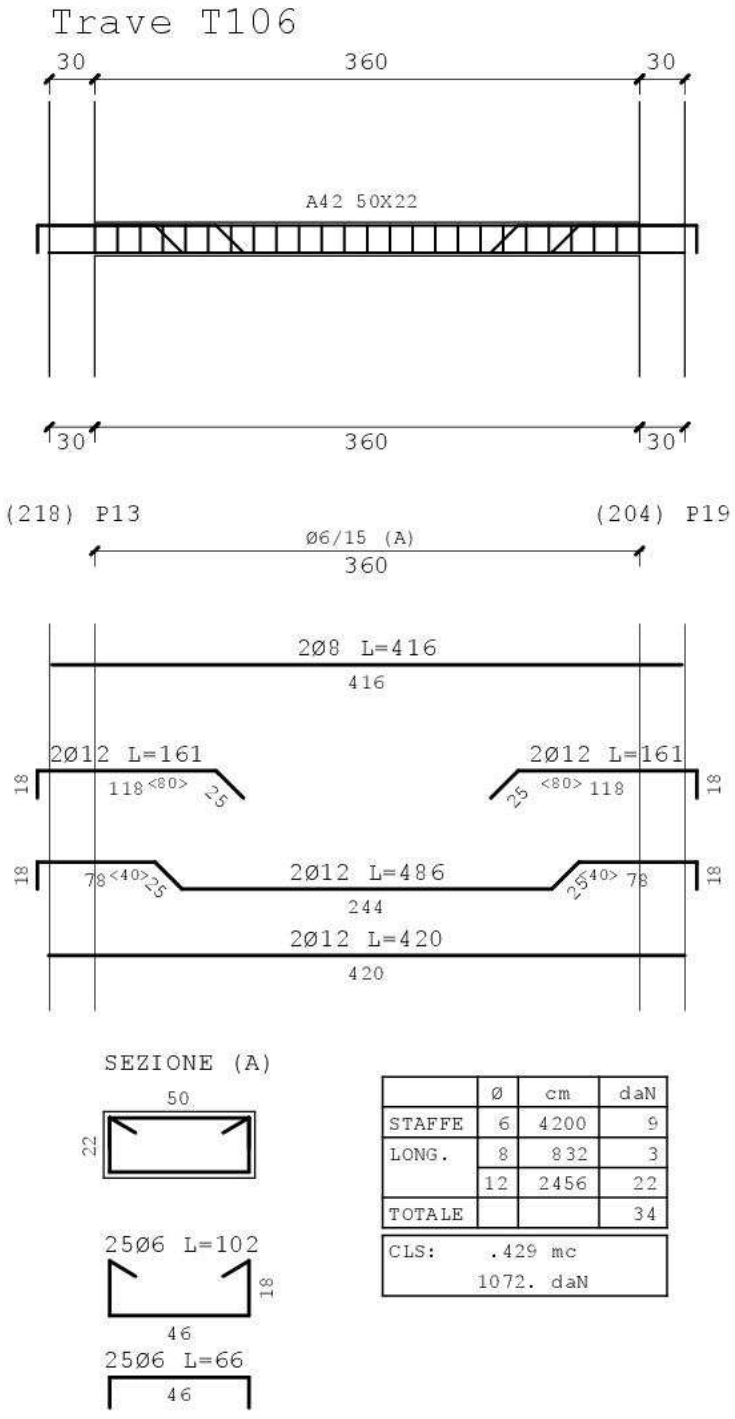
FIG. B.19 Progetto originale – Trave T104 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	10200	23
	12	828	7
LONG.	8	2604	10
	12	5386	48
	14	2508	30
	16	1088	17
TOTALE			135

CLS: 1.694 mc
4235. daN

FIG. B.20 Progetto originale – Trave T105 (Scala 1:100)



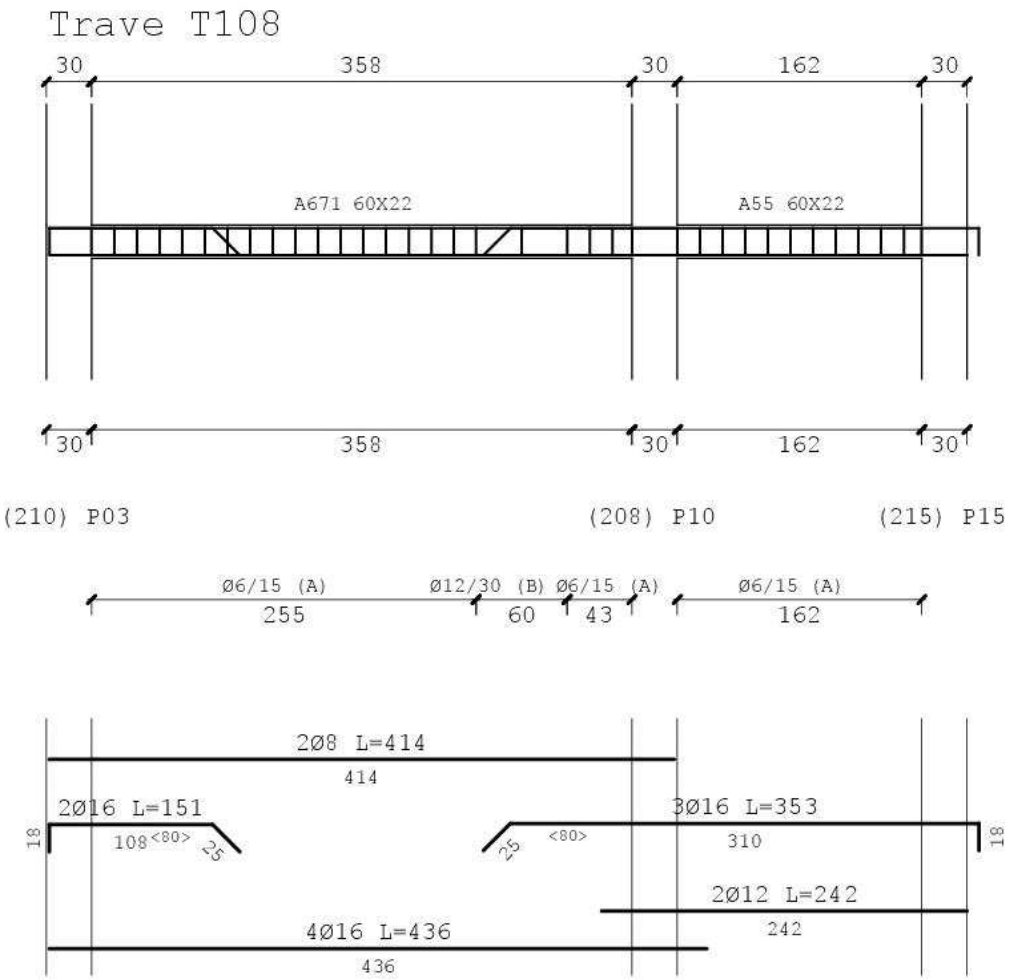
	Ø	cm	daN
STAFFE	6	4200	9
LONG.	8	832	3
	12	2456	22
TOTALE			34

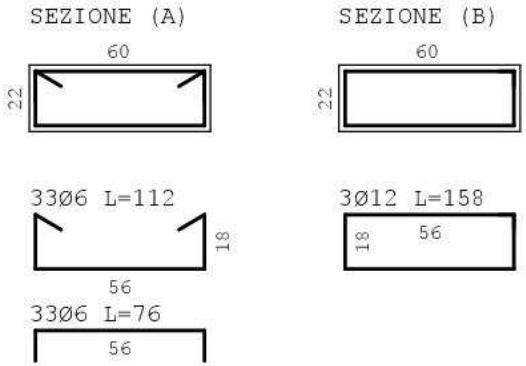
CLS:	.429 mc
	1072. daN

FIG. B.21 Progetto originale – Trave T106 (Scala 1:50)

	Ø	cm	daN
STAFFE	6	4200	9
	12	414	4
LONG.	12	2140	19
	16	744	12
TOTALE			44

FIG. B.22 Progetto originale – Trave T107 (Scala 1:50)





	Ø	cm	daN
STAFFE	6	6204	14
	12	474	4
LONG.	8	828	3
	12	484	4
	16	3105	49
TOTALE			74

CLS: .766 mc
1914. daN

FIG. B.23 Progetto originale – Trave T108 (Scala 1:50)

FIG. B.24 Progetto originale – Travi T109 e T110 (Scala 1:50)

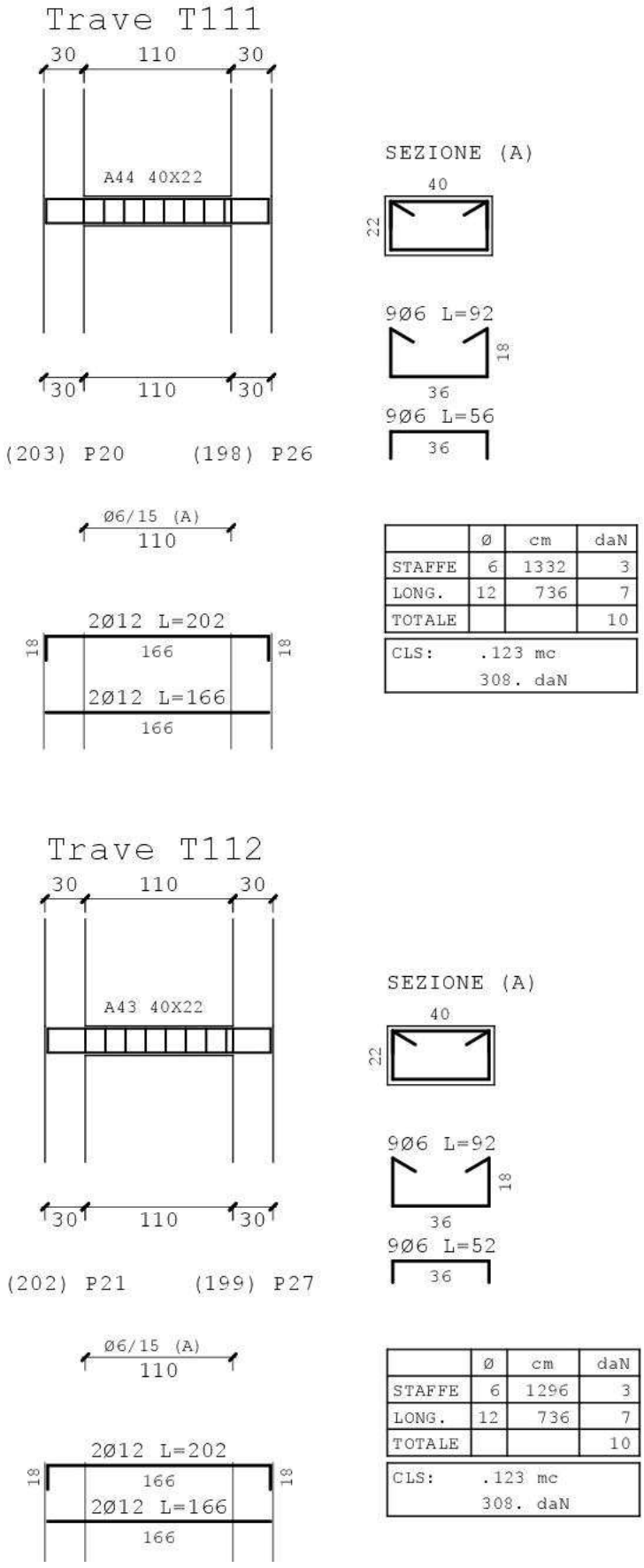
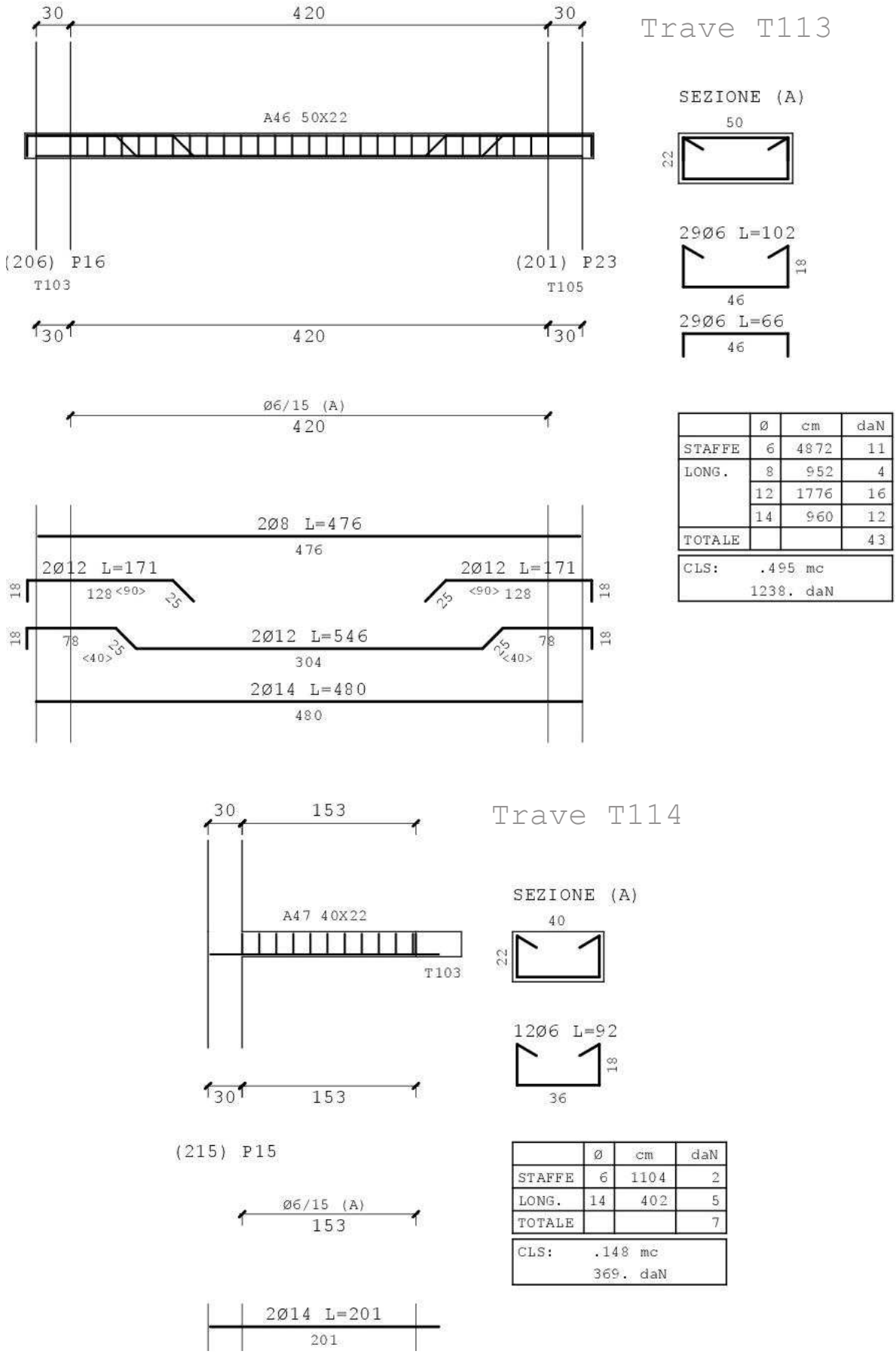


FIG. B.25 Progetto originale – Trave T111 e T112 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	4872	11
LONG.	8	952	4
	12	1776	16
	14	960	12
TOTALE			43

CLS: .495 mc
1238. daN

	Ø	cm	daN
STAFFE	6	1104	2
LONG.	14	402	5
TOTALE			7

CLS: .148 mc
369. daN

FIG. B.26 Progetto originale – Trave T113 e T114 (Scala 1:50)

B.4 Pianta secondo solaio e schemi dei ferri

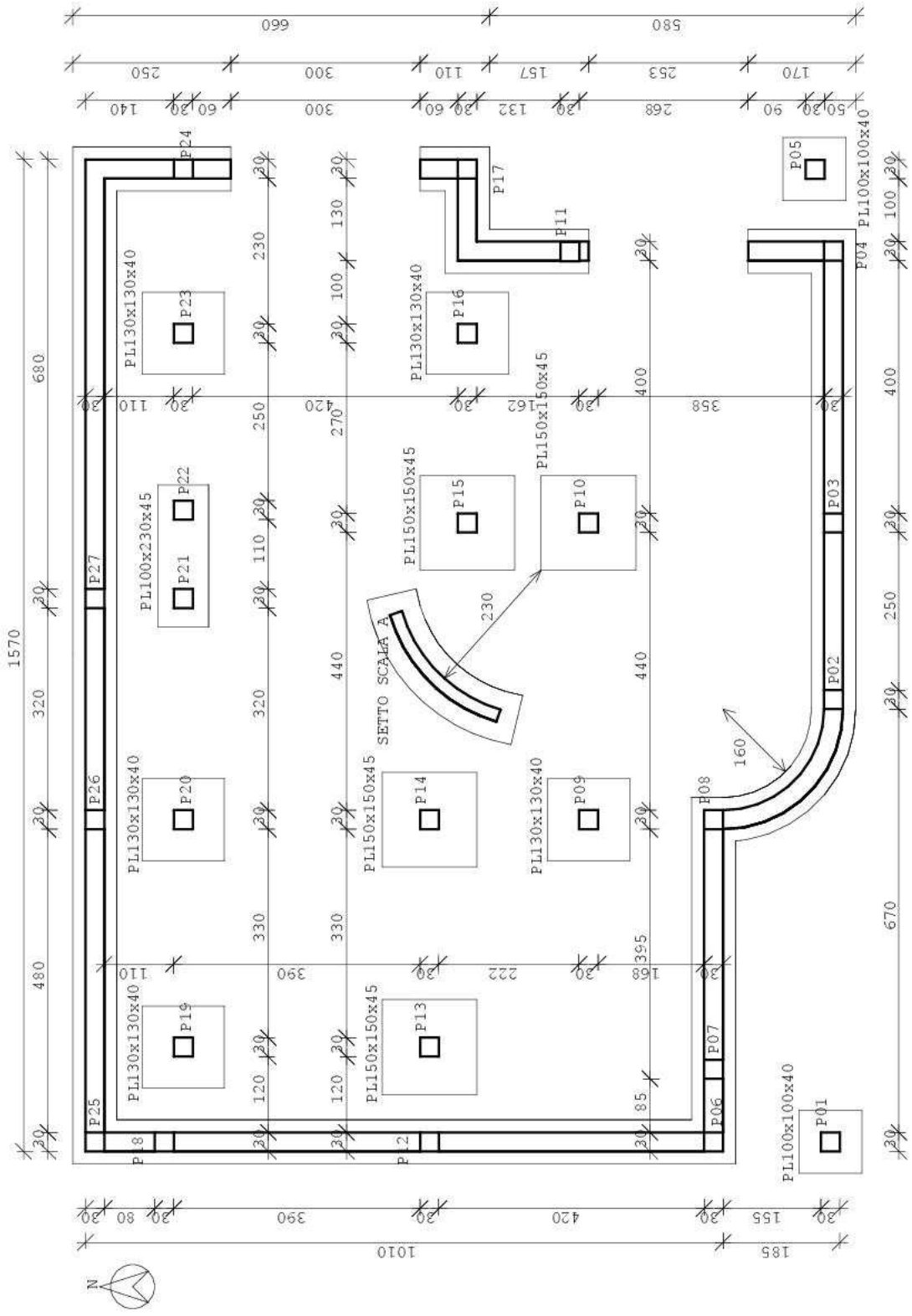


FIG. B.27 Progetto originale – Pianta Piano Primo (Scala 1:100)

La sezione di riferimento per i travetti del solaio in latero-cemento del Primo Piano è la stessa introdotta per l'orizzontamento del piano terra (FIG. B.8). I disegni esecutivi e gli schemi di armatura delle diverse aree di solaio e delle travi sono riportati di seguito, così come presentati nelle Tavole originali.

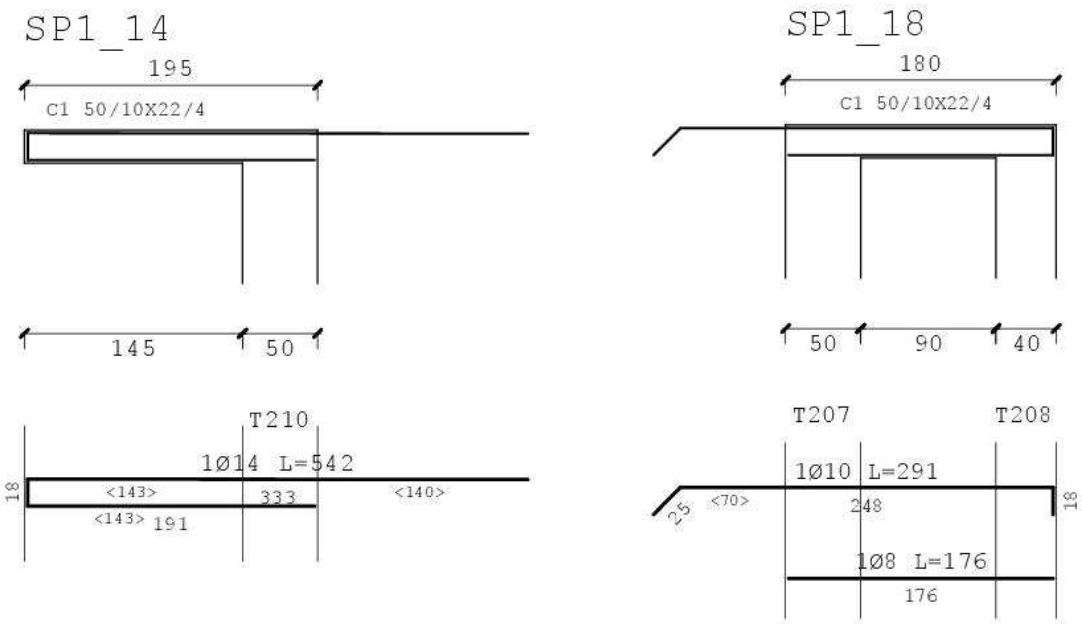


FIG. B.28 Progetto originale – Travetti solaio P1: SP1_14 e SP1_18 (Scala 1:50)

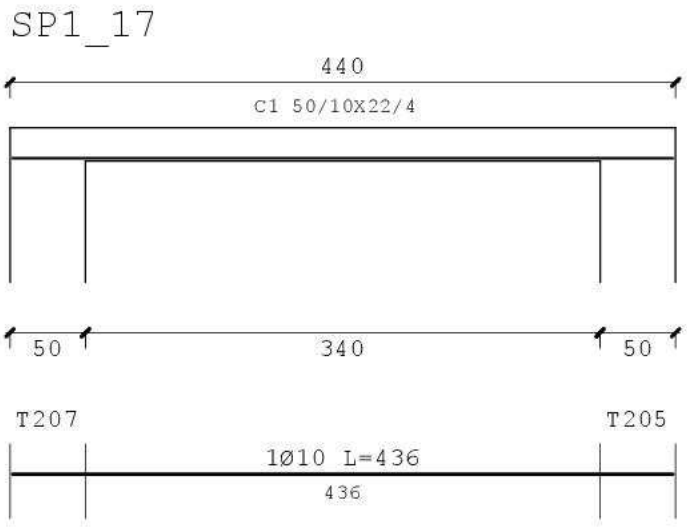


FIG. B.29 Progetto originale – Travetti solaio P1: SP1_17 (Scala 1:50)

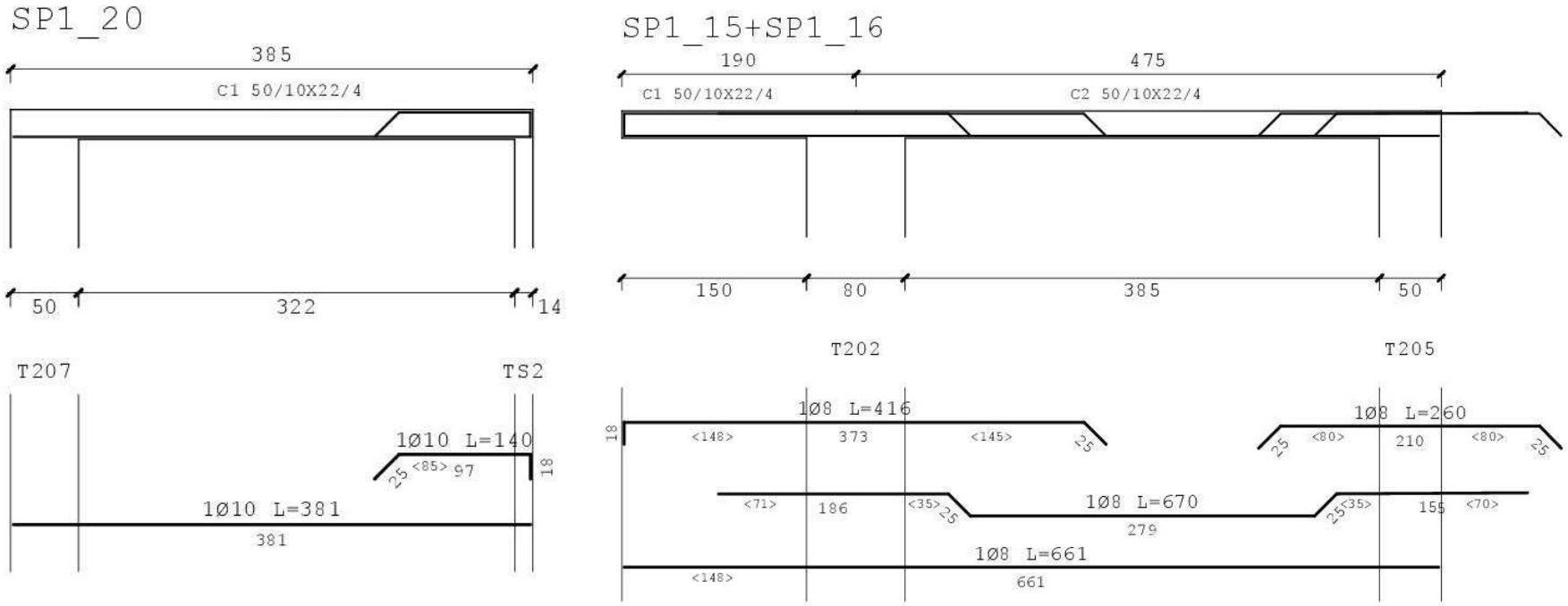


FIG. B.30 Progetto originale – Travetti solaio P1: SP1_15-SP1_16 e SP1_20 (Scala 1:50)

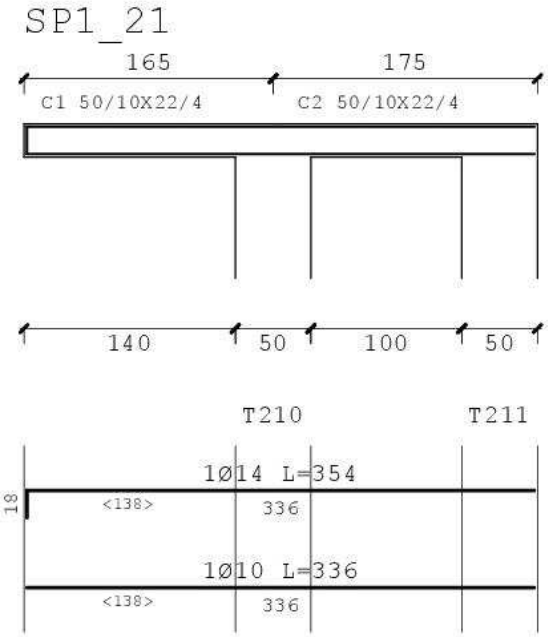


FIG. B.31 Progetto originale – Travetti solaio P1: SP1_21 (Scala 1:50)

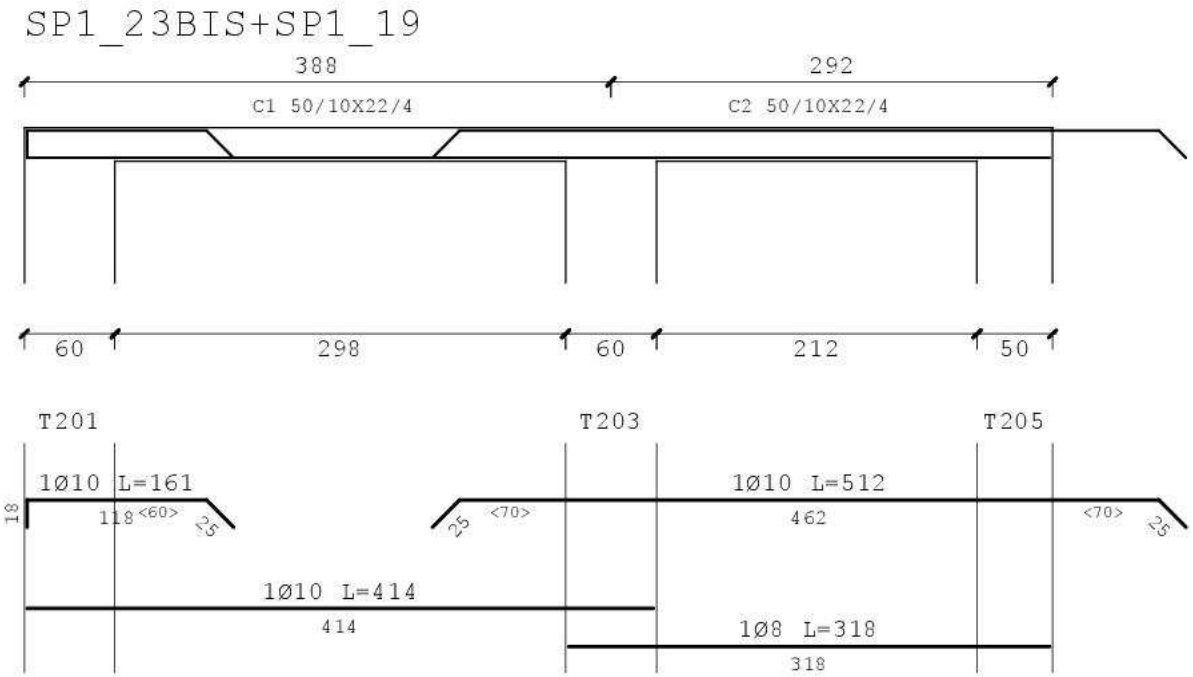


FIG. B.32 Progetto originale – Travetti solaio P1: SP1_23bis- SP1_19 (Scala 1:50)

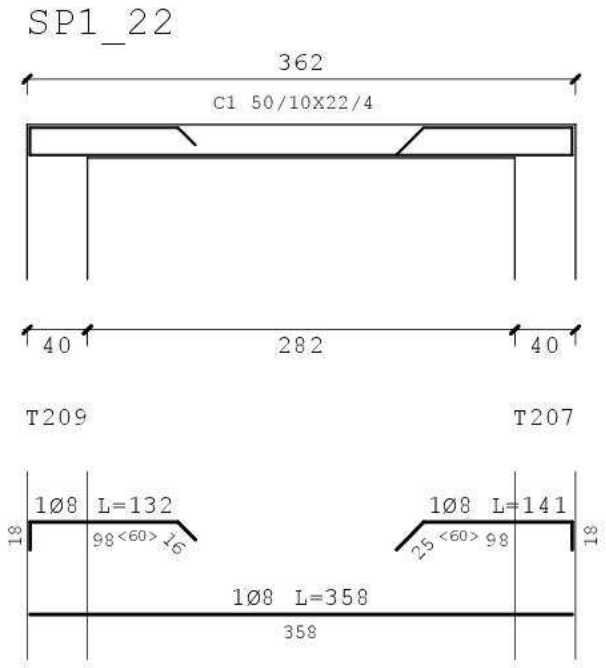


FIG. B.33 Progetto originale – Travetti solaio P1: SP1_22 (Scala 1:50)

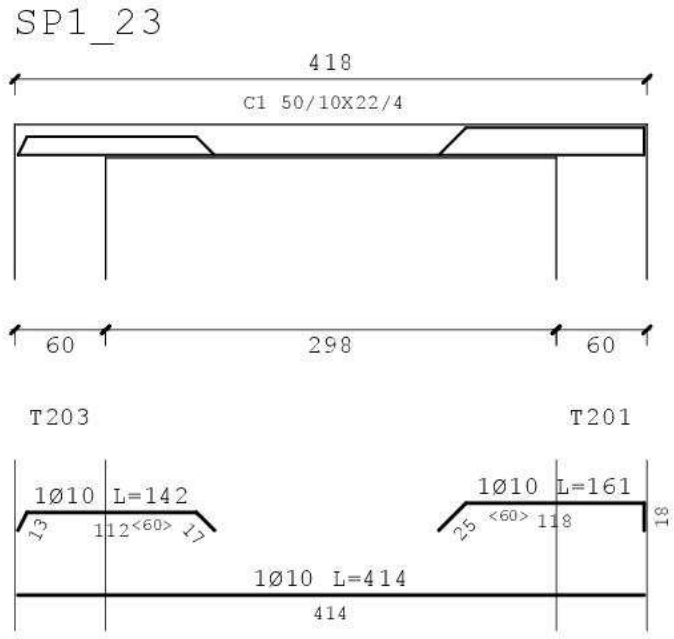


FIG. B.34 Progetto originale – Travetti solaio P1: SP1_23 (Scala 1:50)

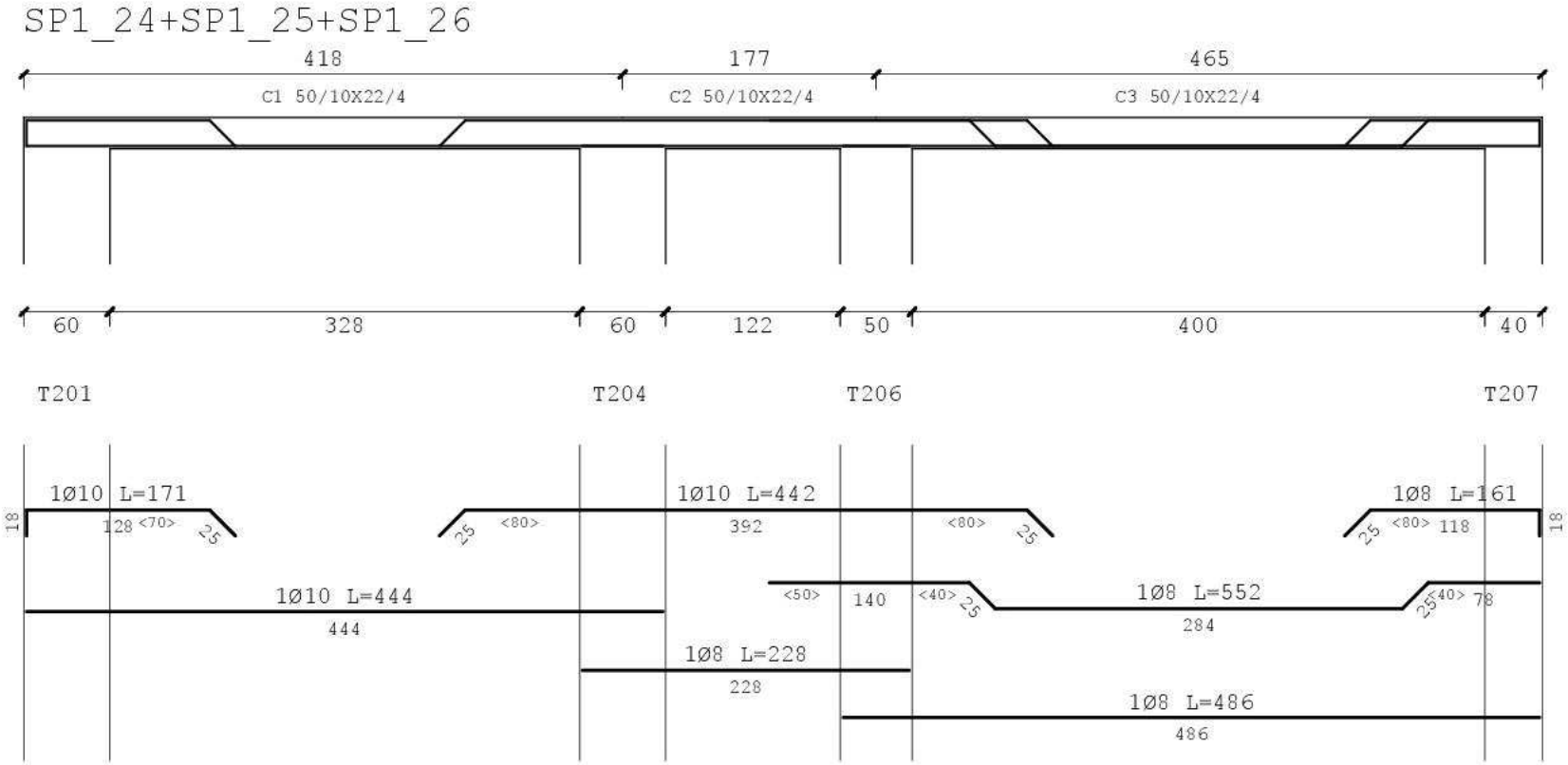


FIG. B.35 Progetto originale – Travetti solaio P1: SP1_24- SP1_25-SP1_26 (Scala 1:50)

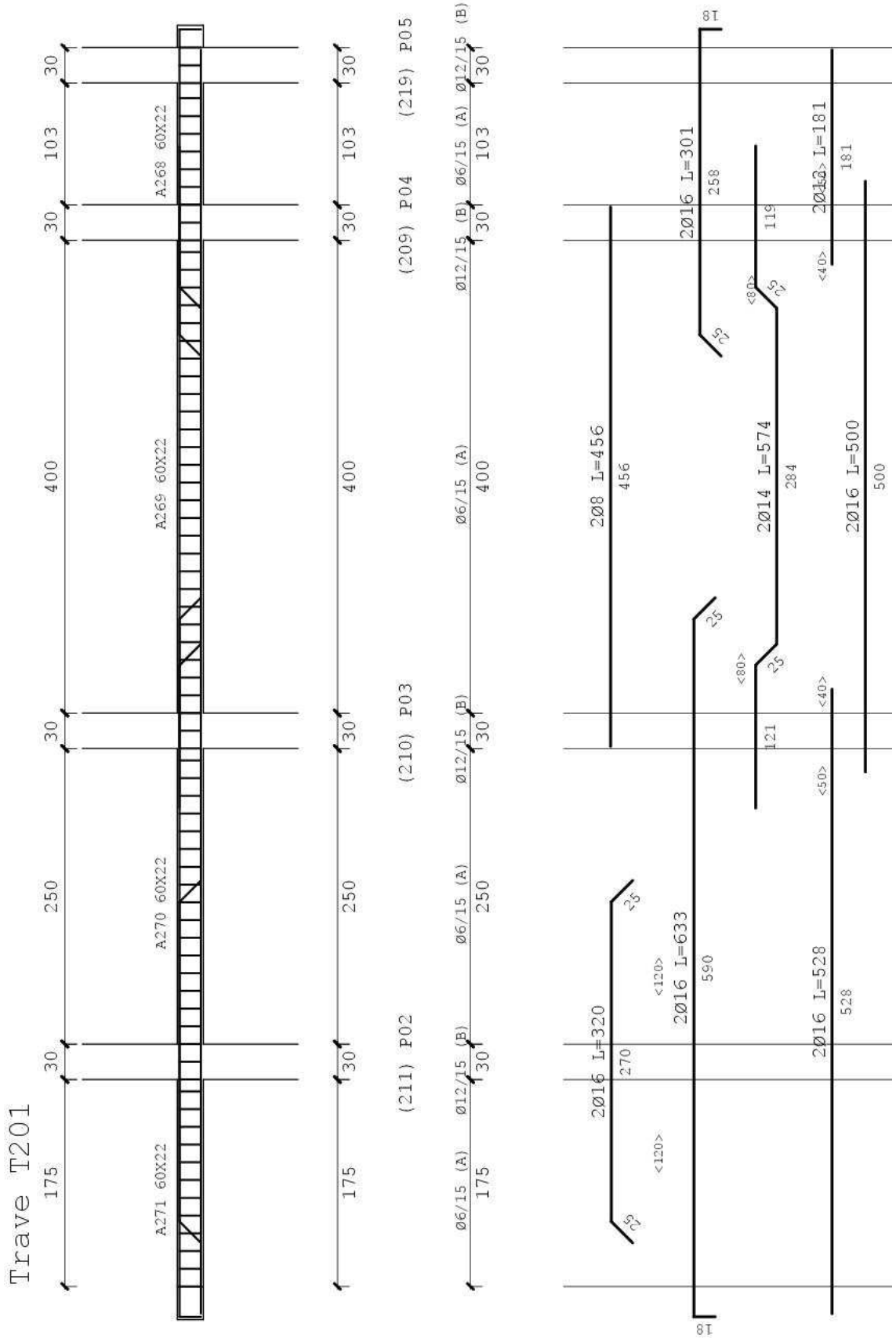
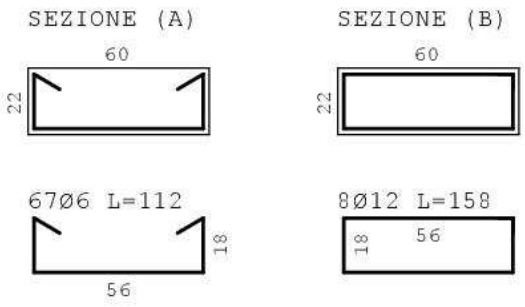


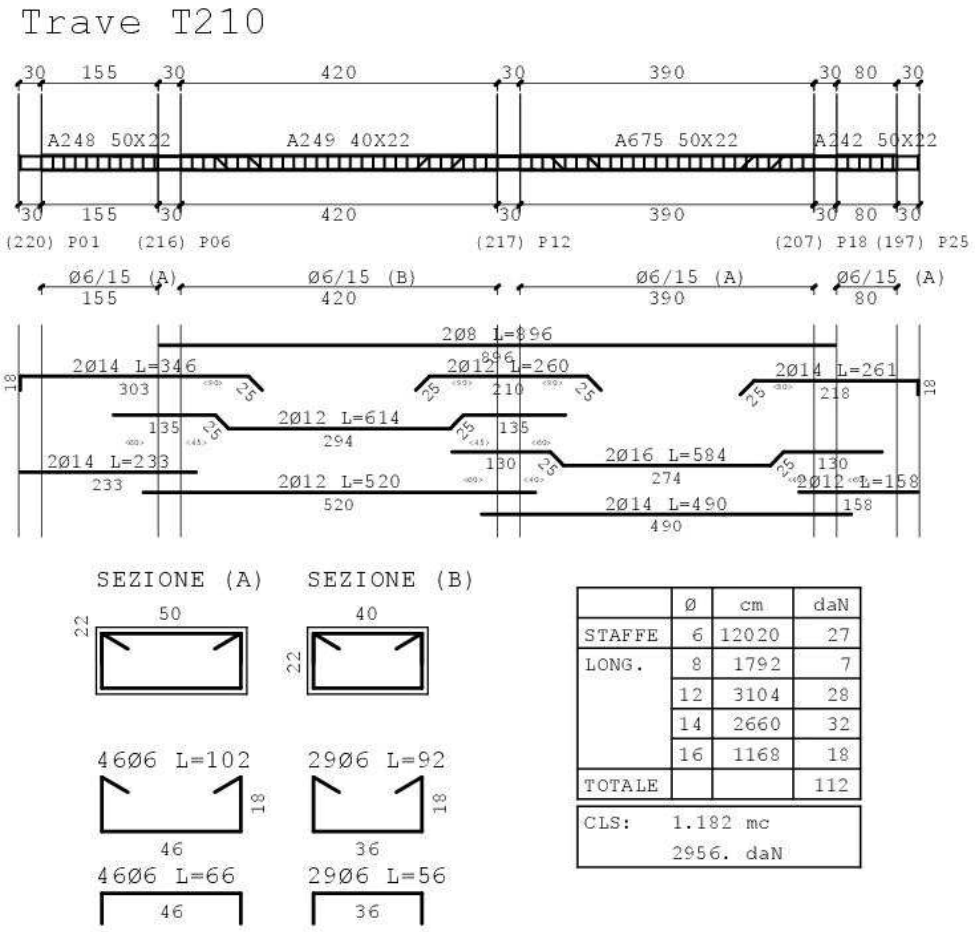
FIG. B.36 Progetto originale – Trave T201 (scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	7504	17
	12	1264	11
LONG.	8	912	4
	12	362	3
	14	1148	14
	16	4564	72
TOTALE			121

CLS: 1.363 mc
3409. daN

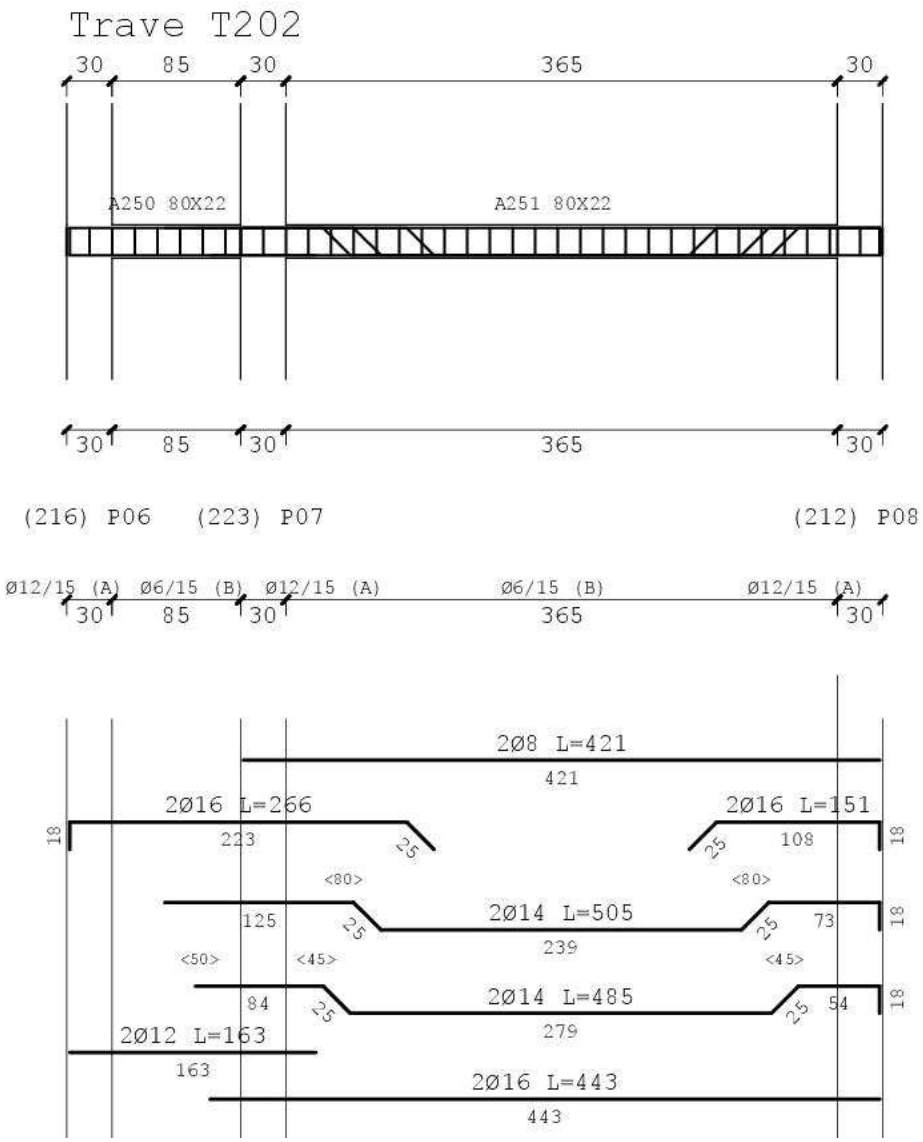
FIG. B.37 Progetto originale – Trave T201: sezioni tipo e computo dei materiali

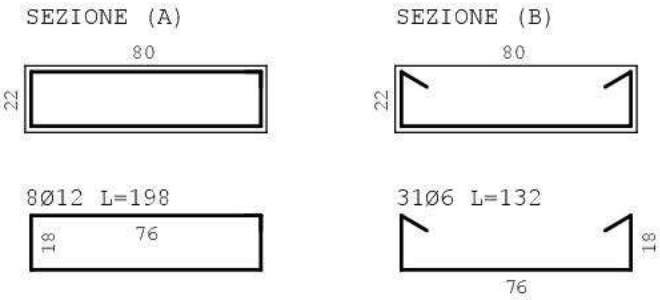


	Ø	cm	daN
STAFFE	6	12020	27
LONG.	8	1792	7
	12	3104	28
	14	2660	32
	16	1168	18
TOTALE			112

CLS: 1.182 mc
2956. daN

FIG. B.38 Progetto originale – Trave T210 (Scala 1:100)



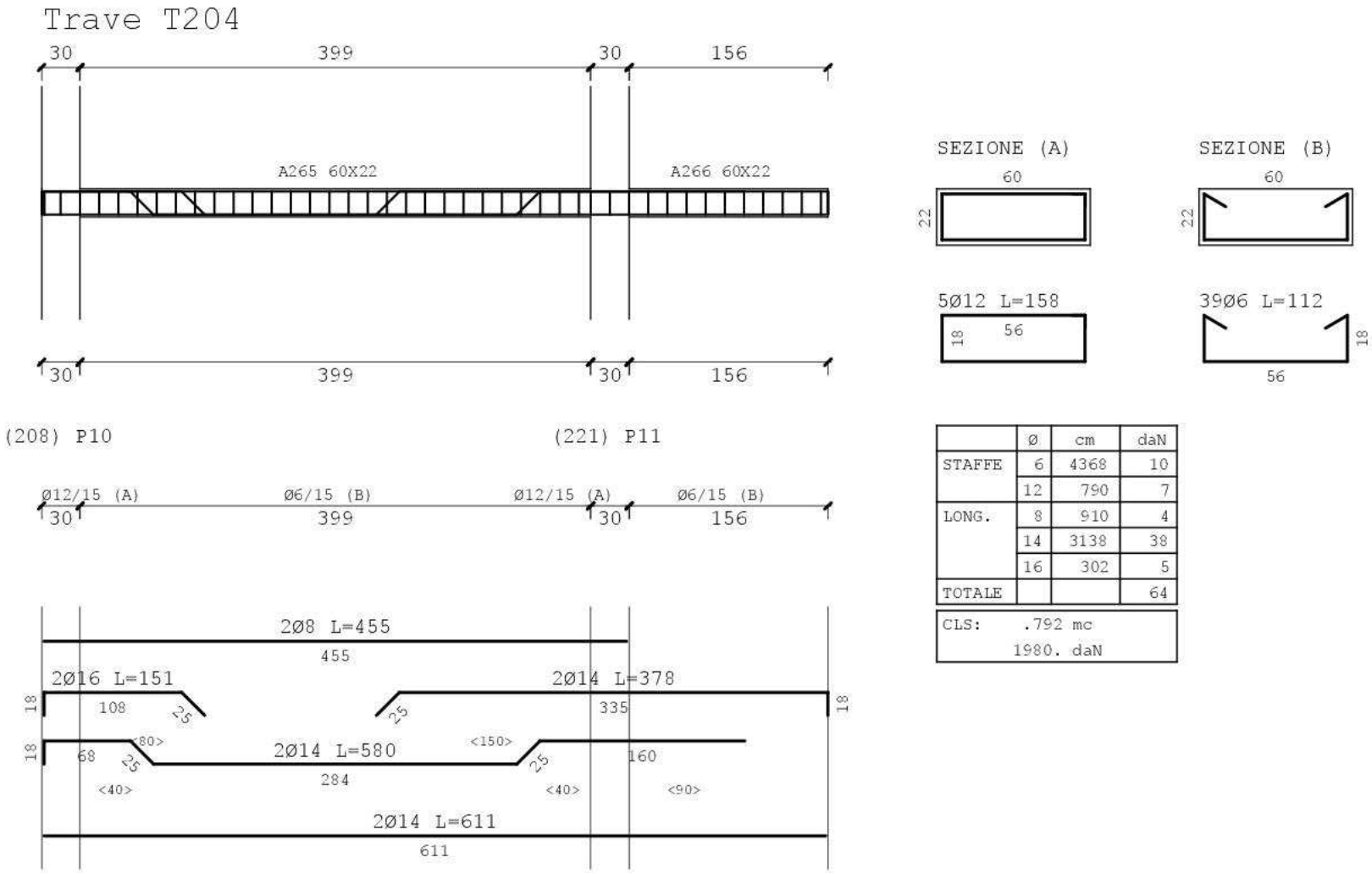


	Ø	cm	daN
STAFFE	6	4092	9
	12	1584	14
LONG.	8	842	3
	12	326	3
	14	1980	24
	16	1720	27
TOTALE			80

CLS: .898 mc
2244. daN

FIG. B.39 Progetto originale – Trave T202 (Scala 1:50)

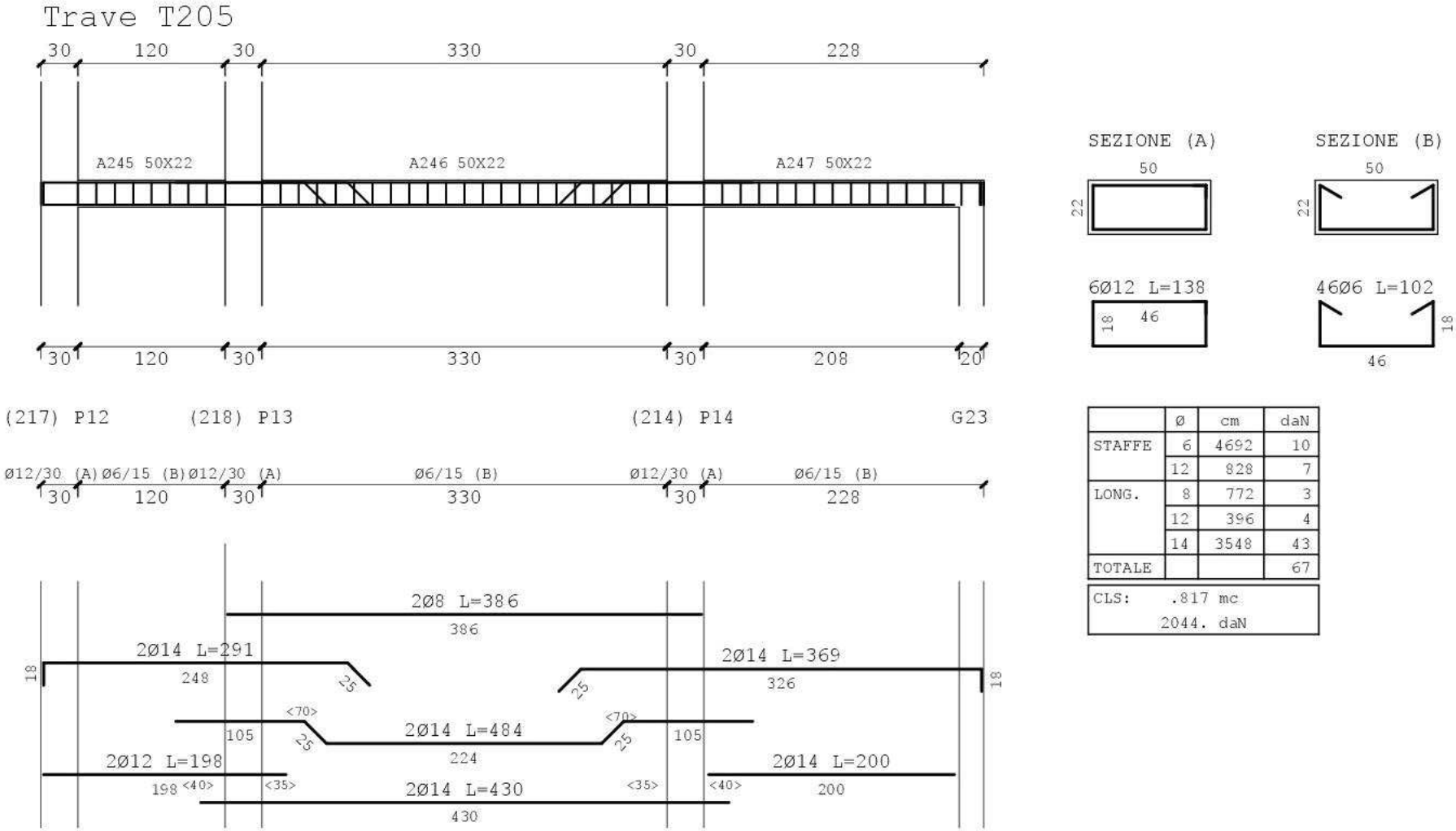
FIG. B.40 Progetto originale – Trave T203 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	4368	10
	12	790	7
LONG.	8	910	4
	14	3138	38
	16	302	5
TOTALE			64

CLS: .792 mc
1980. daN

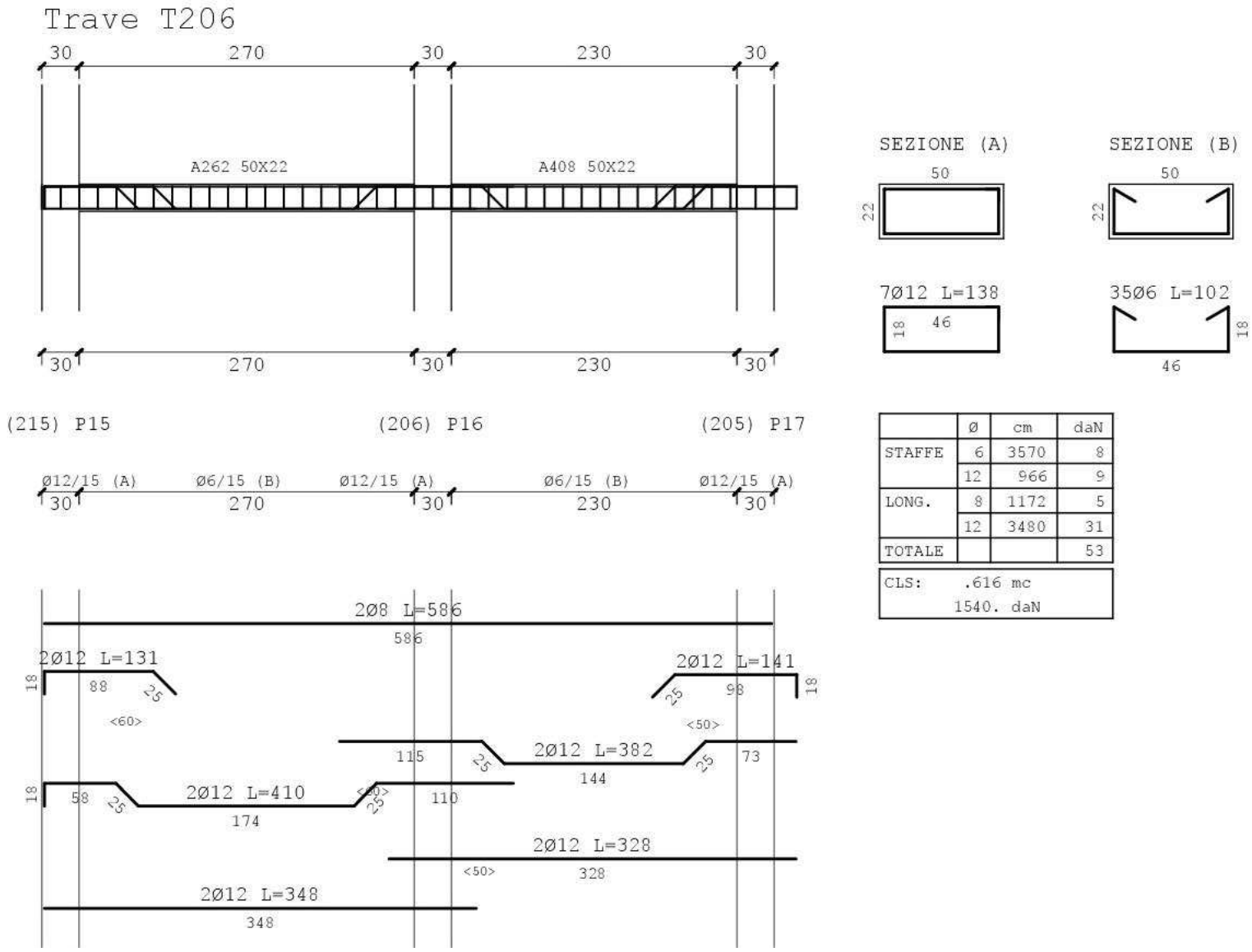
FIG. B.41 Progetto originale – Trave T204 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	4692	10
	12	828	7
LONG.	8	772	3
	12	396	4
	14	3548	43
TOTALE			67

CLS: .817 mc
2044. daN

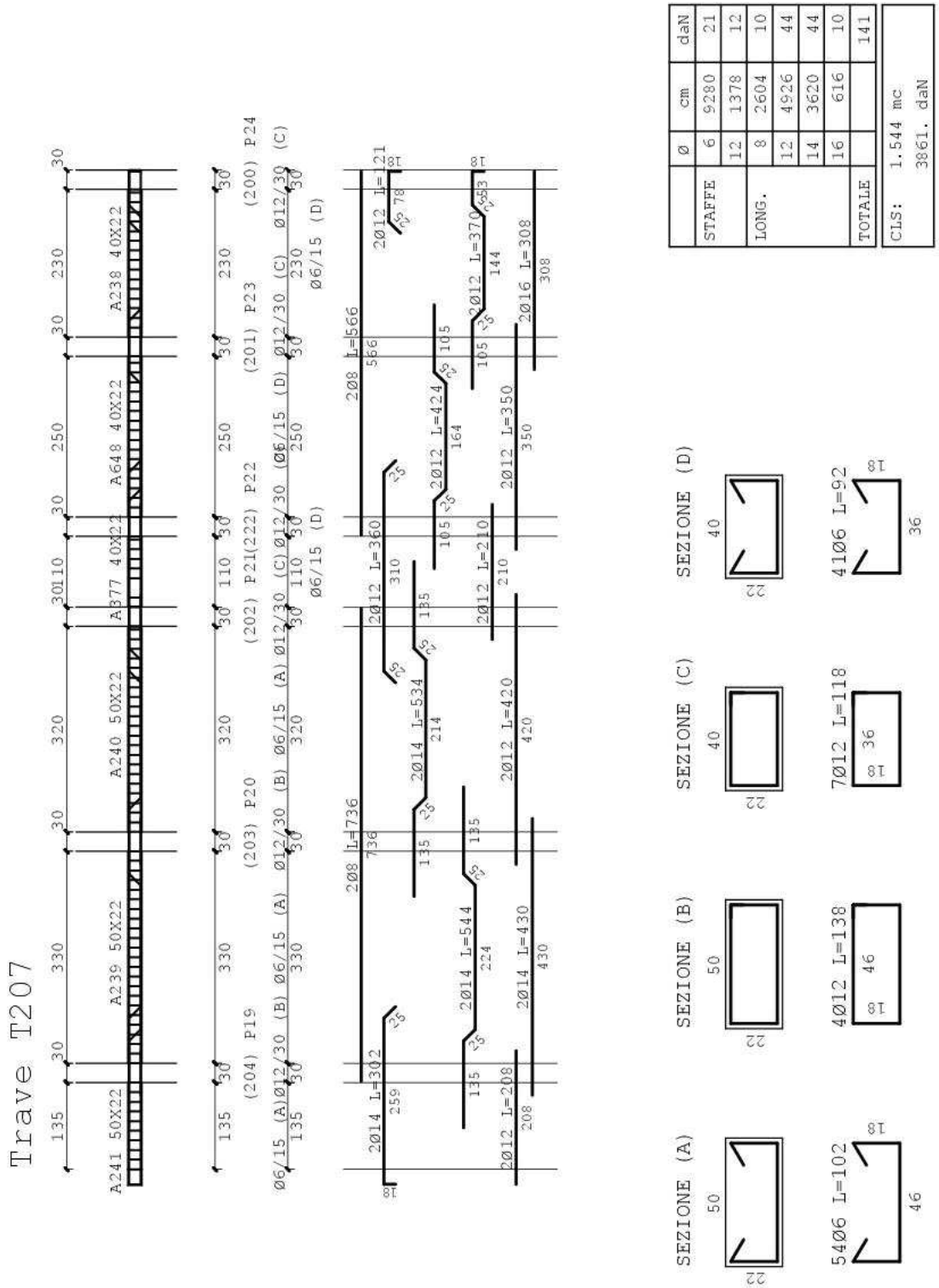
FIG. B.42 Progetto originale – Trave T205 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	3570	8
	12	966	9
LONG.	8	1172	5
	12	3480	31
TOTALE			53

CLS: .616 mc
1540. daN

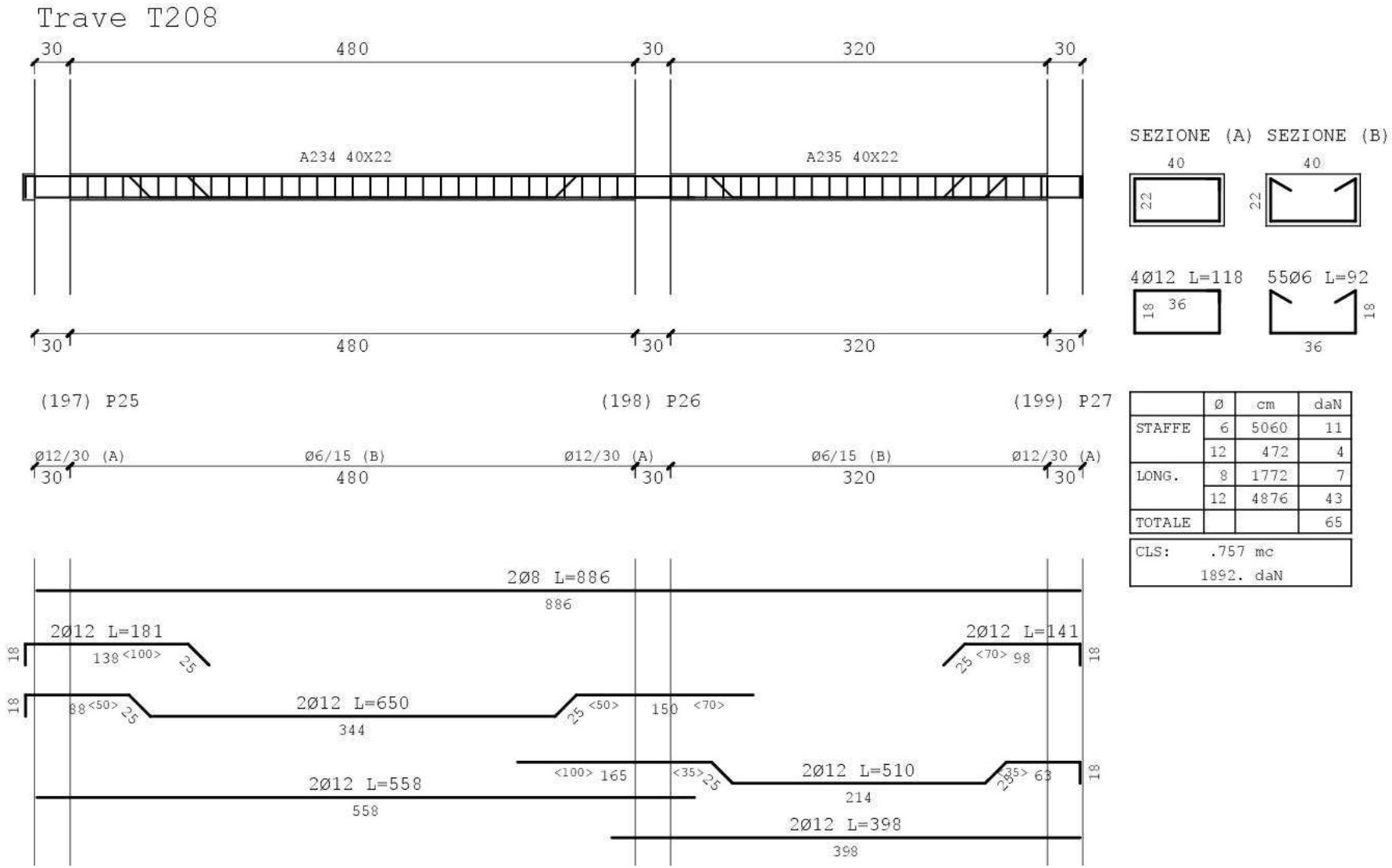
FIG. B.43 Progetto originale – Trave T206 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	9280	21
	12	1378	12
LONG.	8	2604	10
	12	4926	44
	14	3620	44
	16	616	10
TOTALE			141

CLS: 1.544 mc
3861. daN

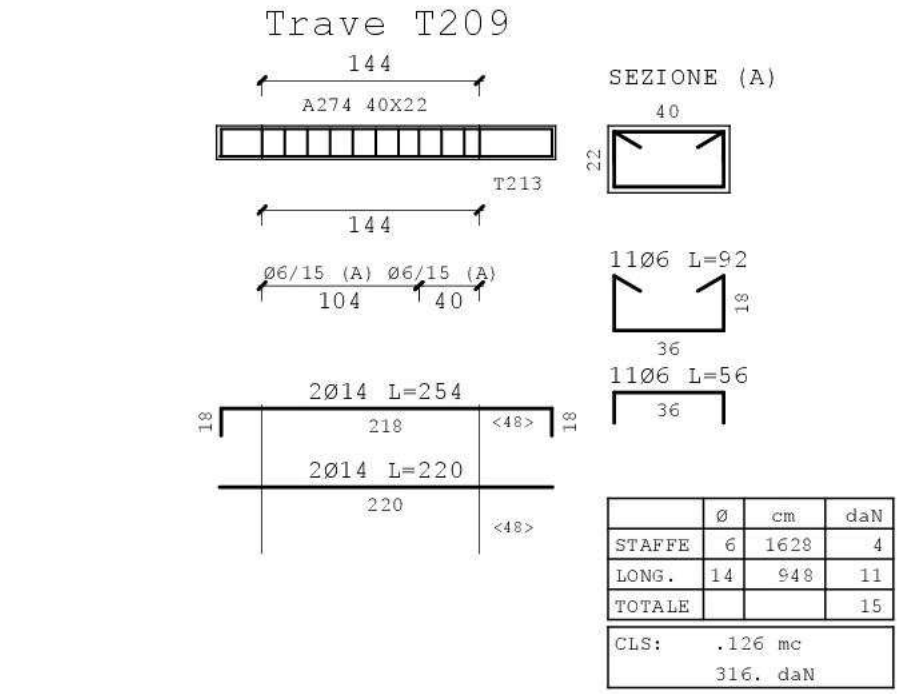
FIG. B.44 Progetto originale – Trave T207 (Scala 1:100)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	5060	11
	12	472	4
LONG.	8	1772	7
	12	4876	43
TOTALE			65

CLS: .757 mc
1892. daN

FIG. B.45 Progetto originale – Trave T208 (Scala 1:50)



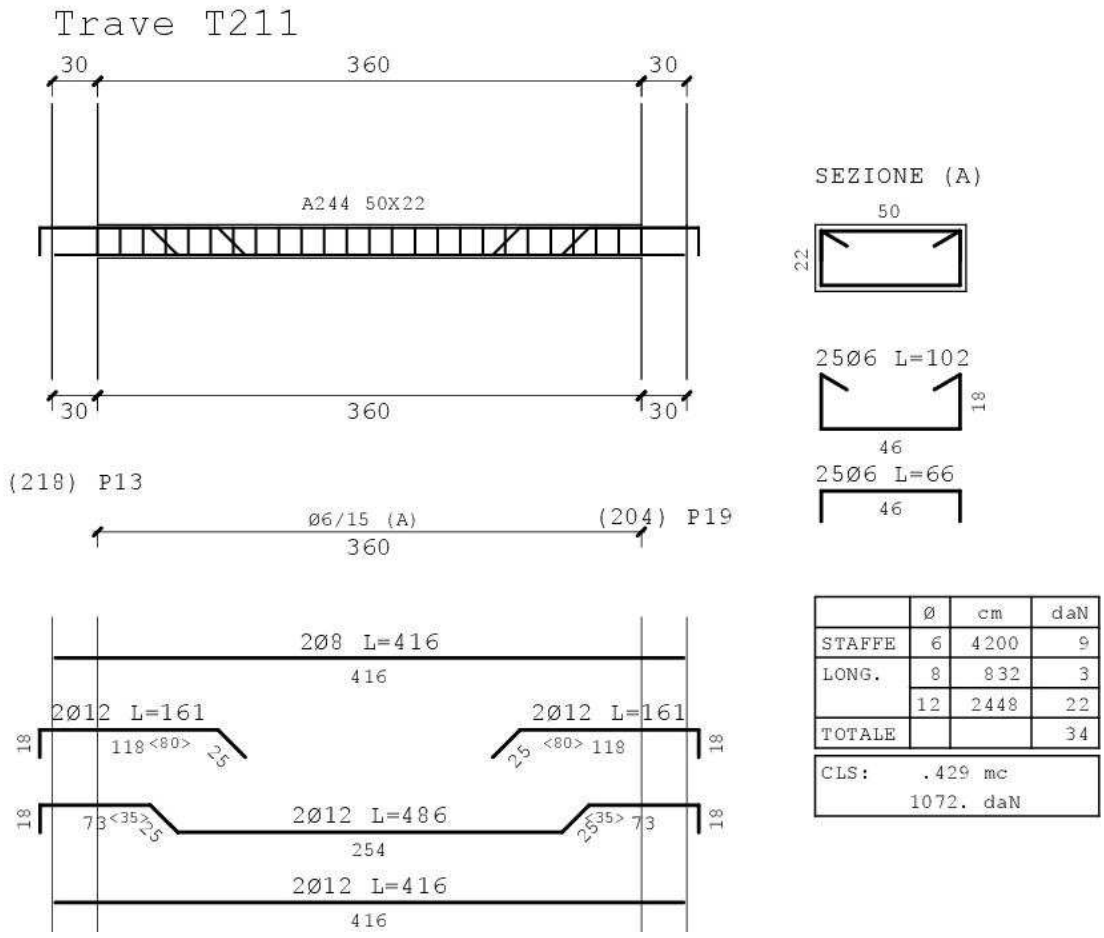


FIG. B.46 Progetto originale – Trave T209 e T211 (Scala 1:50)

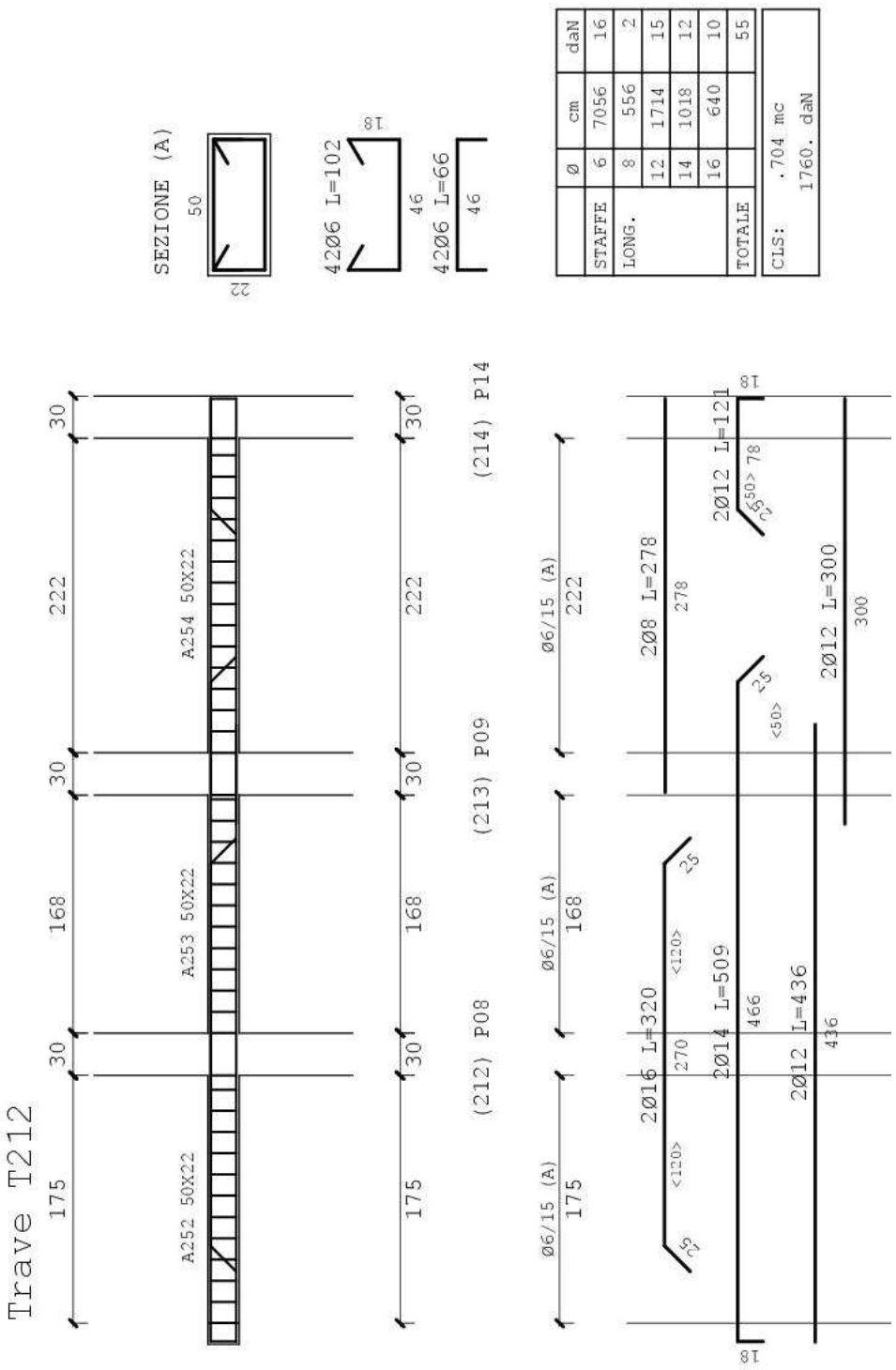
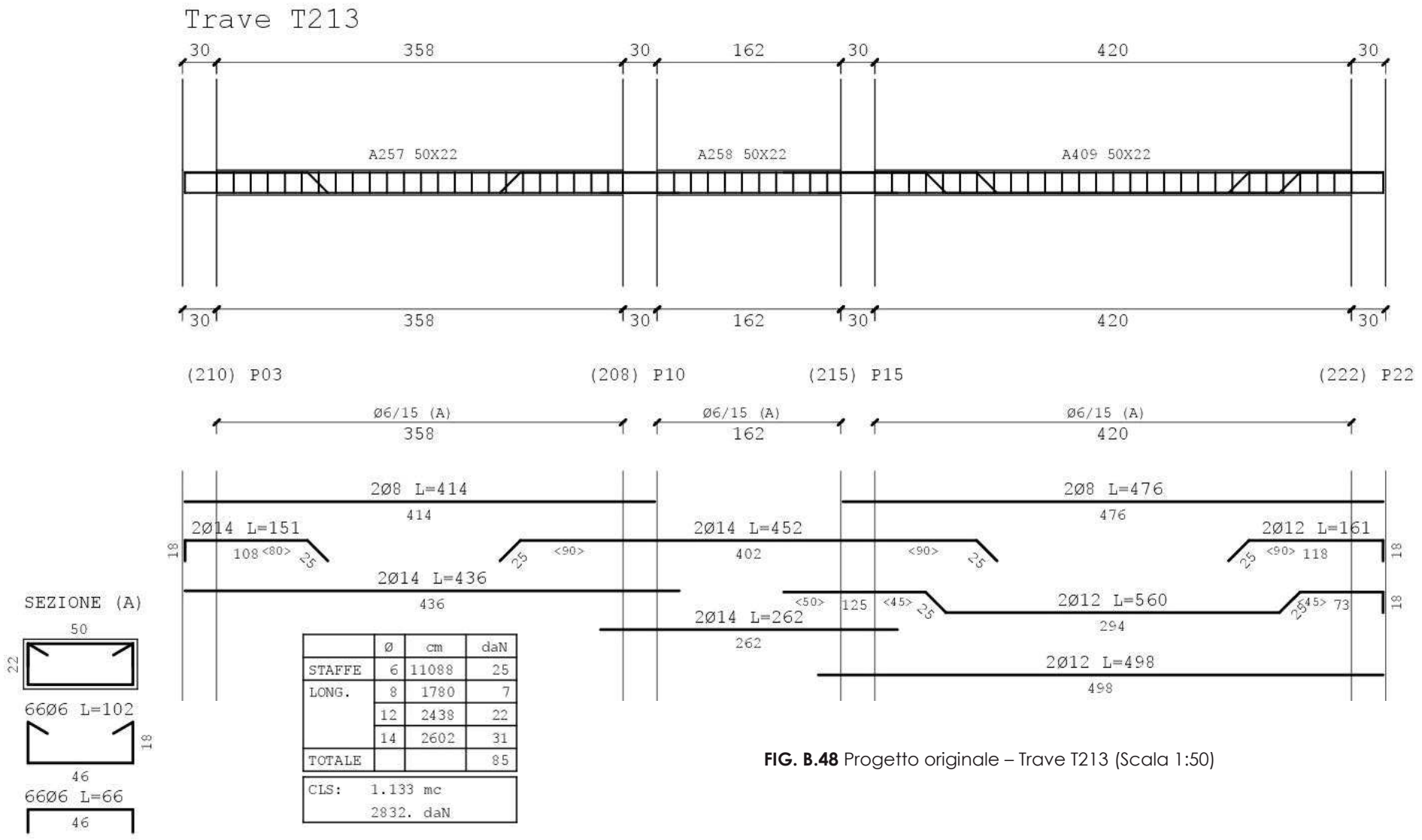


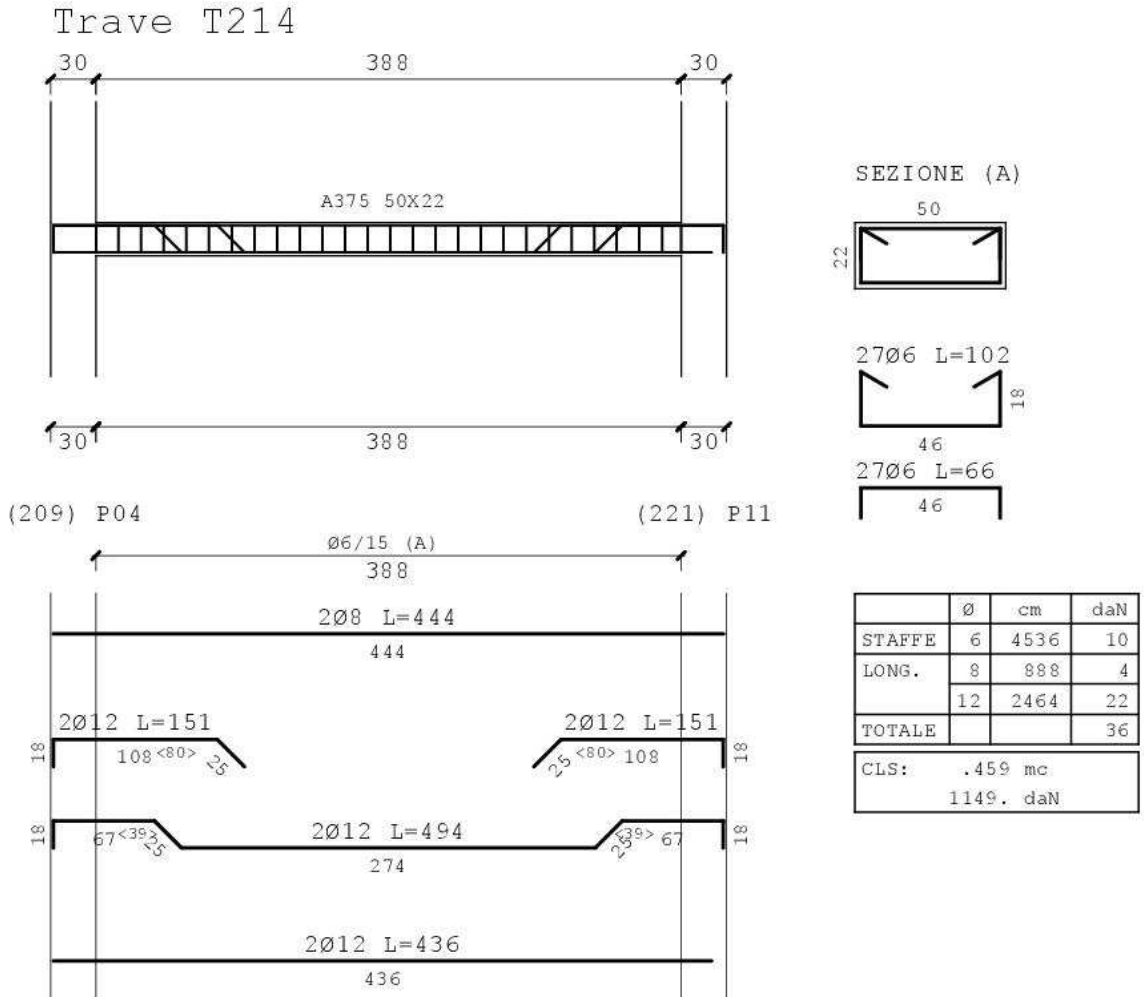
FIG. B.47 Progetto originale – Trave T212 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	11088	25
LONG.	8	1780	7
	12	2438	22
	14	2602	31
TOTALE			85

CLS: 1.133 mc
2832. daN

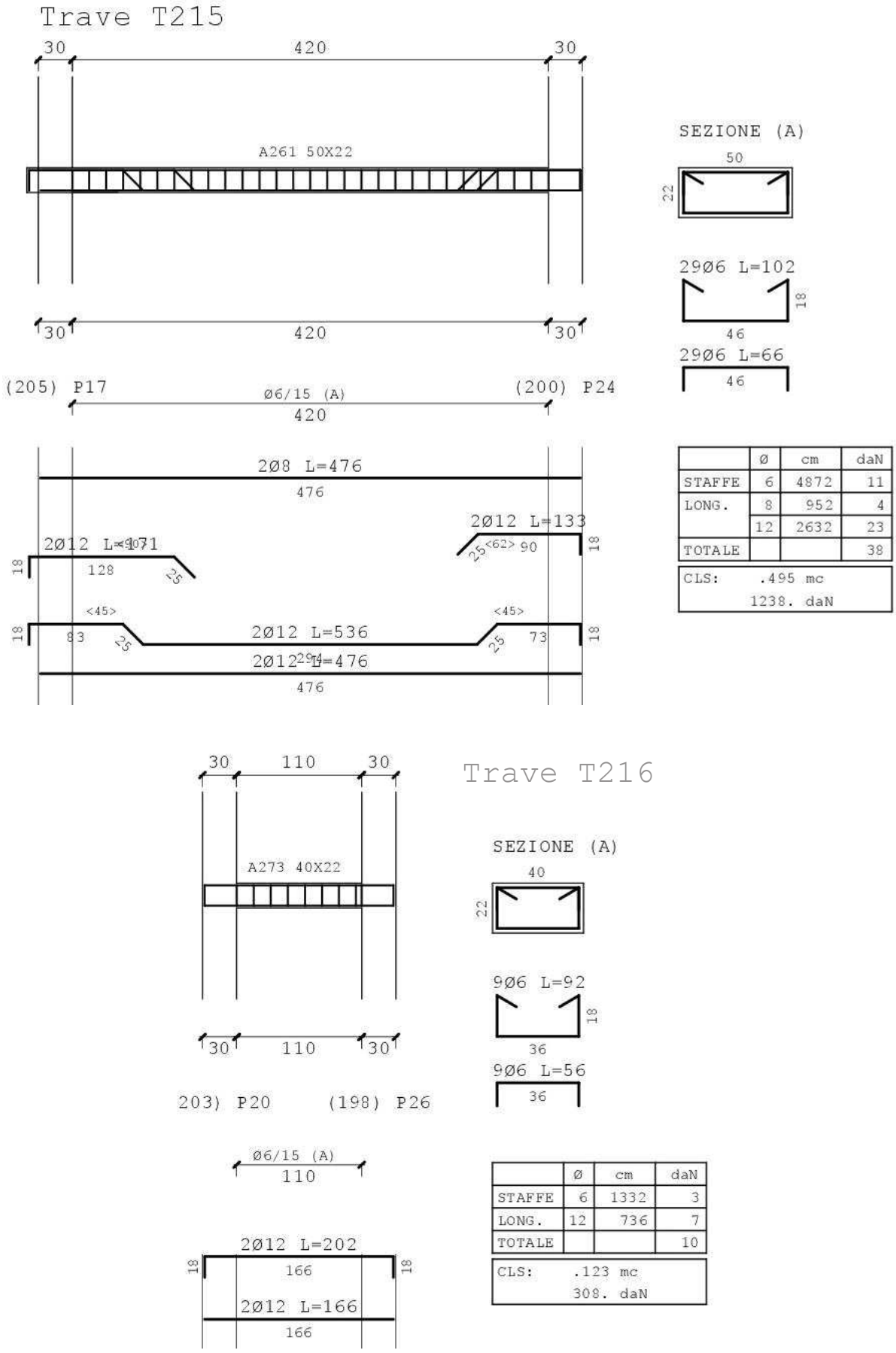
FIG. B.48 Progetto originale – Trave T213 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	4536	10
LONG.	8	888	4
	12	2464	22
TOTALE			36

CLS: .459 mc
1149. daN

FIG. B.49 Progetto originale – Trave T214 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	4872	11
LONG.	8	952	4
	12	2632	23
TOTALE			38

CLS: .495 mc
1238. daN

	Ø	cm	daN
STAFFE	6	1332	3
LONG.	12	736	7
TOTALE			10

CLS: .123 mc
308. daN

FIG. B.5O Progetto originale – Trave T215 e T216 (Scala 1:50)

B.5 Pianta sottotetto e schemi dei ferri

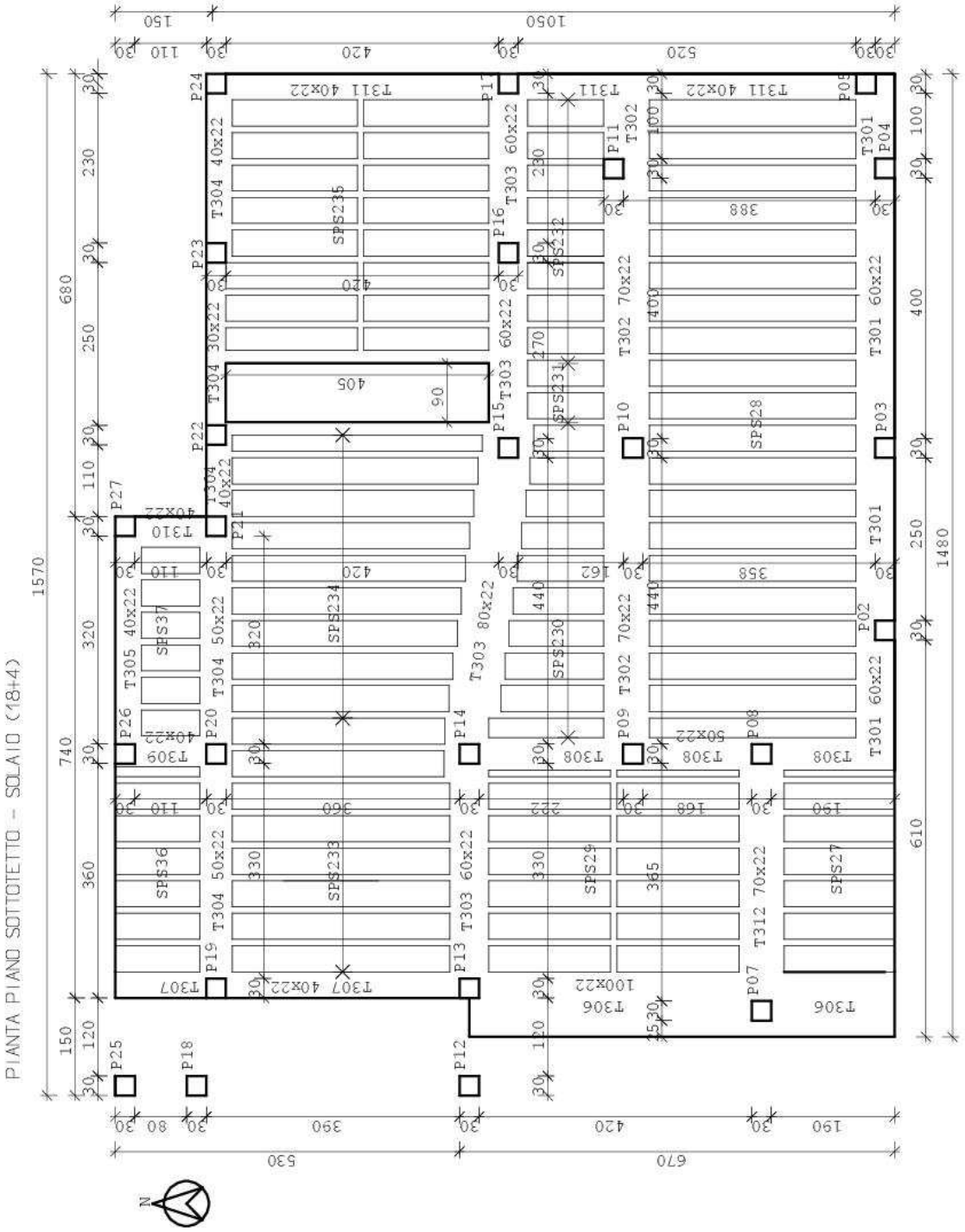


FIG. B.51 Progetto originale – Pianta Piano Sottotetto (Scala 1:100)

La sezione di riferimento per i travetti del solaio in latero-cemento del Piano Sottotetto è la stessa introdotta per l'orizzontamento del piano terra (FIG. B.8). I disegni esecutivi e gli schemi

di armatura delle diverse aree di solaio e delle travi sono riportati di seguito, così come presentati nelle Tavole originali.

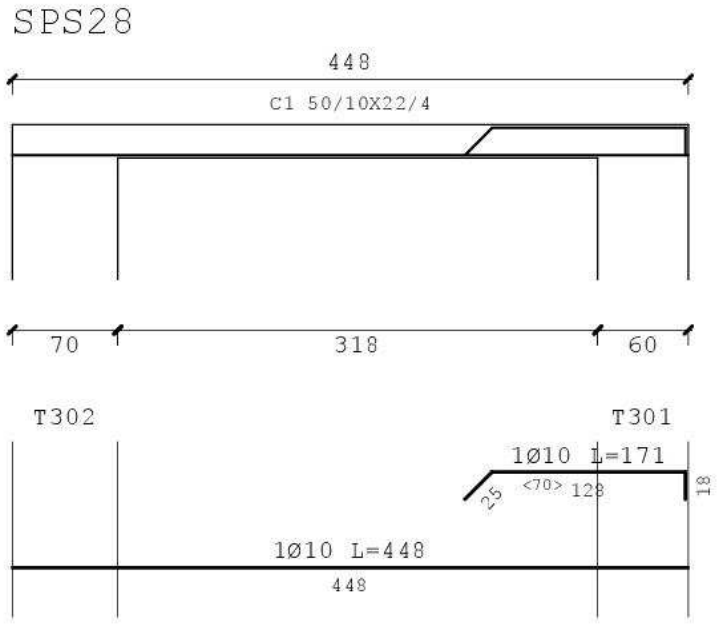


FIG. B.52 Progetto originale – Travetti solaio PS: SPS28 (Scala 1:50)

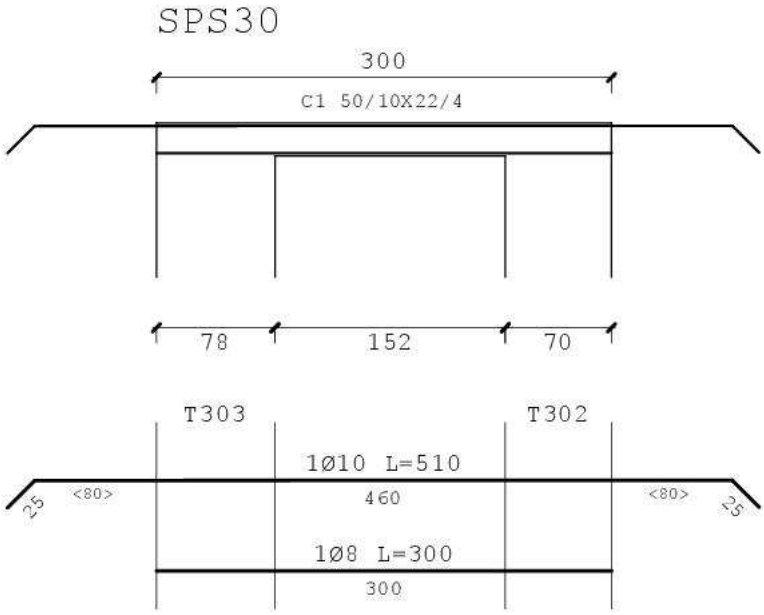


FIG. B.53 Progetto originale – Travetti solaio PS: SPS30 (Scala 1:50)

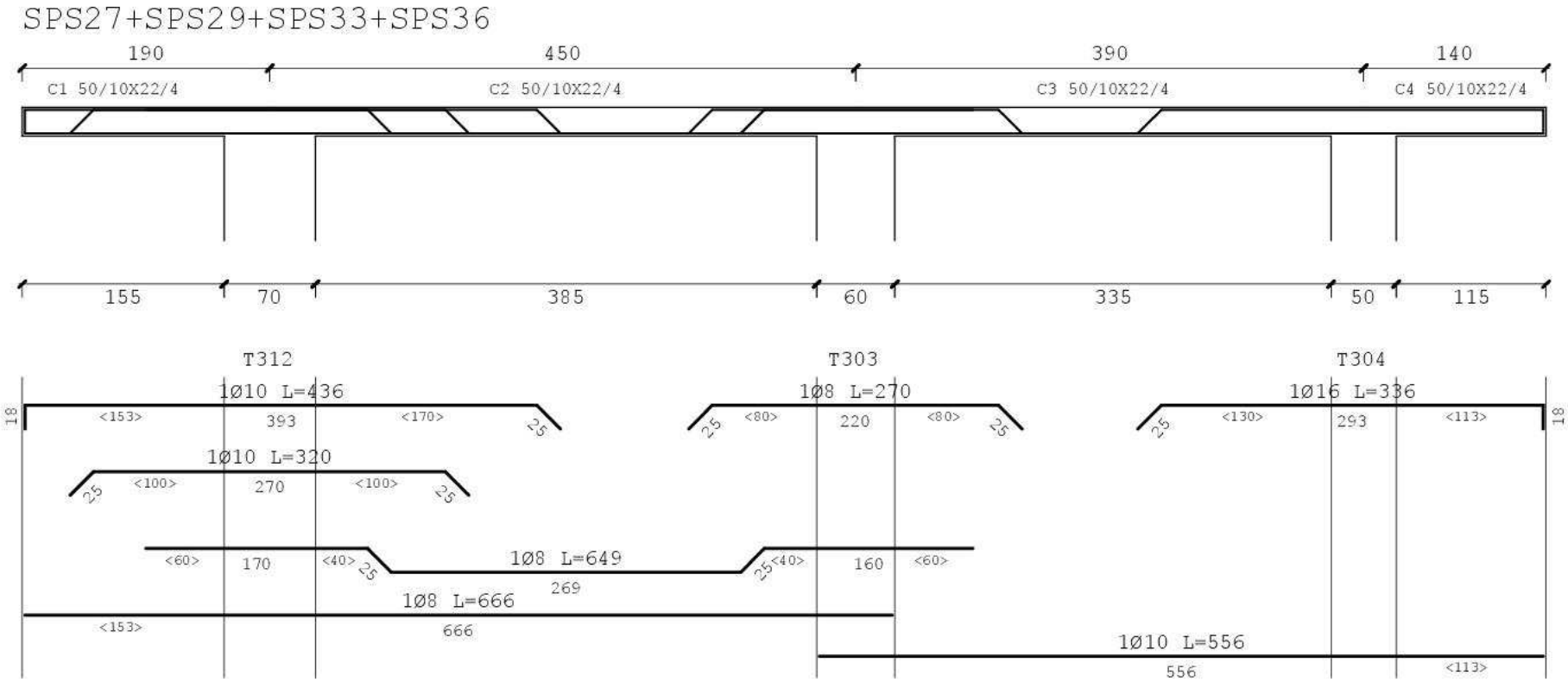


FIG. B.54 Progetto originale – Travetti solaio PS: SPS27-SPS29-SPS33-SPS36 (Scala 1:50)

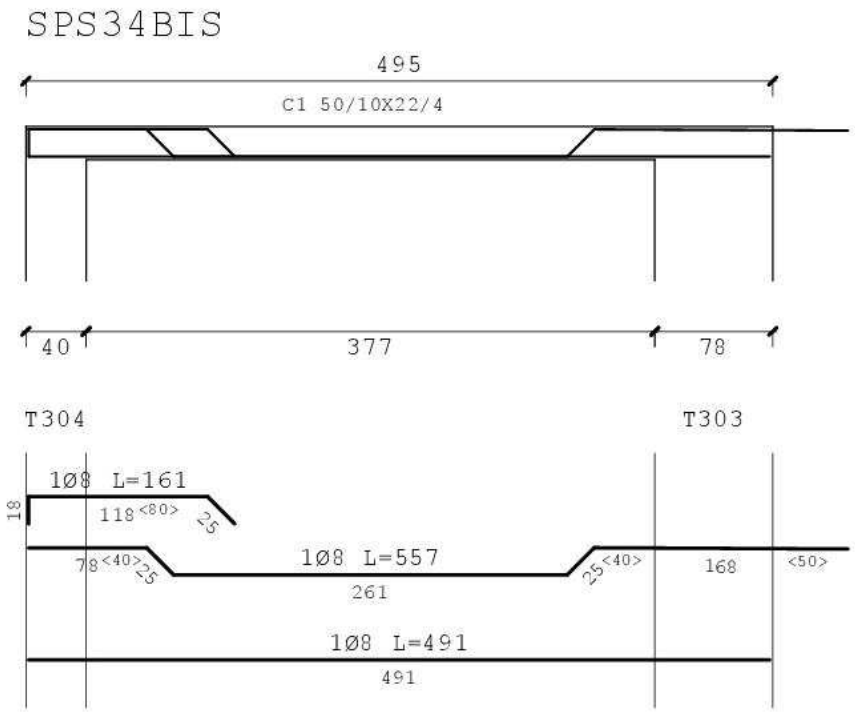


FIG. B.55 Progetto originale – Travetti solaio PS: SPS34BIS (Scala 1:50)

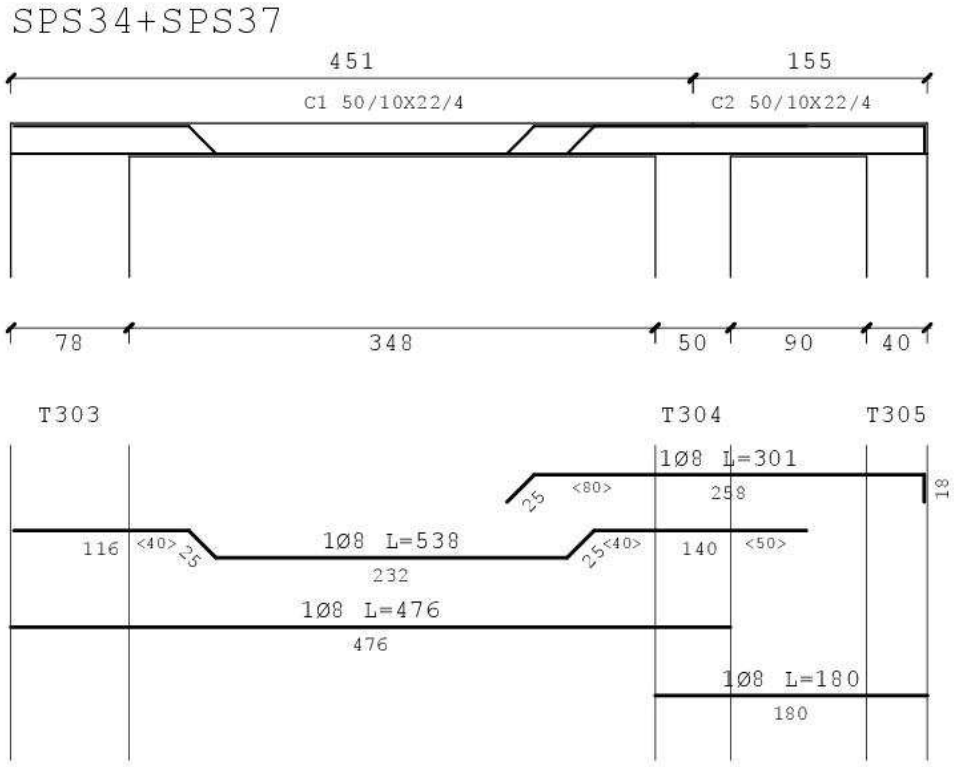


FIG. B.56 Progetto originale – Travetti solaio PS: SPS34-SPS37 (Scala 1:50)

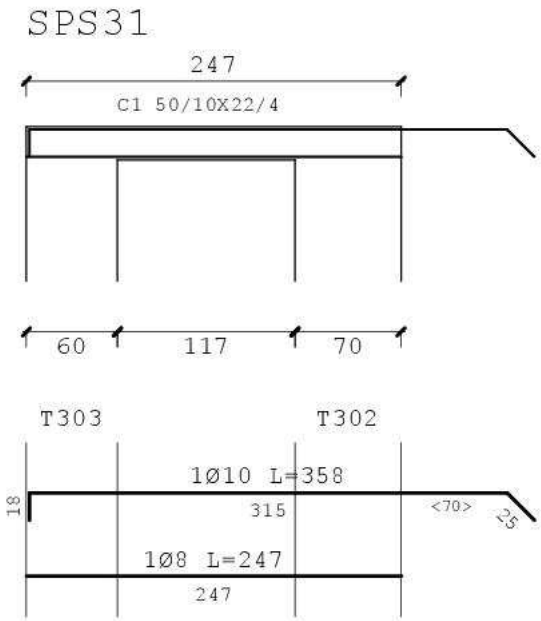


FIG. B.57 Progetto originale – Travetti solaio PS: SPS31 (Scala 1:50)

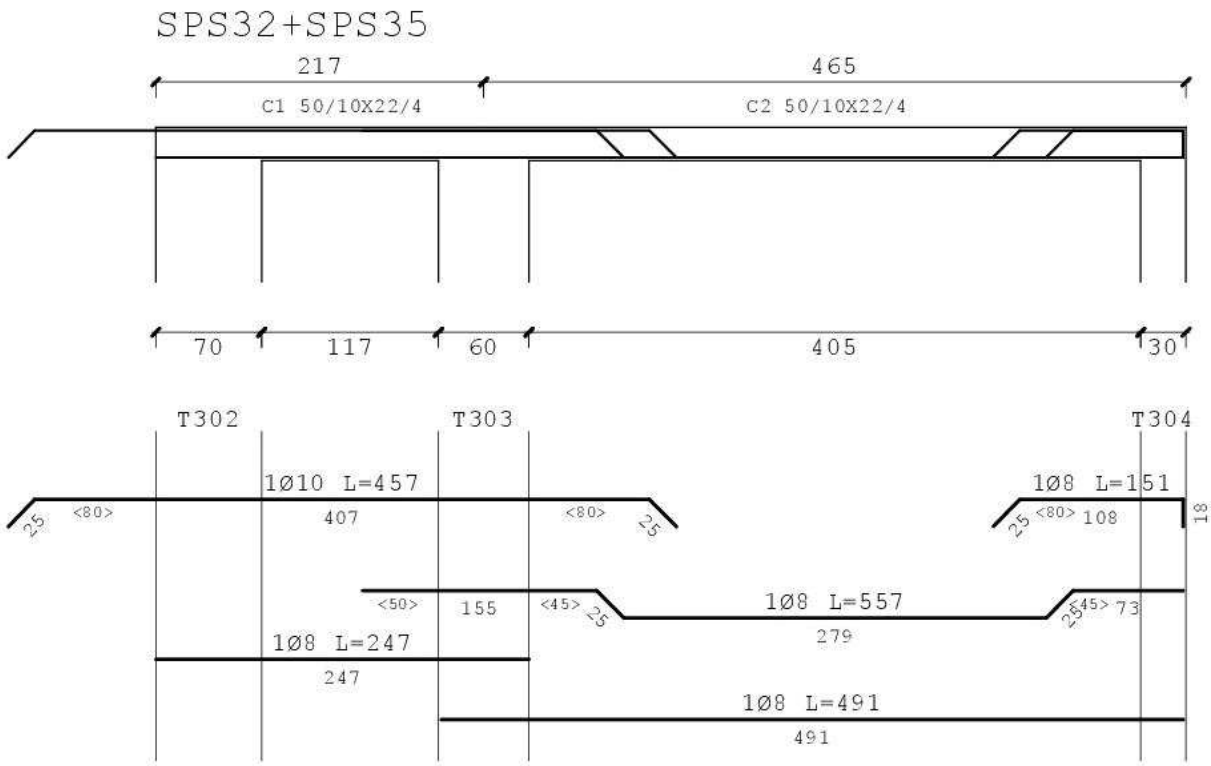
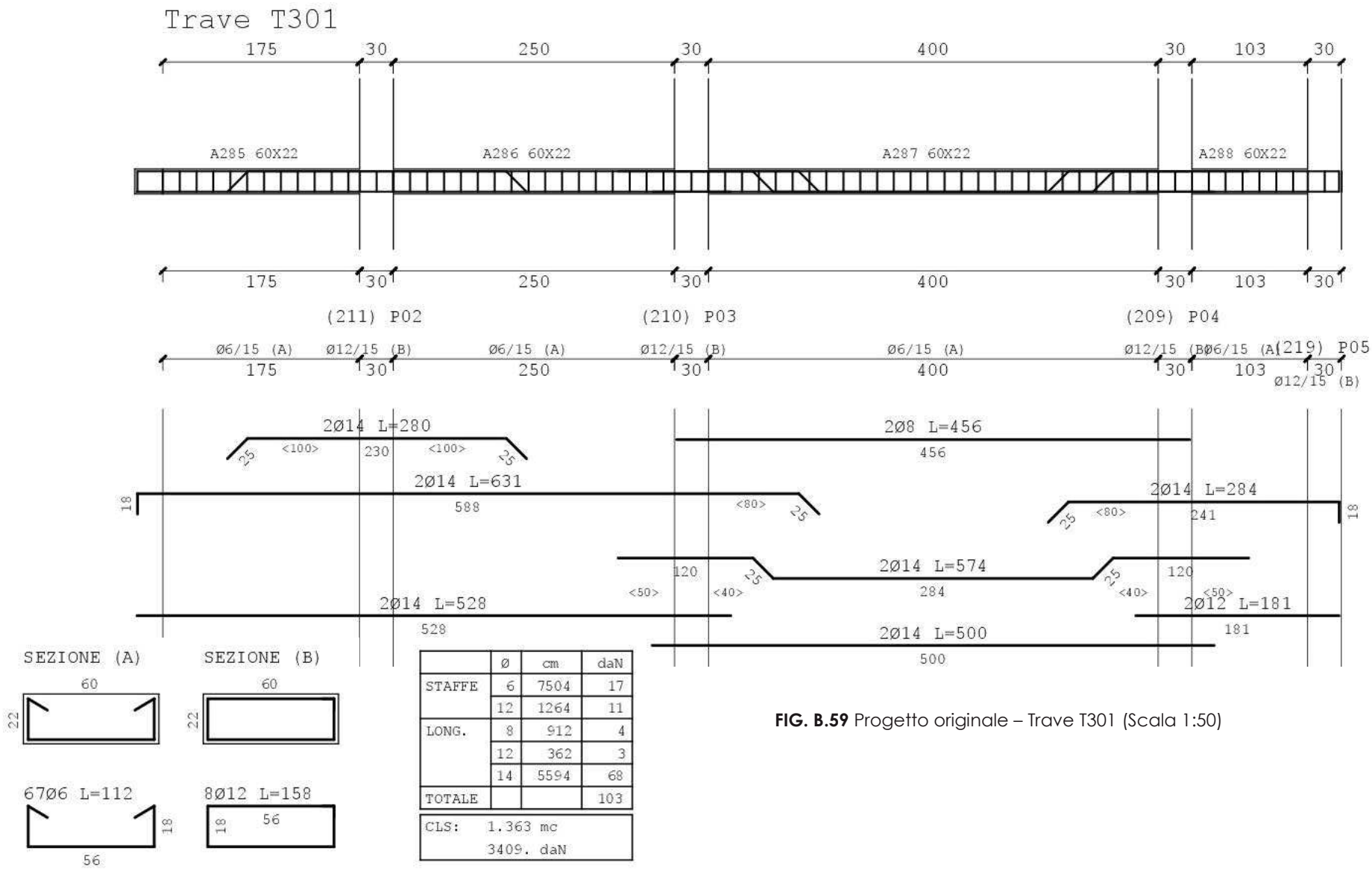


FIG. B.58 Progetto originale – Travetti solaio PS: SPS32+SPS35 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	7504	17
	12	1264	11
LONG.	8	912	4
	12	362	3
	14	5594	68
TOTALE			103

CLS: 1.363 mc
3409. daN

FIG. B.59 Progetto originale – Trave T301 (Scala 1:50)

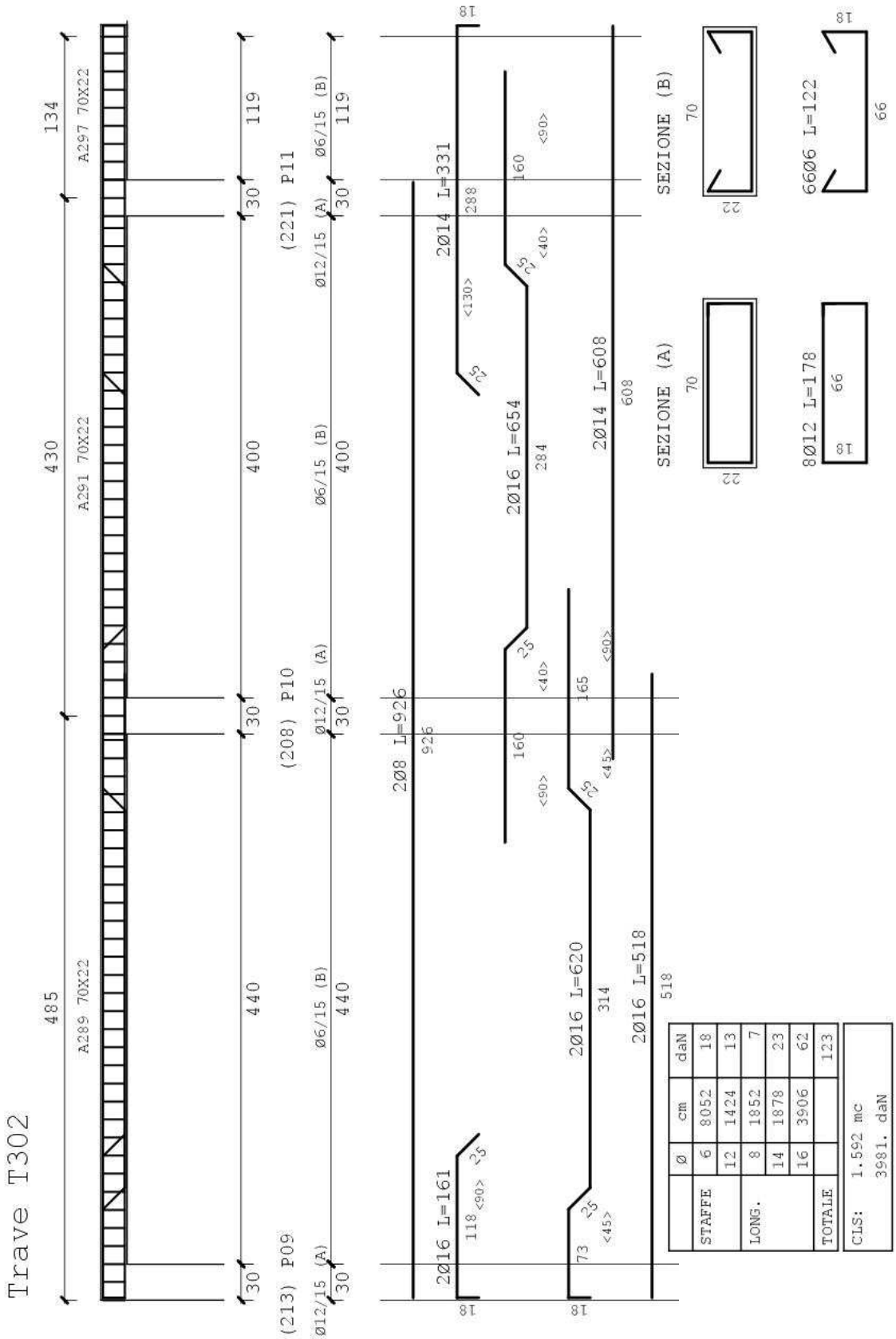
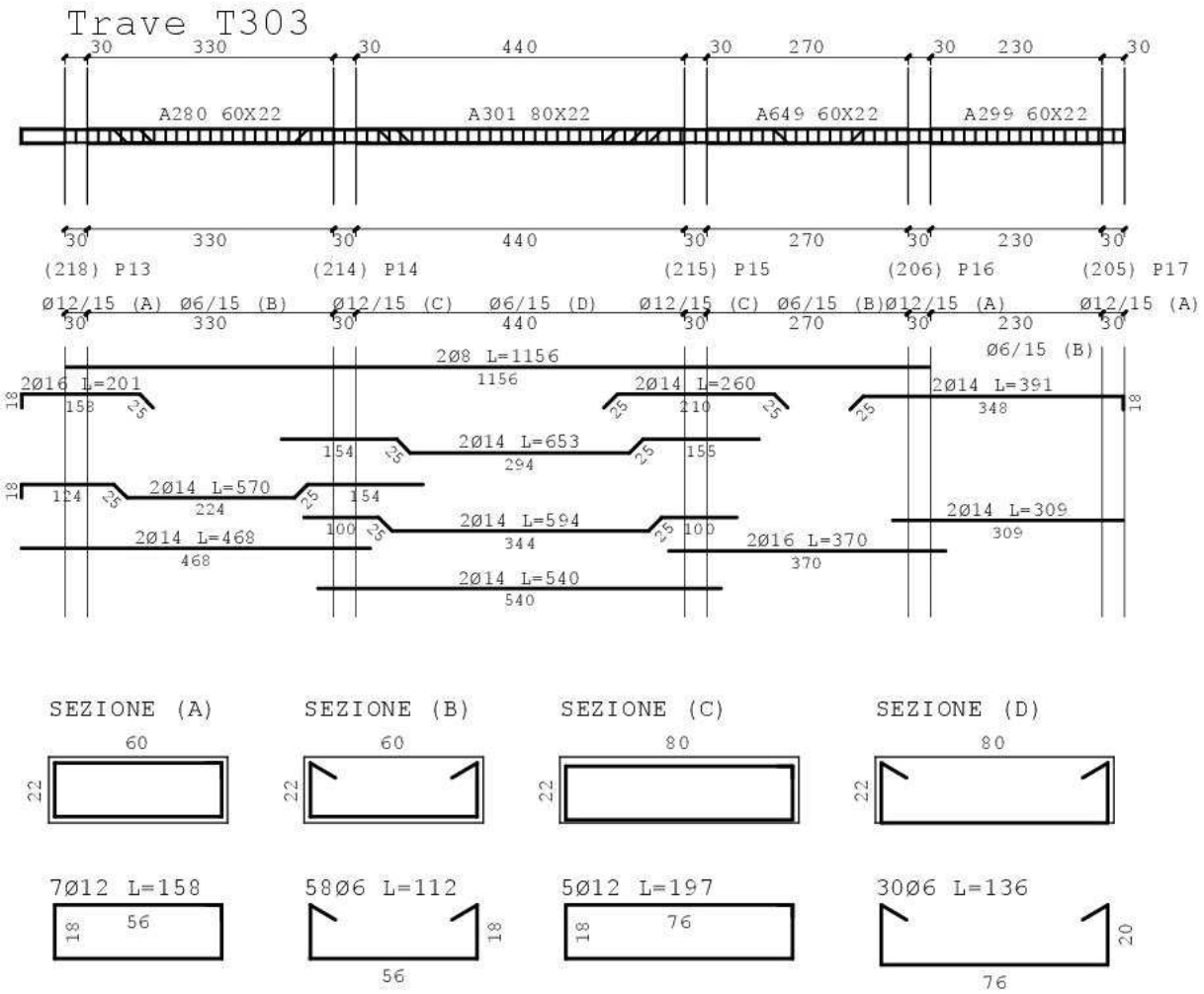


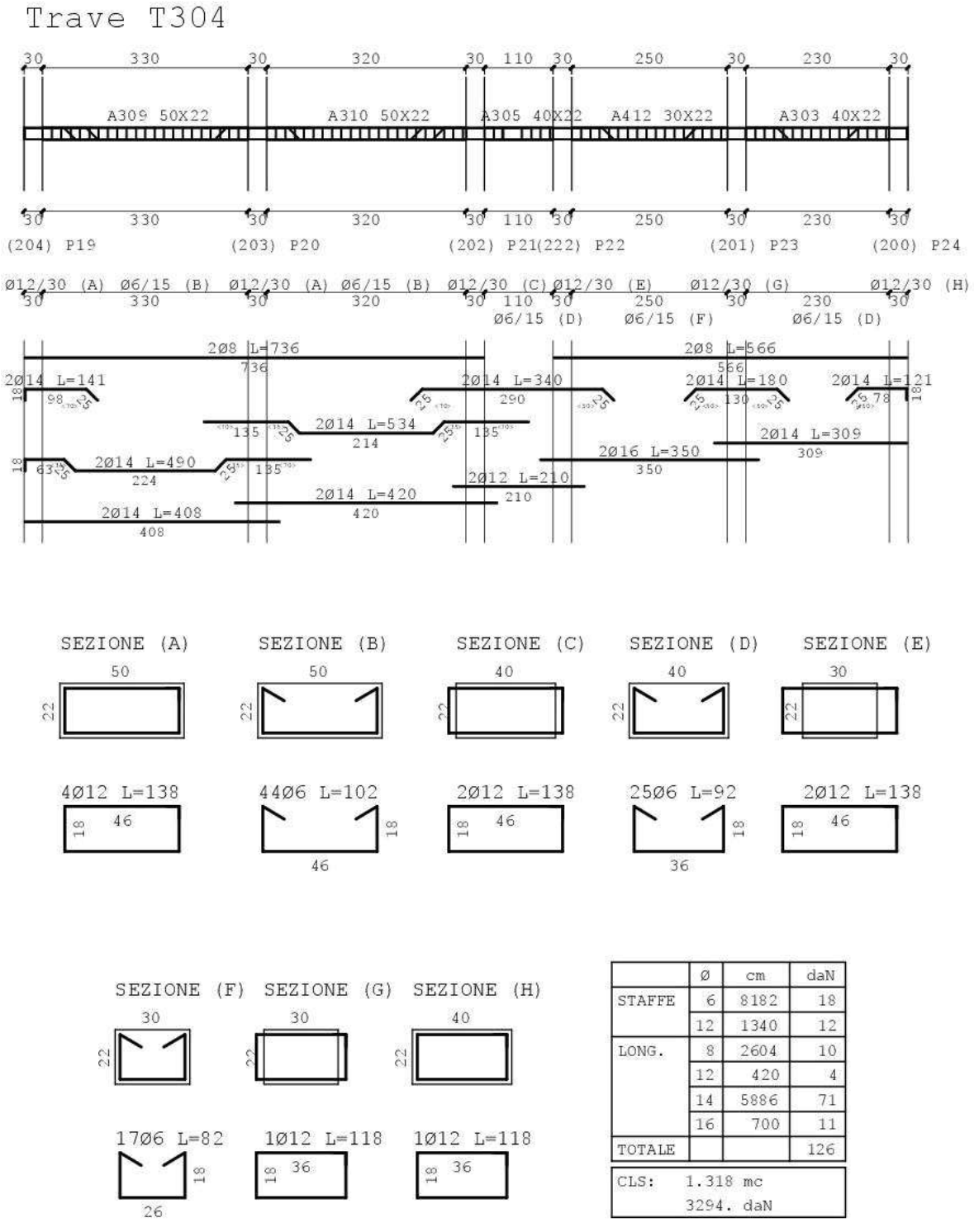
FIG. B.60 Progetto originale – Trave T302 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	10576	23
	12	2091	19
LONG.	8	2312	9
	14	7570	91
	16	1142	18
TOTALE			160

CLS:	2.042 mc
	5104. daN

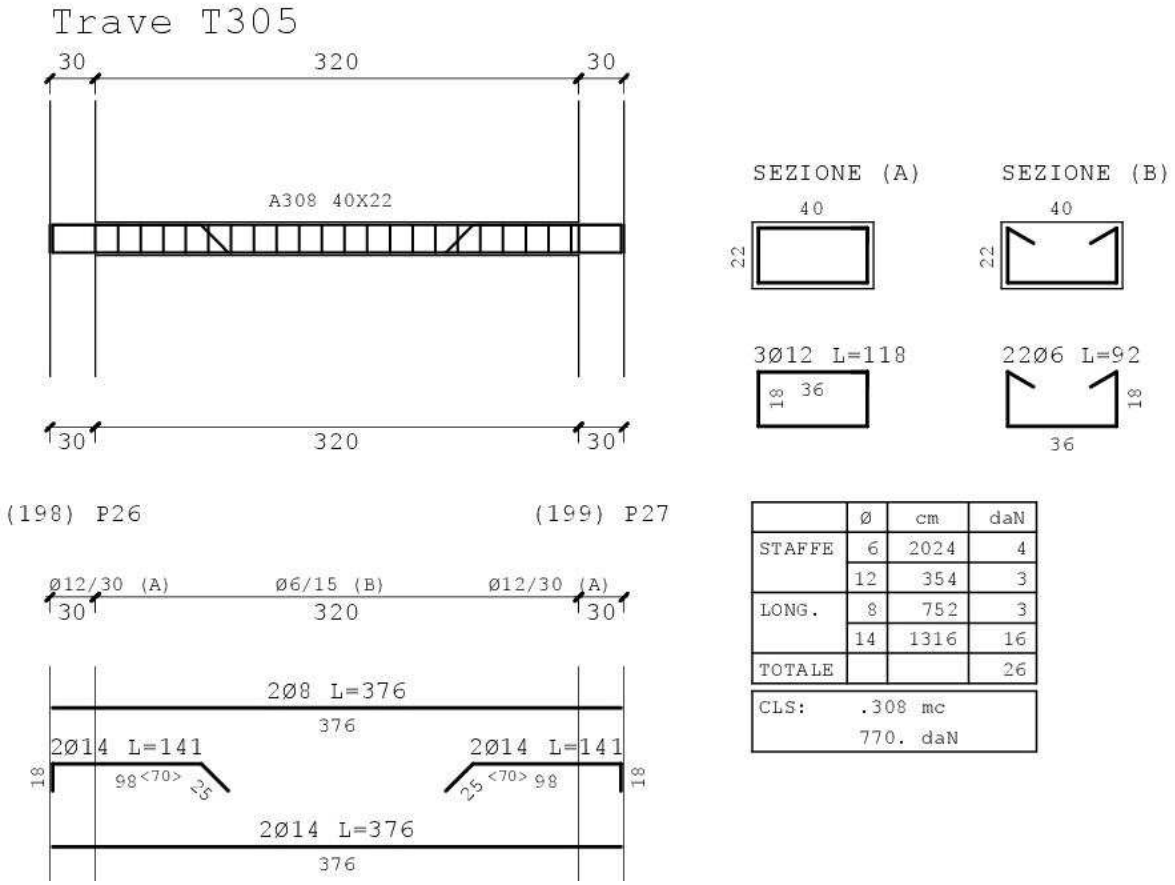
FIG. B.61 Progetto originale – Trave T303 (Scala 1:100)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	8182	18
	12	1340	12
LONG.	8	2604	10
	12	420	4
	14	5886	71
	16	700	11
TOTALE			126

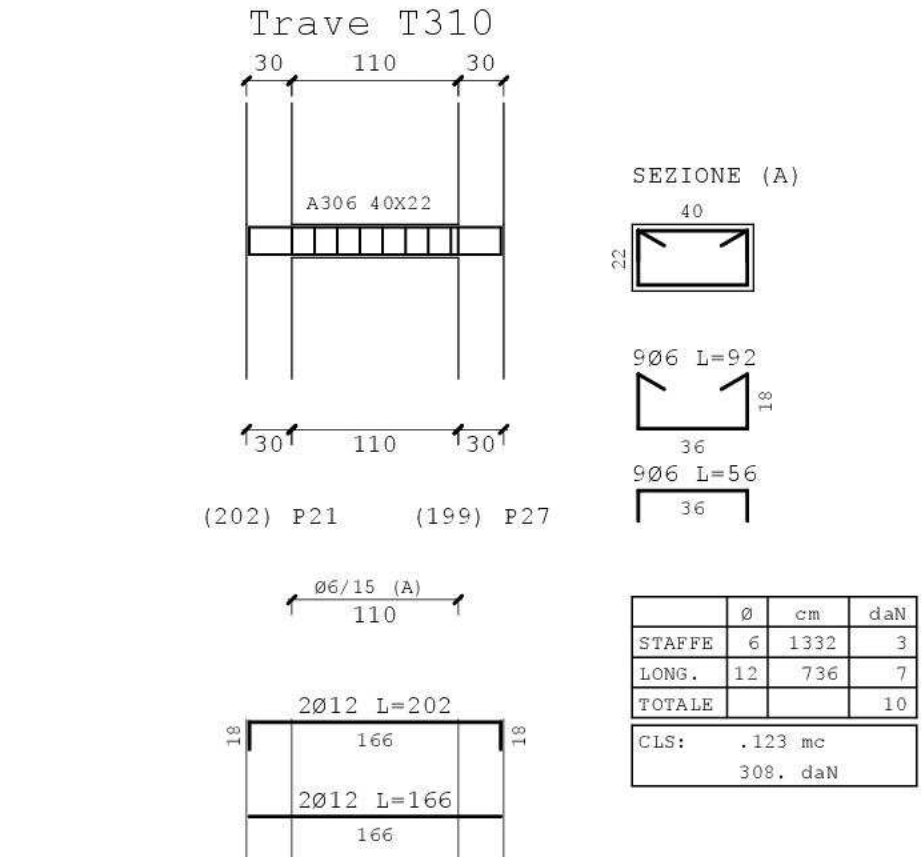
CLS:	1.318 mc
	3294. daN

FIG. B.62 Progetto originale – Trave T304 (Scala 1:100)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	2024	4
	12	354	3
LONG.	8	752	3
	14	1316	16
TOTALE			26

CLS: .308 mc
770. daN



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	1332	3
LONG.	12	736	7
TOTALE			10

CLS: .123 mc
308. daN

FIG. B.63 Progetto originale – Trave T305 e T310 (Scala 1:50)

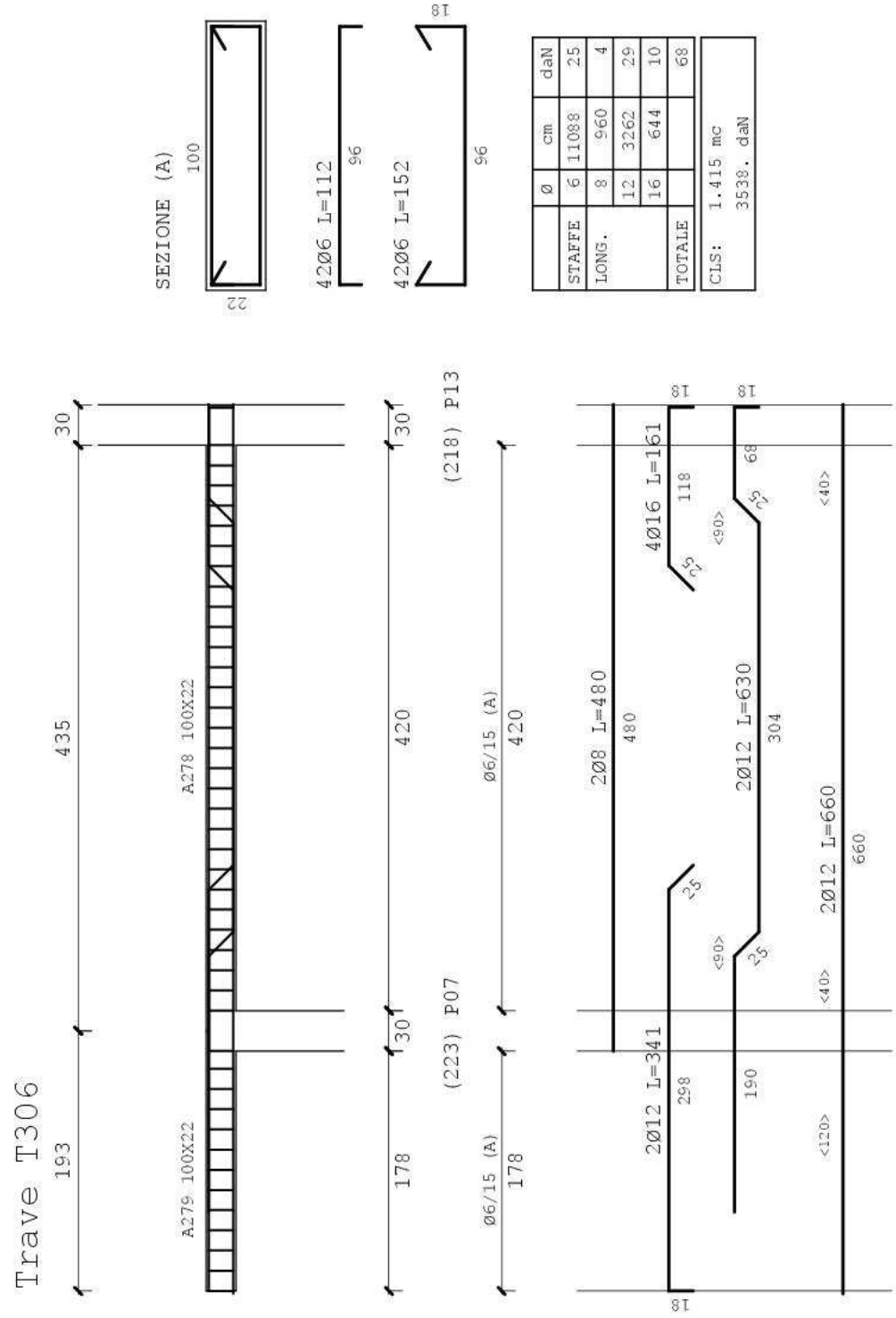
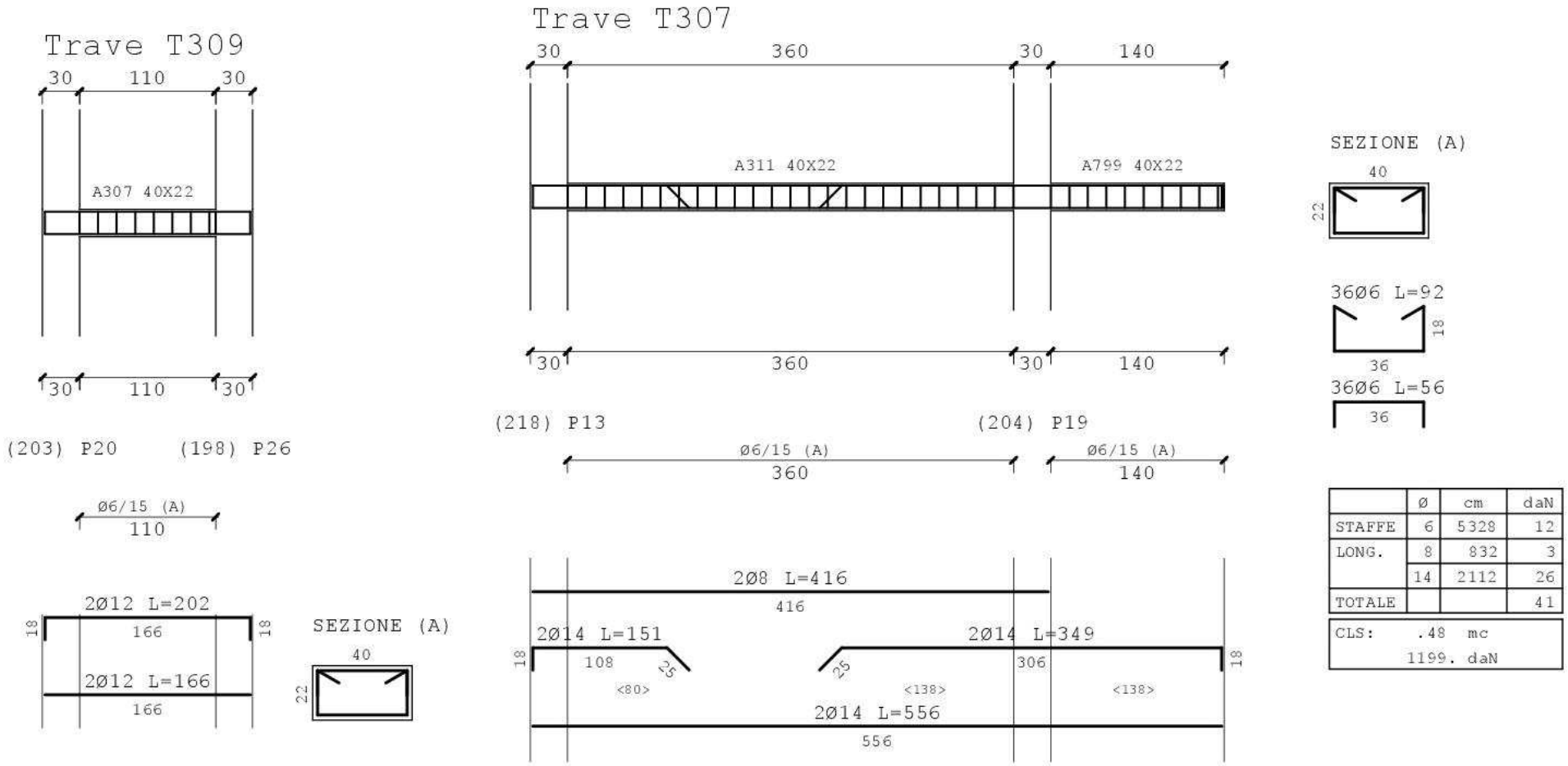


FIG. B.64 Progetto originale – Trave T306 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	1332	3
LONG.	12	736	7
TOTALE			10

CLS: .123 mc
308. daN

	Ø	cm	daN
STAFFE	6	5328	12
LONG.	8	832	3
	14	2112	26
TOTALE			41

CLS: .48 mc
1199. daN

FIG. B.65 Progetto originale – Travi T309 e T307 (Scala 1:50)

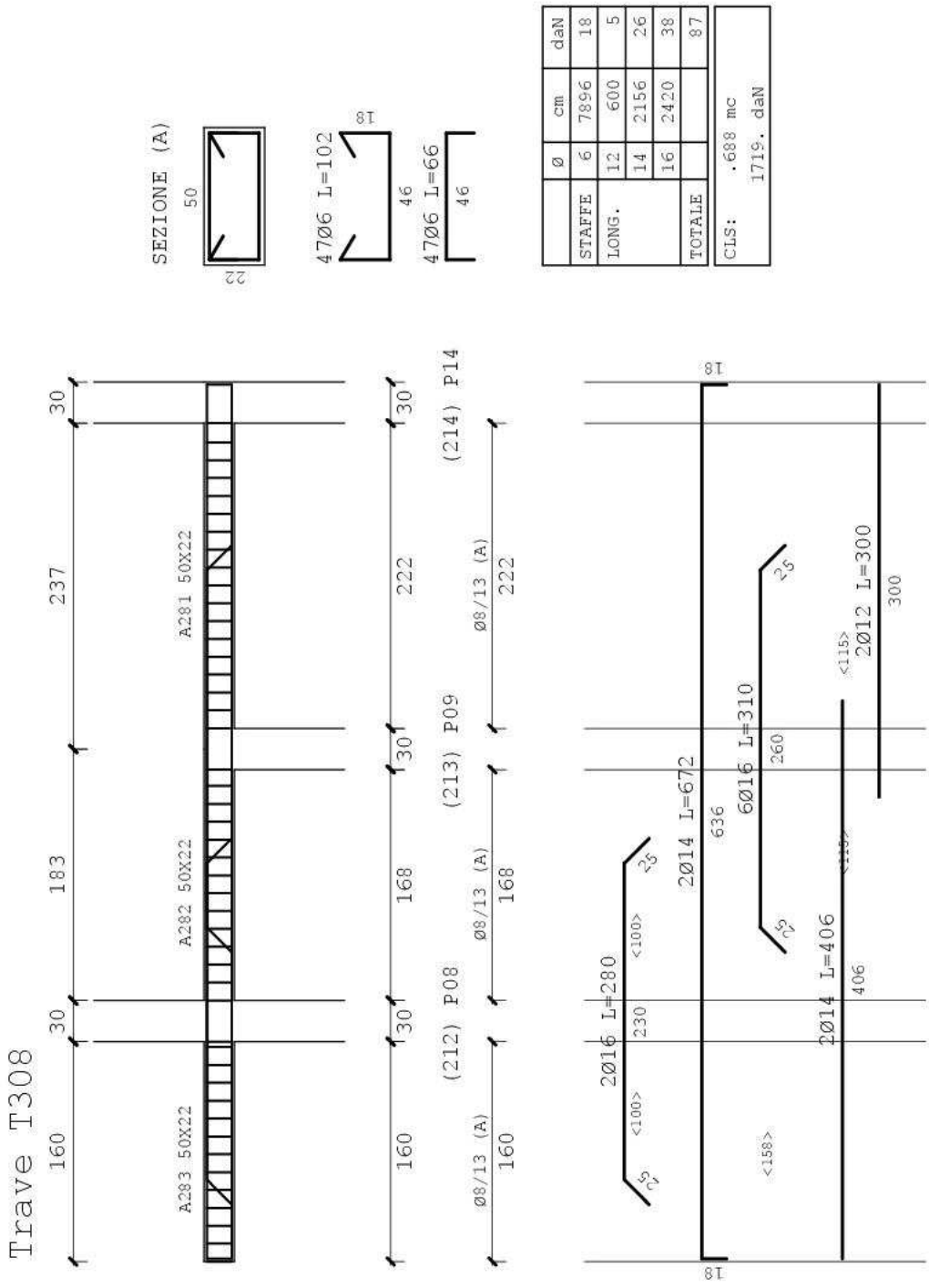
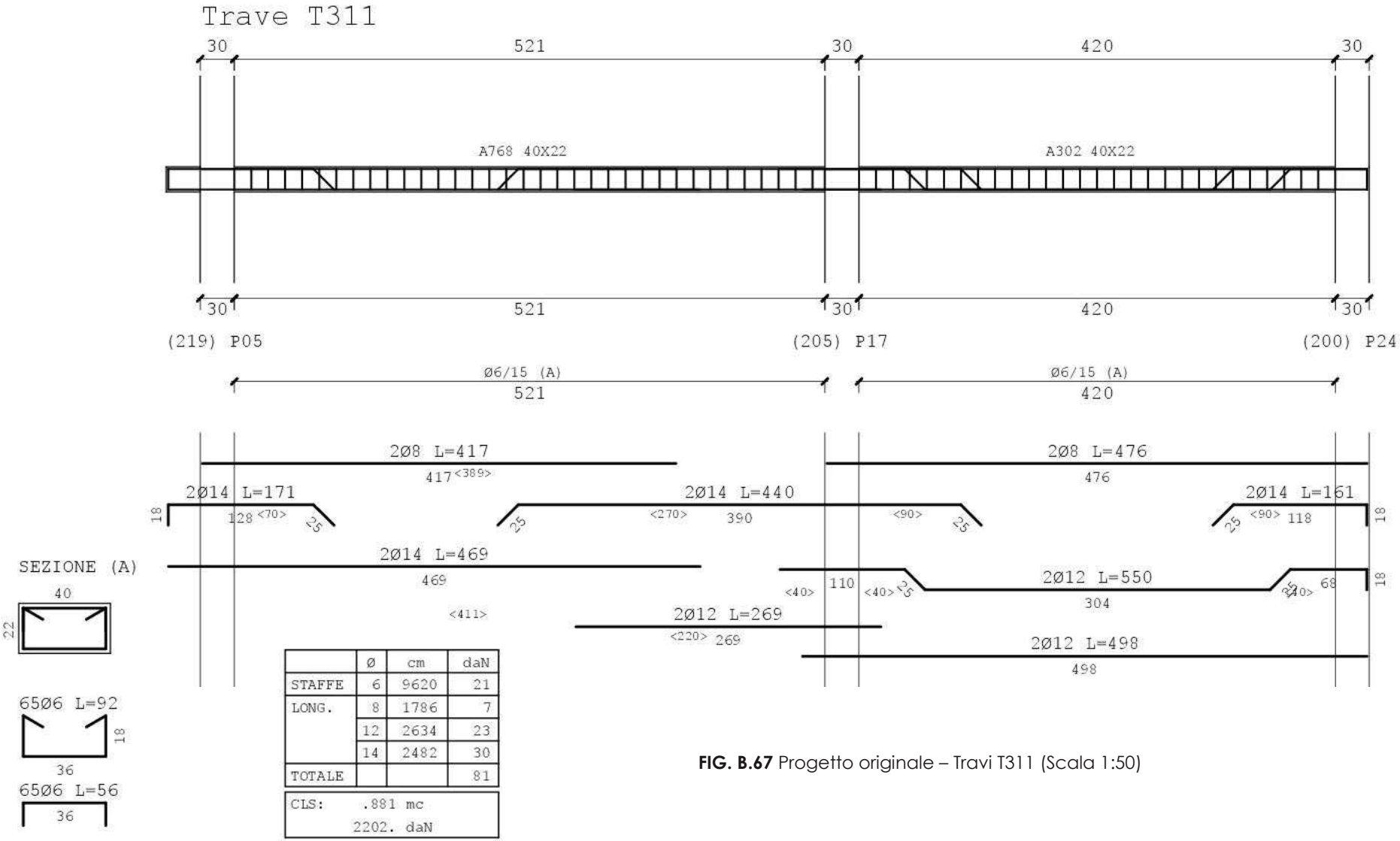


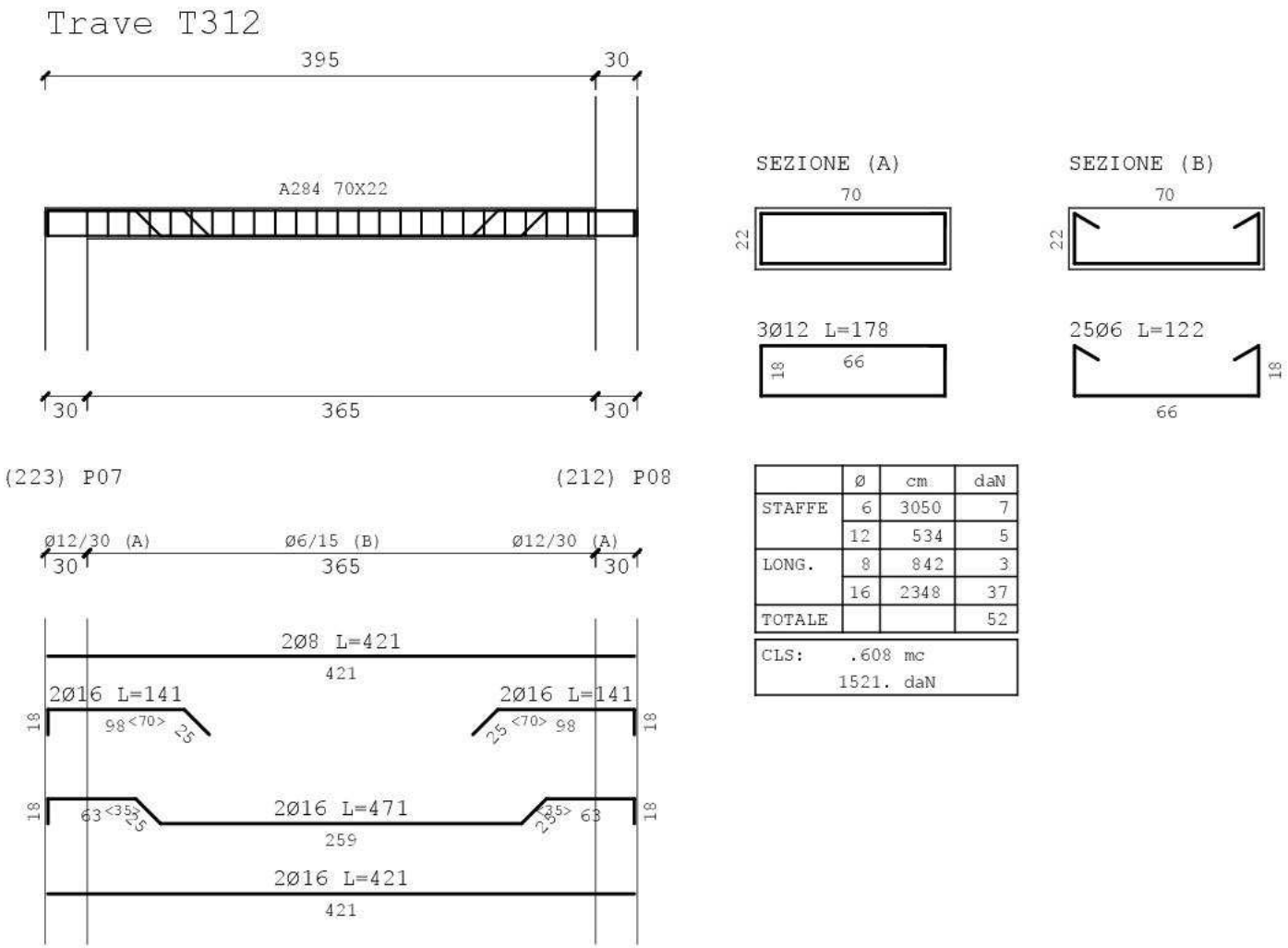
FIG. B.66 Progetto originale – Trave T308 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	9620	21
LONG.	8	1786	7
	12	2634	23
	14	2482	30
TOTALE			81

CLS: .881 mc
2202. daN

FIG. B.67 Progetto originale – Travi T311 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	3050	7
	12	534	5
LONG.	8	842	3
	16	2348	37
TOTALE			52

CLS: .608 mc
1521. daN

FIG. B.68 Progetto originale – Trave T312 (Scala 1:50)

B.6 Pianta solaio di copertura e schemi dei ferri

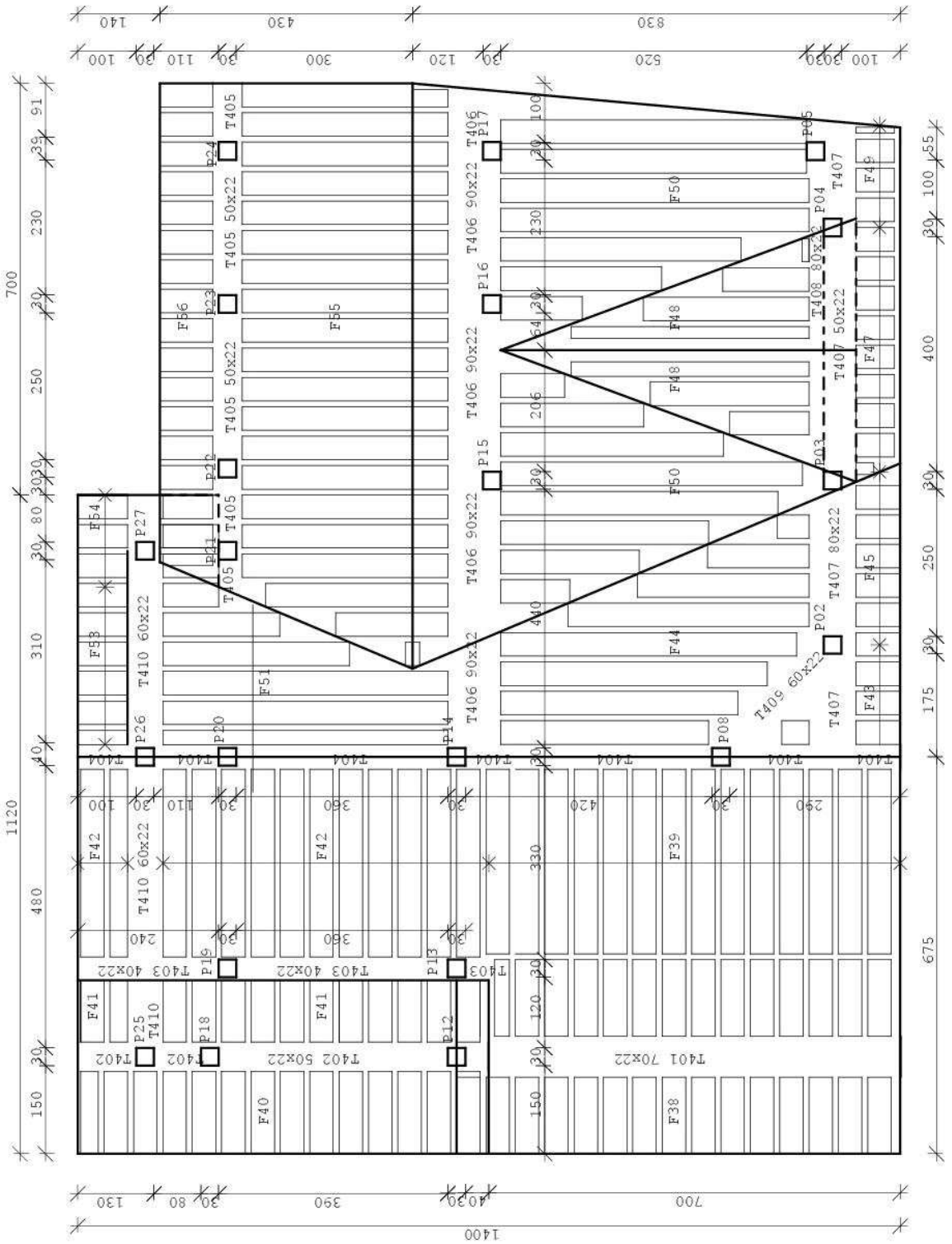


FIG. B.69 Progetto originale – Pianta Copertura - Solaio (18+4) (Scala 1:100)

La sezione di riferimento per i travetti del solaio in latero-cemento del solaio di copertura è la stessa introdotta per l'orizzontamento del piano terra (FIG. B.8). I disegni esecutivi e gli schemi

di armatura dei travetti e delle travi di falda sono riportati di seguito, così come presentati nelle Tavole originali.

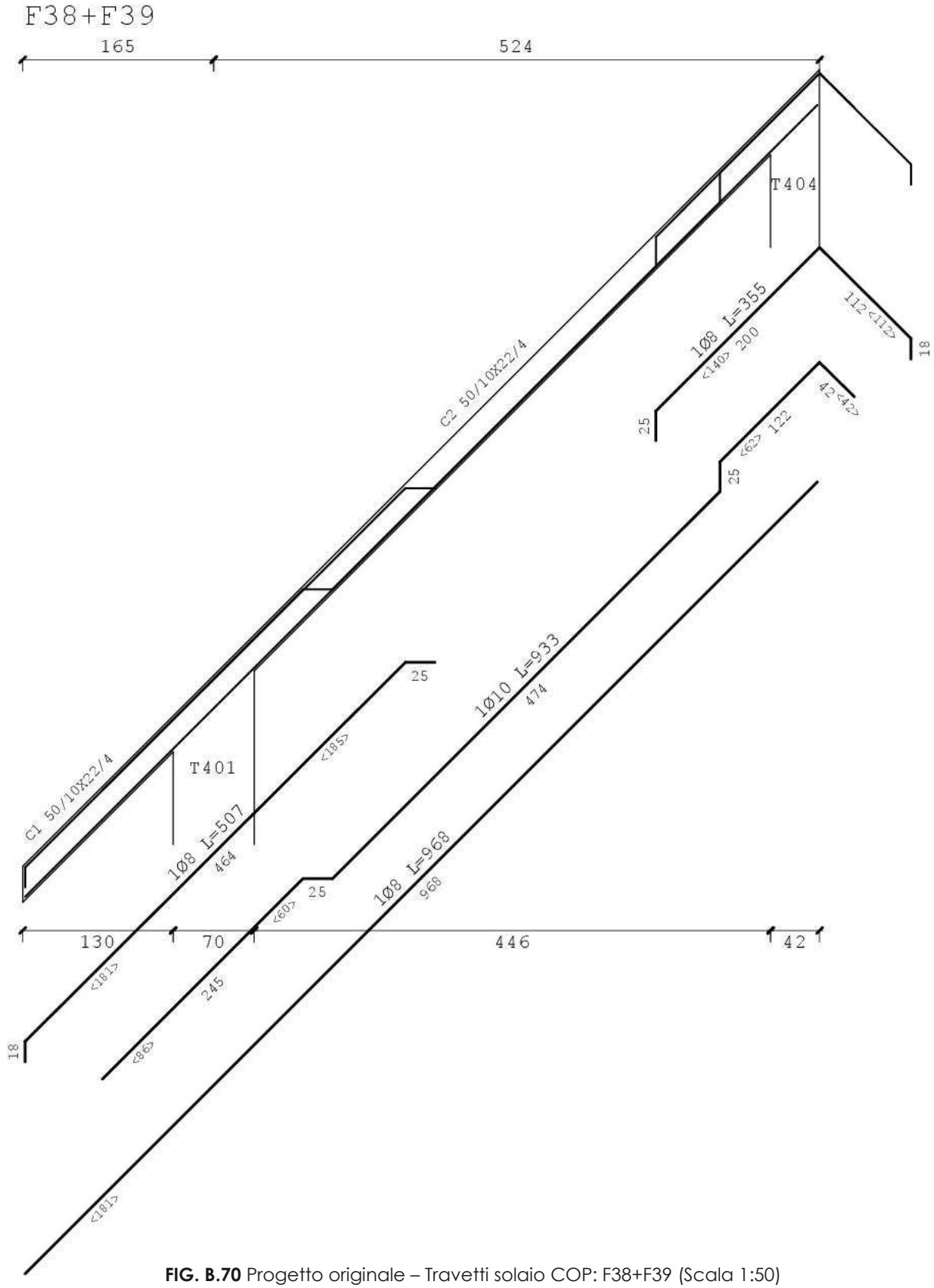


FIG. B.70 Progetto originale – Travetti solaio COP: F38+F39 (Scala 1:50)

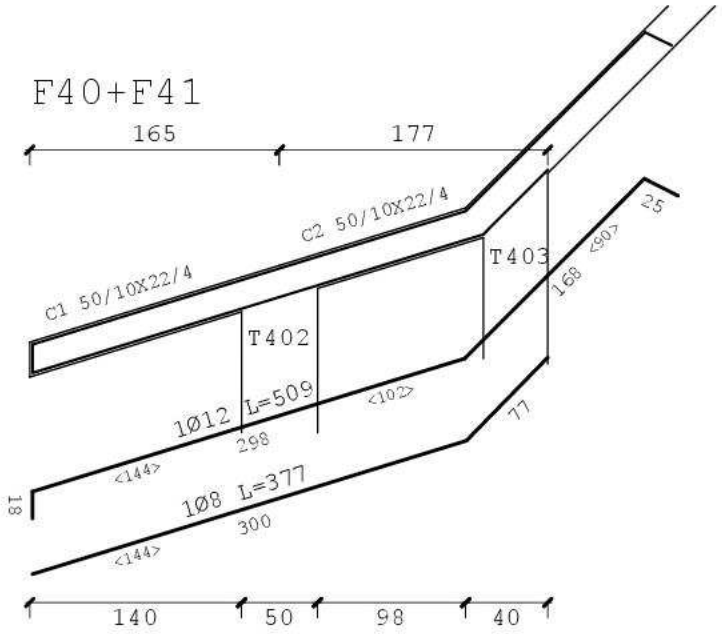


FIG. B.71 Progetto originale – Travetti solaio COP: F40+F41 (Scala 1:50)

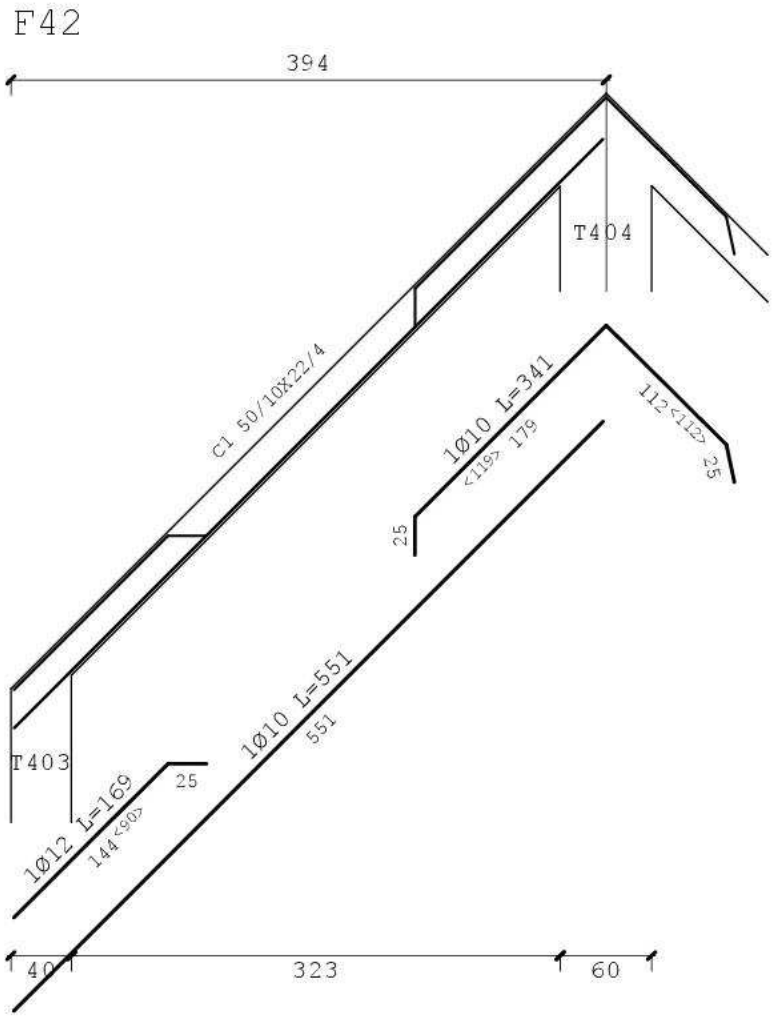


FIG. B.72 Progetto originale – Travetti solaio COP: F42 (Scala 1:50)

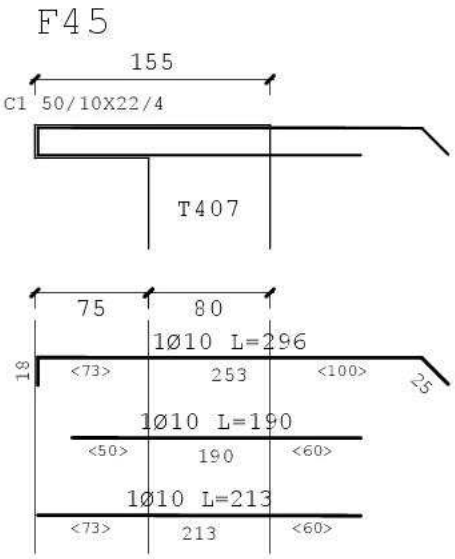


FIG. B.73 Progetto originale – Travetti solaio COP: F45 (Scala 1:50)

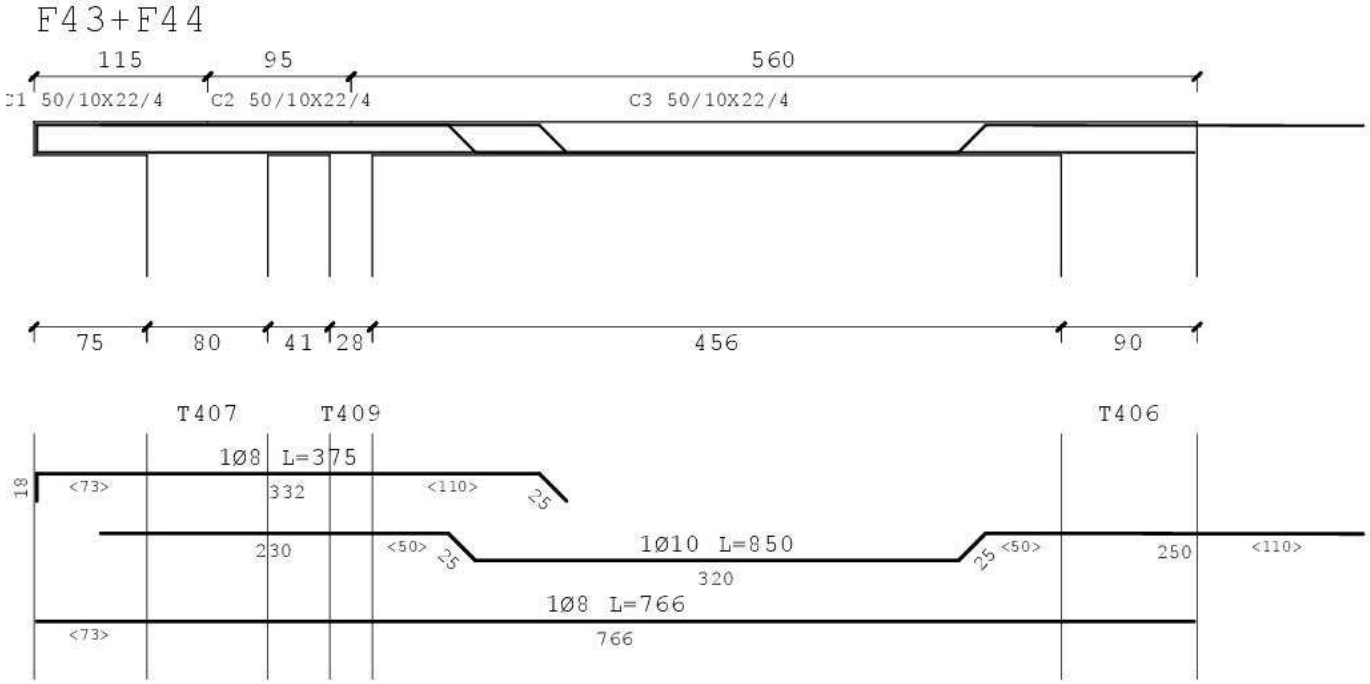


FIG. B.74 Progetto originale – Travetti solaio COP: F43+F44 (Scala 1:50)

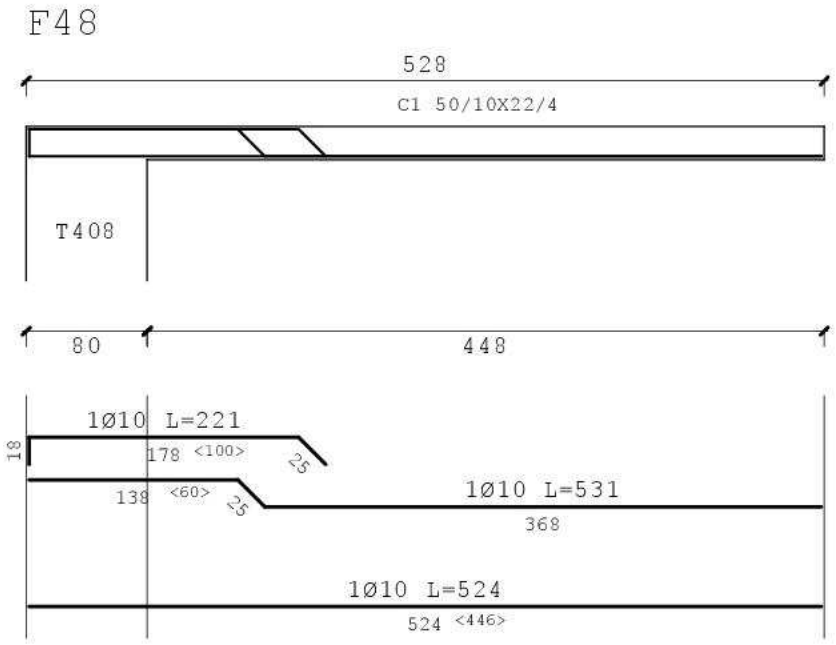


FIG. B.75 Progetto originale – Travetti solaio COP: F48(Scala 1:50)

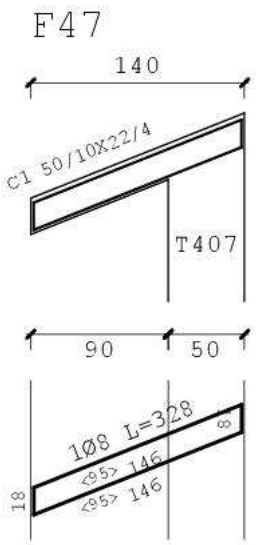


FIG. B.76 Progetto originale – Travetti solaio COP: F47 (Scala 1:50)

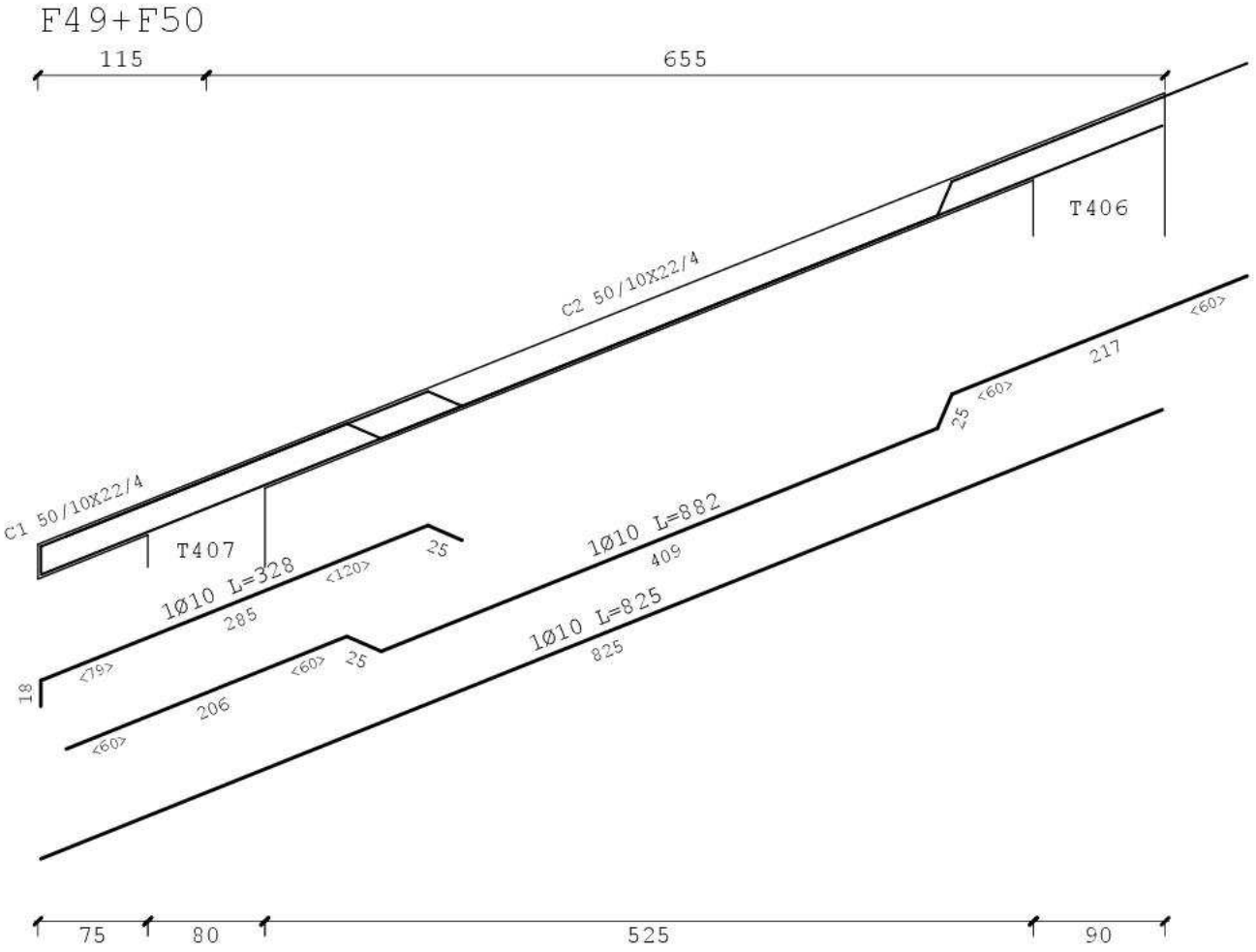


FIG. B.77 Progetto originale – Travetti solaio COP: F49+F50 (Scala 1:50)

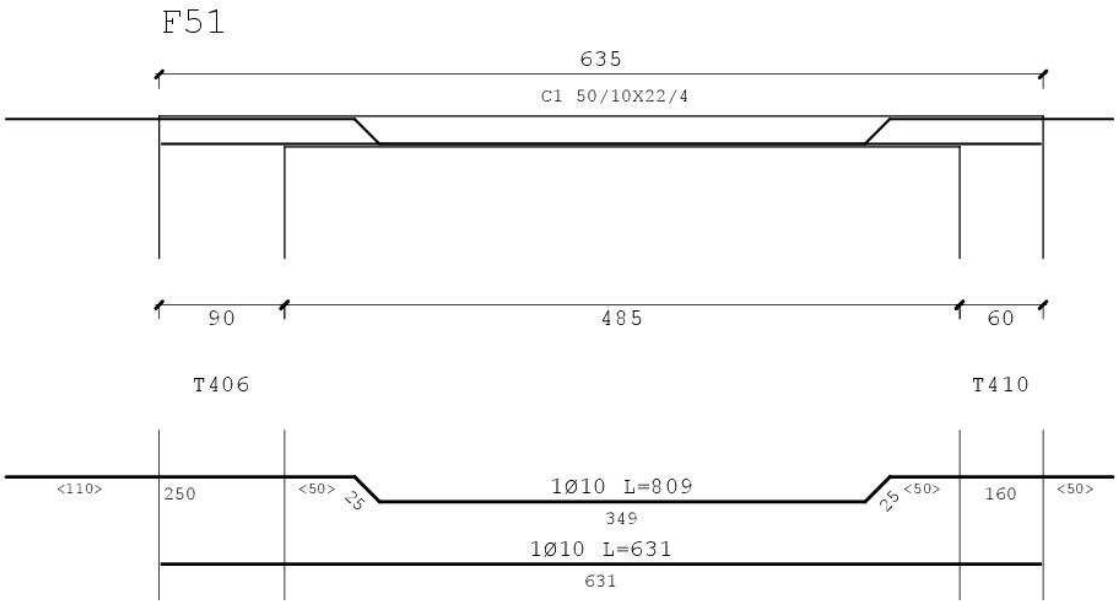


FIG. B.78 Progetto originale – Travetti solaio COP: F51 (Scala 1:50)

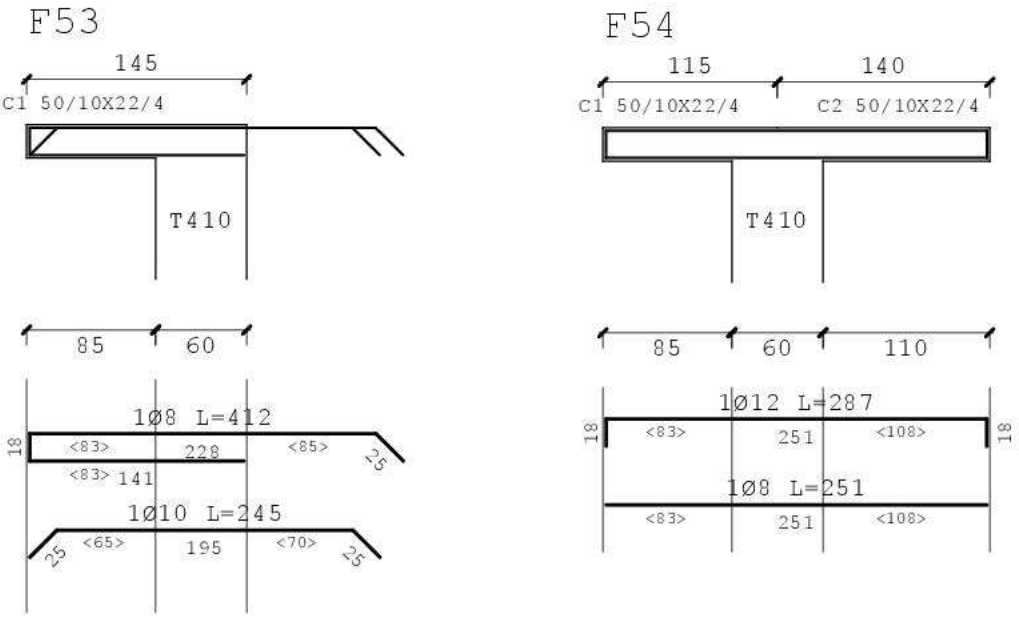


FIG. B.79 Progetto originale – Travetti solaio COP: F53 e F54 (Scala 1:50)

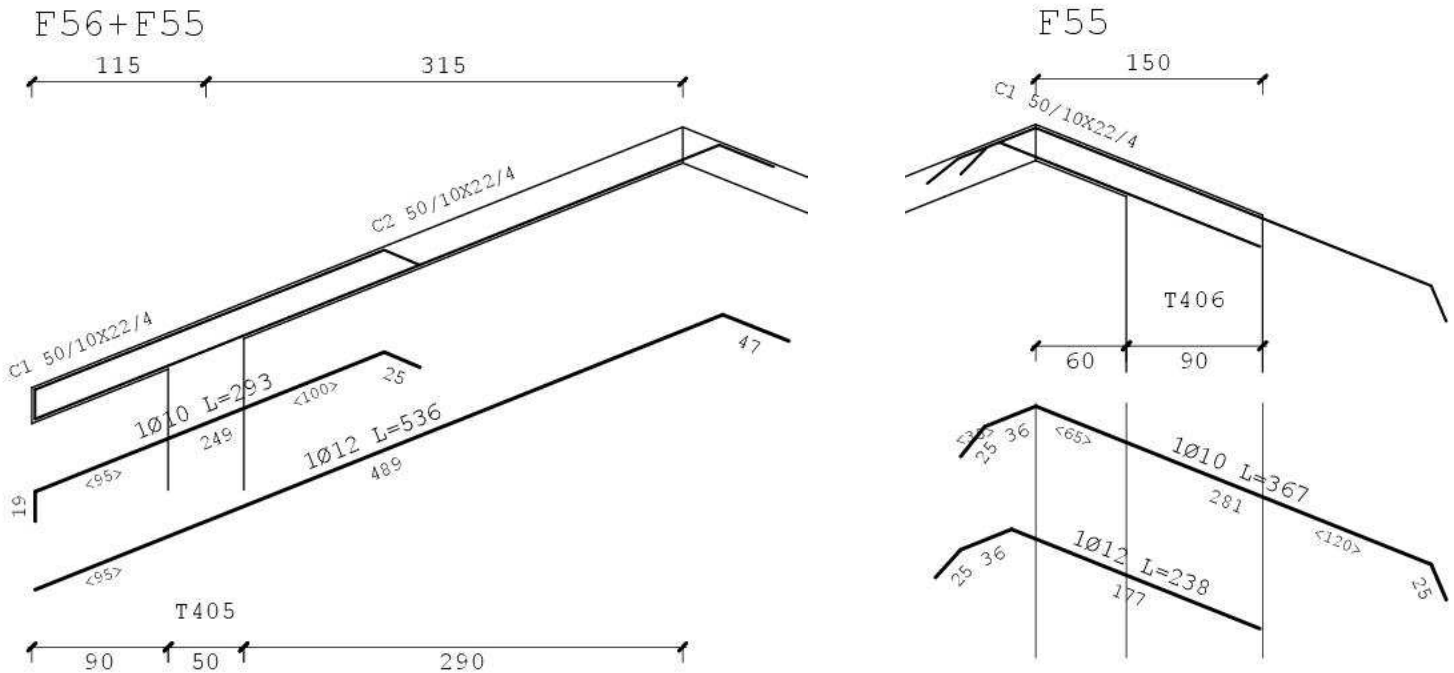
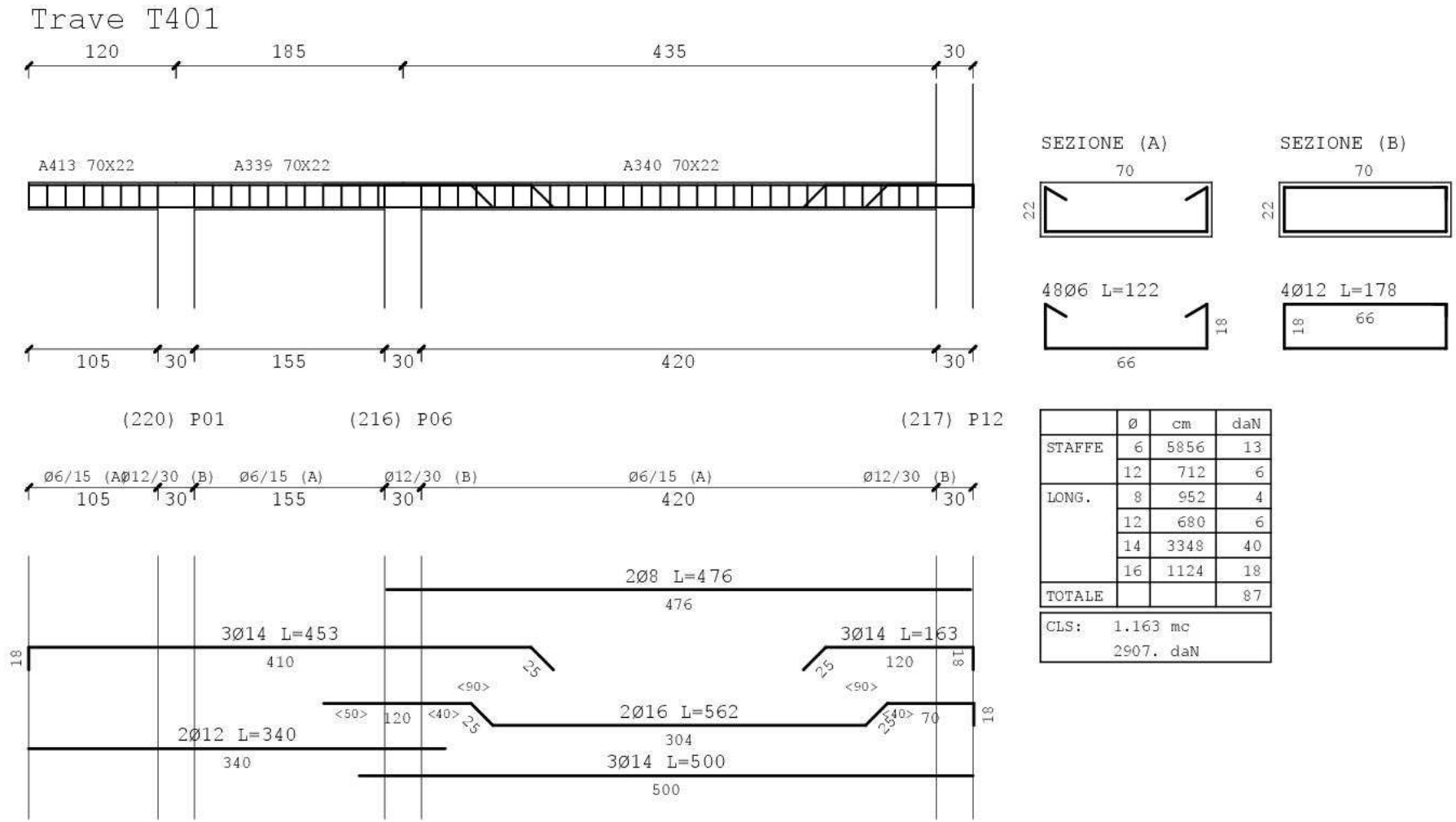


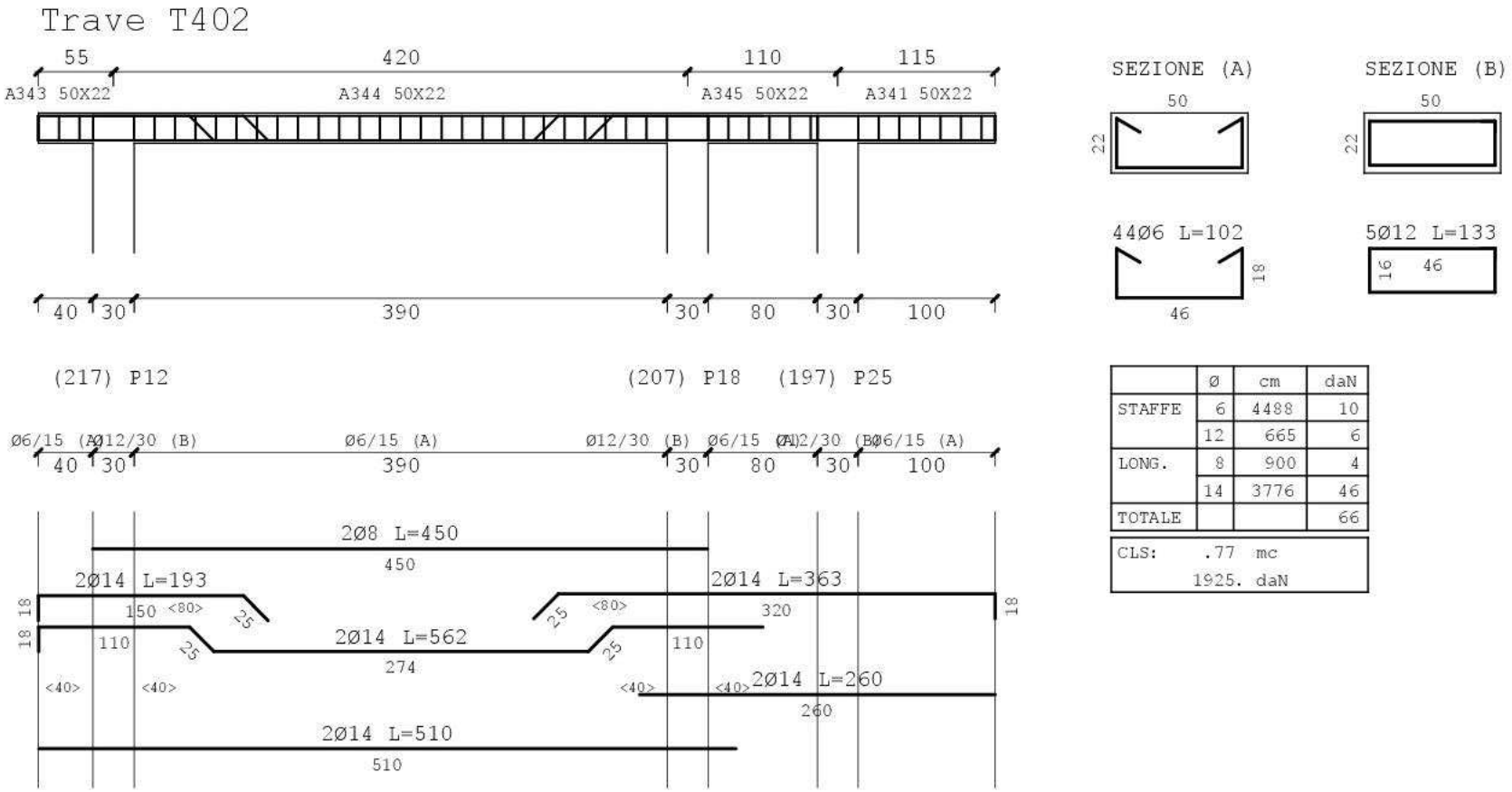
FIG. B.80 Progetto originale – Travetti solaio COP: F56 e F55 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	5856	13
	12	712	6
LONG.	8	952	4
	12	680	6
	14	3348	40
	16	1124	18
TOTALE			87

CLS:	1.163 mc
	2907. daN

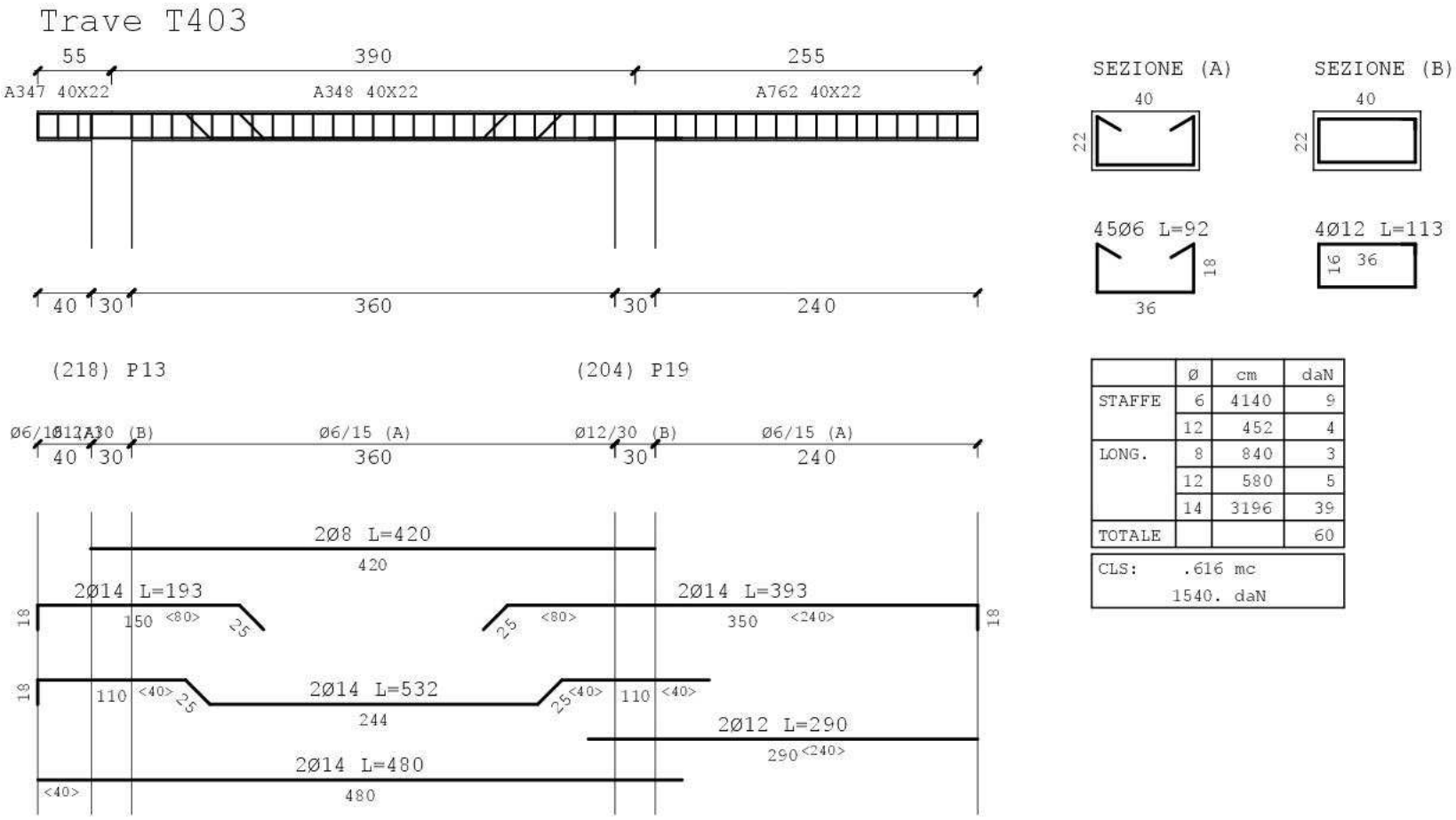
FIG. B.81 Progetto originale – Trave T401 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	4488	10
	12	665	6
LONG.	8	900	4
	14	3776	46
TOTALE			66

CLS: .77 mc
1925. daN

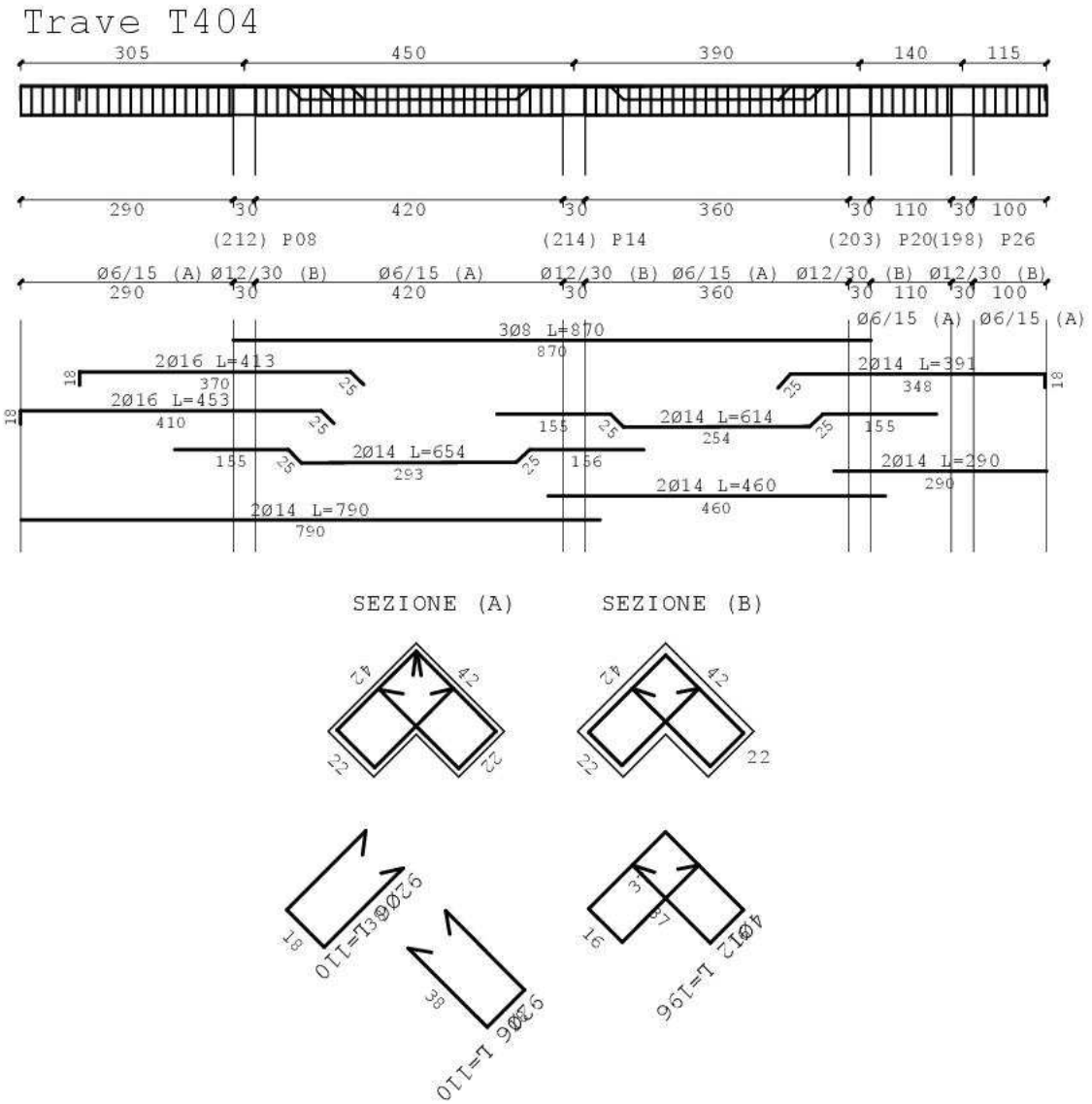
FIG. B.82 Progetto originale – Trave T402 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	4140	9
	12	452	4
LONG.	8	840	3
	12	580	5
	14	3196	39
TOTALE			60

CLS: .616 mc
1540. daN

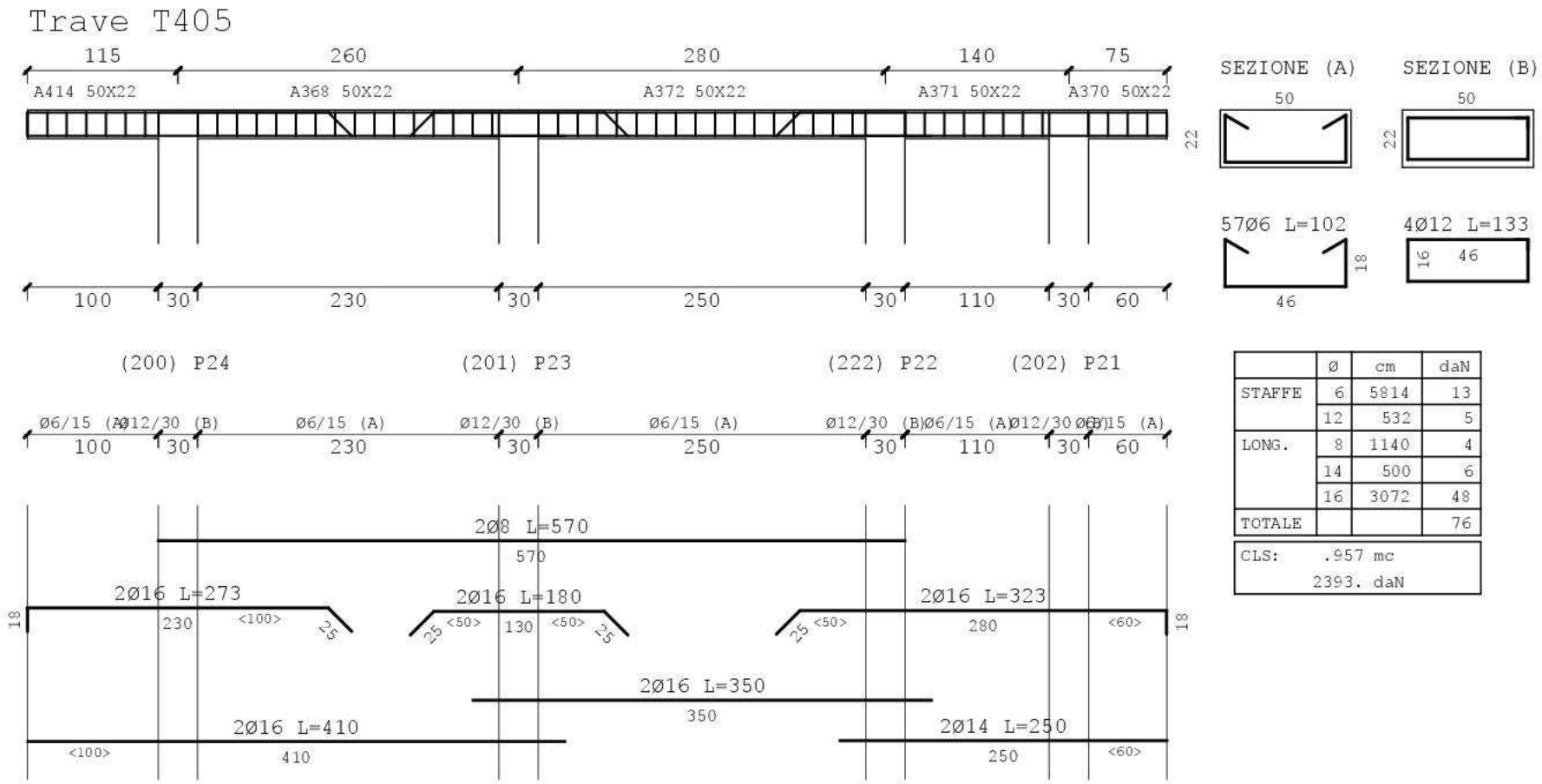
FIG. B.83 Progetto originale – Trave T403 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	20240	45
	12	784	7
LONG.	8	2610	10
	14	6398	77
	16	1732	27
TOTALE			166

CLS:	1.936 mc
	4840. daN

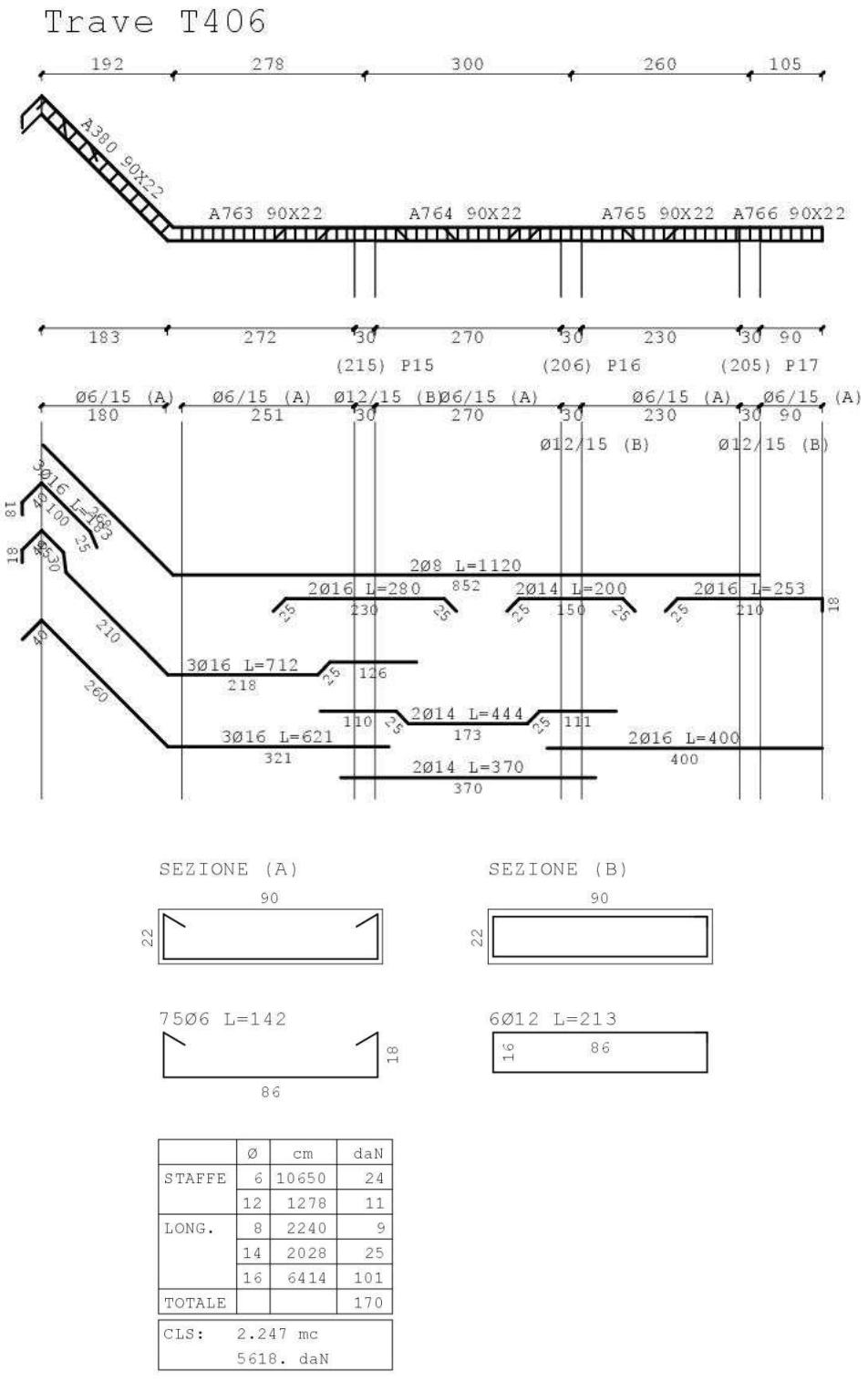
FIG. B.84 Progetto originale – Trave T404 (Scala 1:100)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	5814	13
	12	532	5
LONG.	8	1140	4
	14	500	6
	16	3072	48
TOTALE			76

CLS: .957 mc
2393. daN

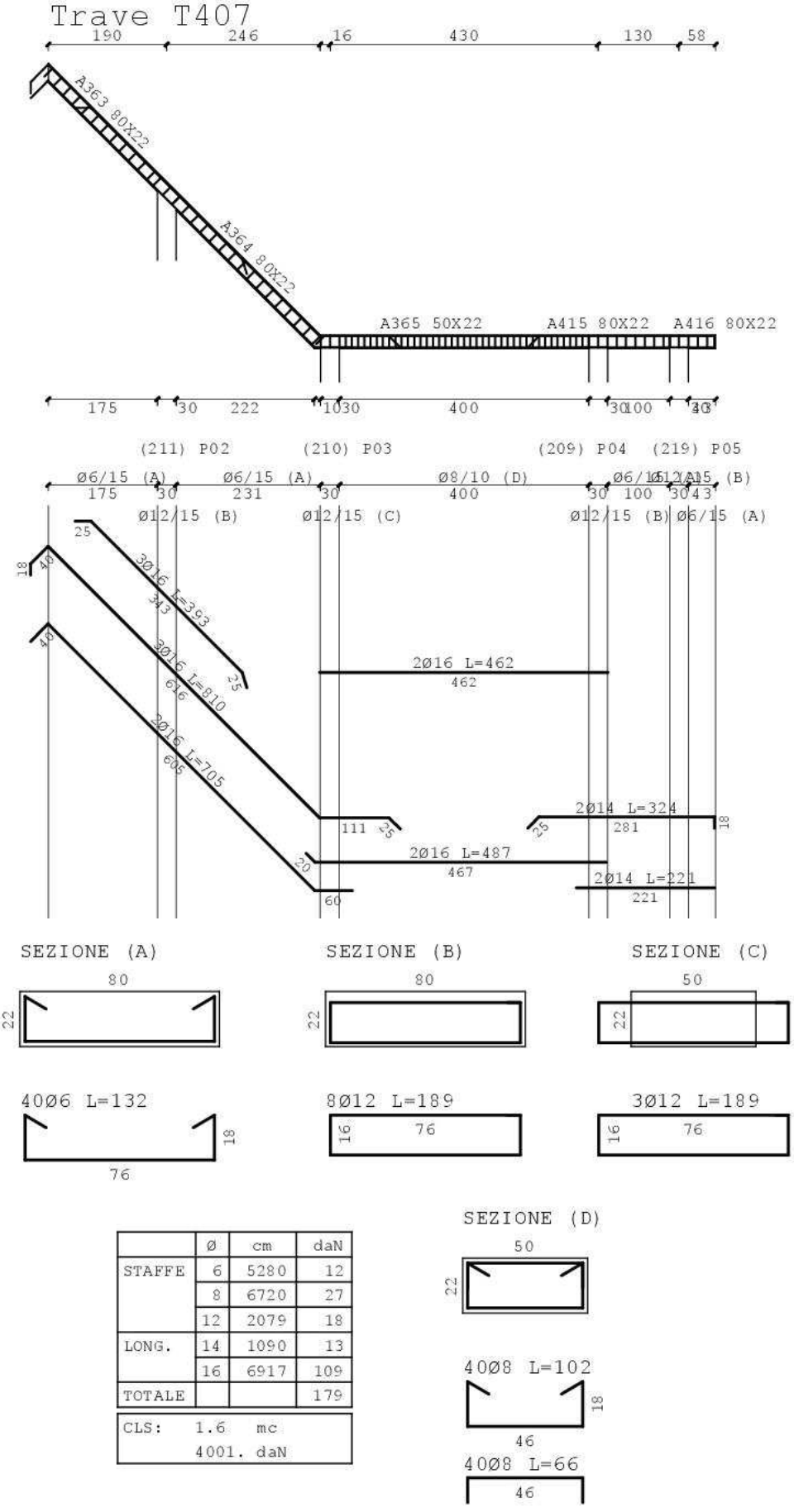
FIG. B.85 Progetto originale – Trave T405 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	10650	24
	12	1278	11
LONG.	8	2240	9
	14	2028	25
	16	6414	101
TOTALE			170

CLS: 2.247 mc
5618. daN

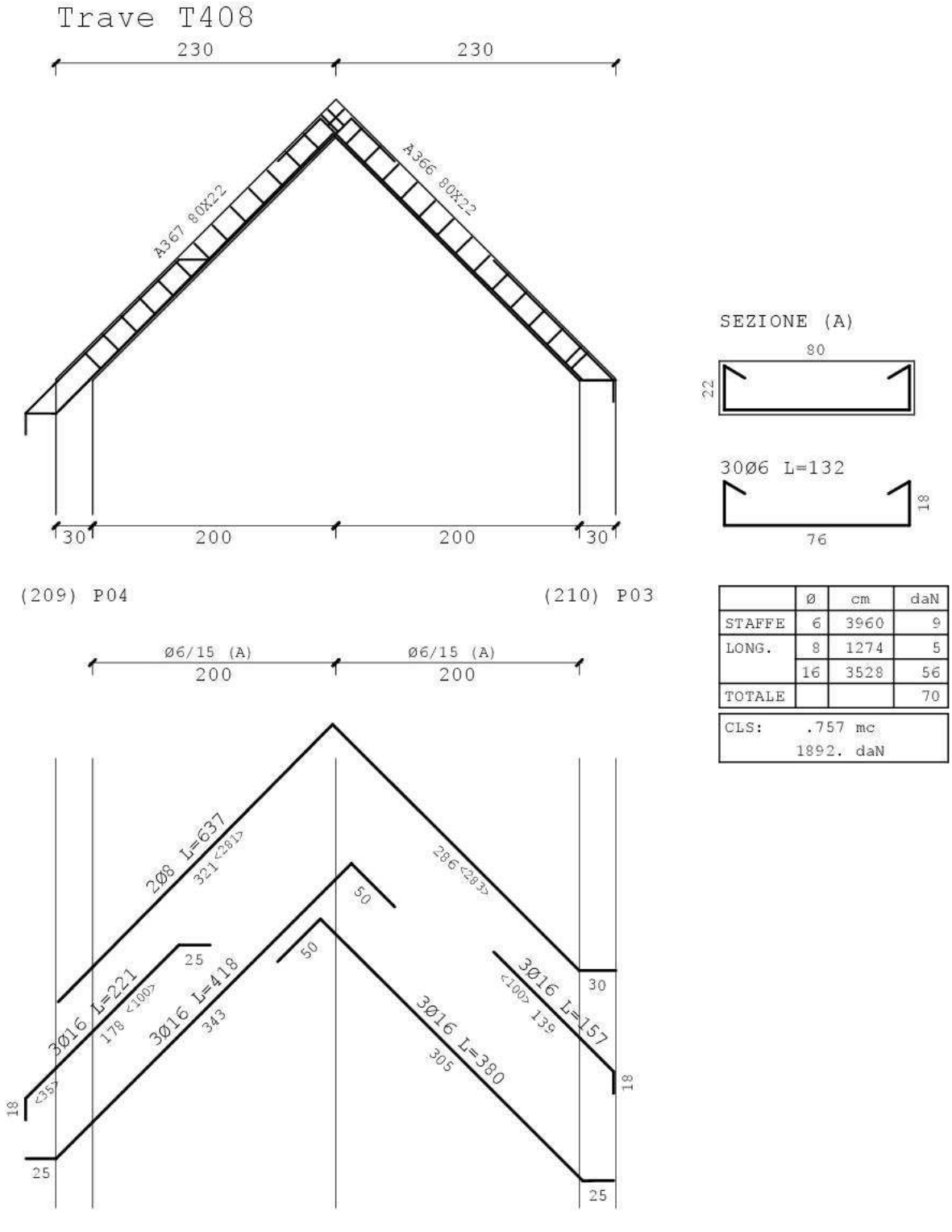
FIG. B.86 Progetto originale – Trave T406 (Scala 1:100)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	5280	12
	8	6720	27
	12	2079	18
LONG.	14	1090	13
	16	6917	109
TOTALE			179

CLS: 1.6 mc
4001. daN

FIG. B.87 Progetto originale – Trave T407 (Scala 1:100)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	3960	9
LONG.	8	1274	5
	16	3528	56
TOTALE			70

CLS:	.757 mc
	1892. daN

FIG. B.88 Progetto originale – Trave T408 (Scala 1:50)

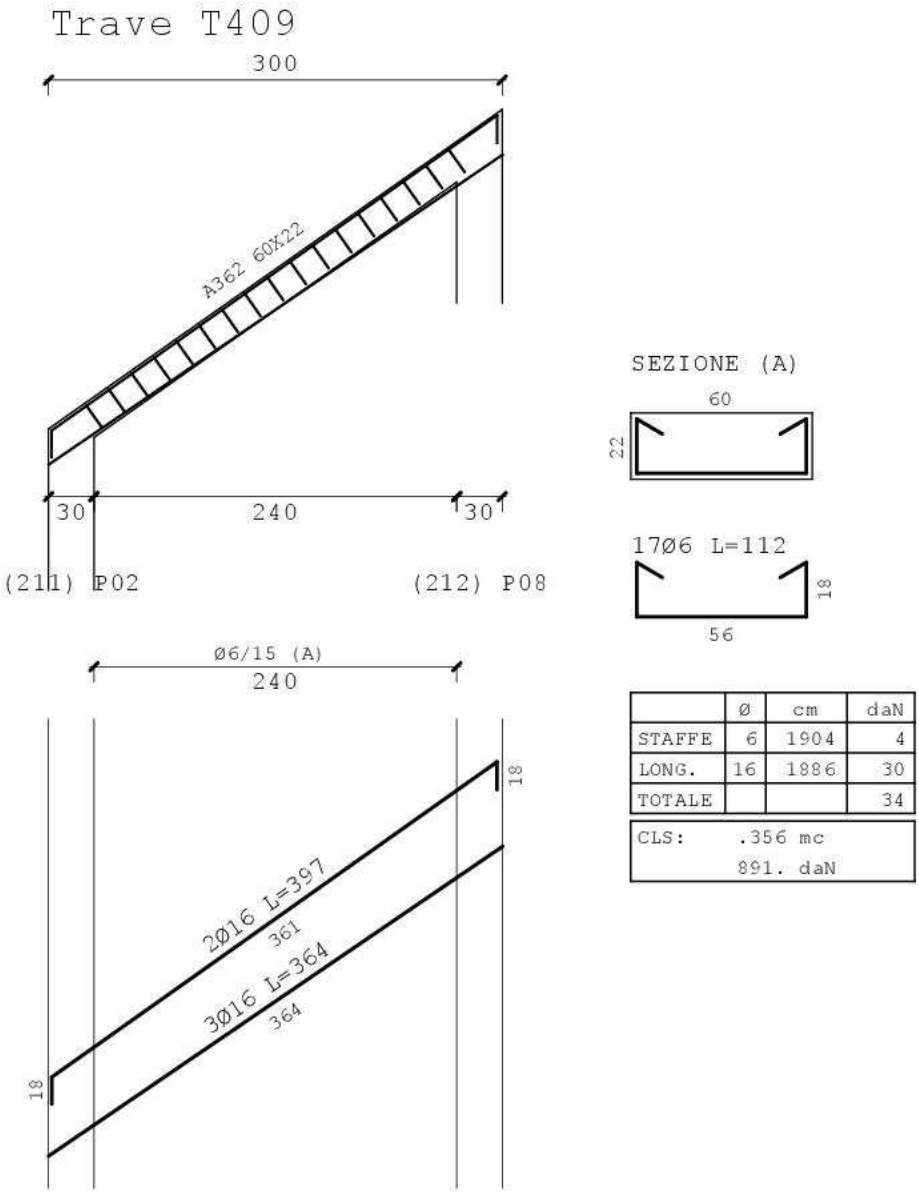
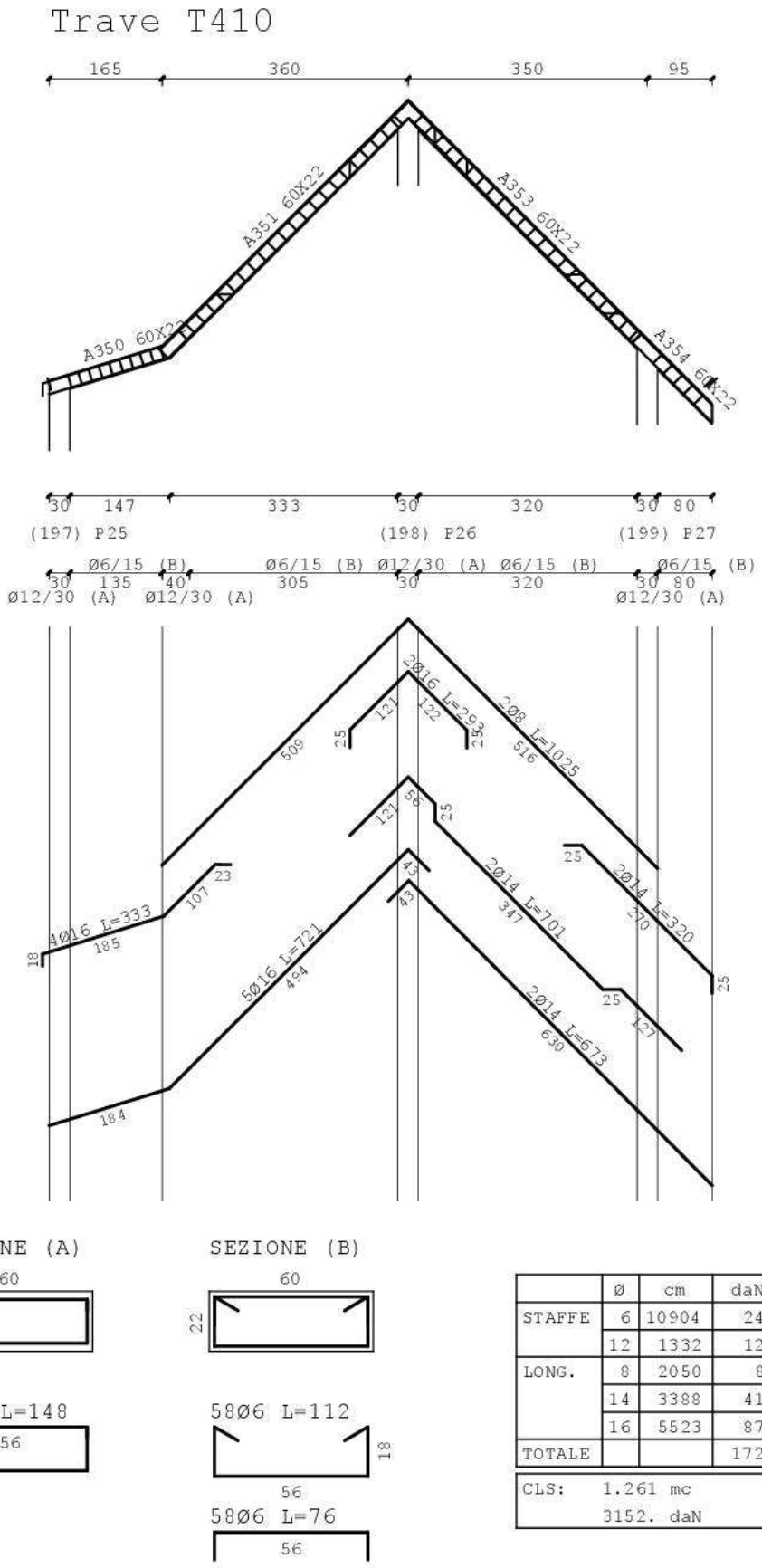


FIG. B.89 Progetto originale – Trave T409 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	6	10904	24
	12	1332	12
LONG.	8	2050	8
	14	3388	41
	16	5523	87
TOTALE			172

CLS:	1.261 mc
	3152. daN

FIG. B.90 Progetto originale – Trave T410 (Scala 1:100)

B.7 Muro perimetrale interrato

I dettagli strutturali della parete perimetrale, che si sviluppa per l'intera altezza del piano interrato, sono riportati in FIG. B.91.

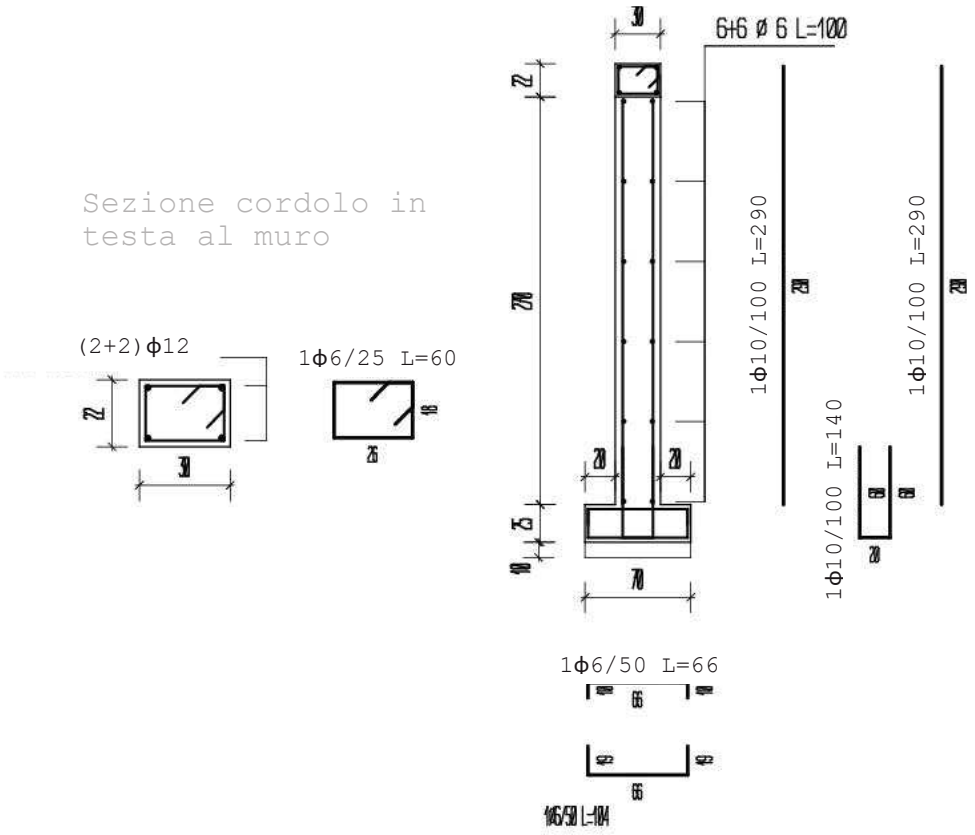


FIG. B.91 Progetto originale – Sezione Muro perimetrale (Scala 1:50)

B.8 Setto Scala A

Il setto in prossimità della Scala A, che dal piano interrato porta sino al primo piano, ha forma ad arco di circonferenza di raggio minore 230 cm e raggio maggiore 250 cm. Le armature impiegate per realizzarlo sonno riportate in FIG. B.92.

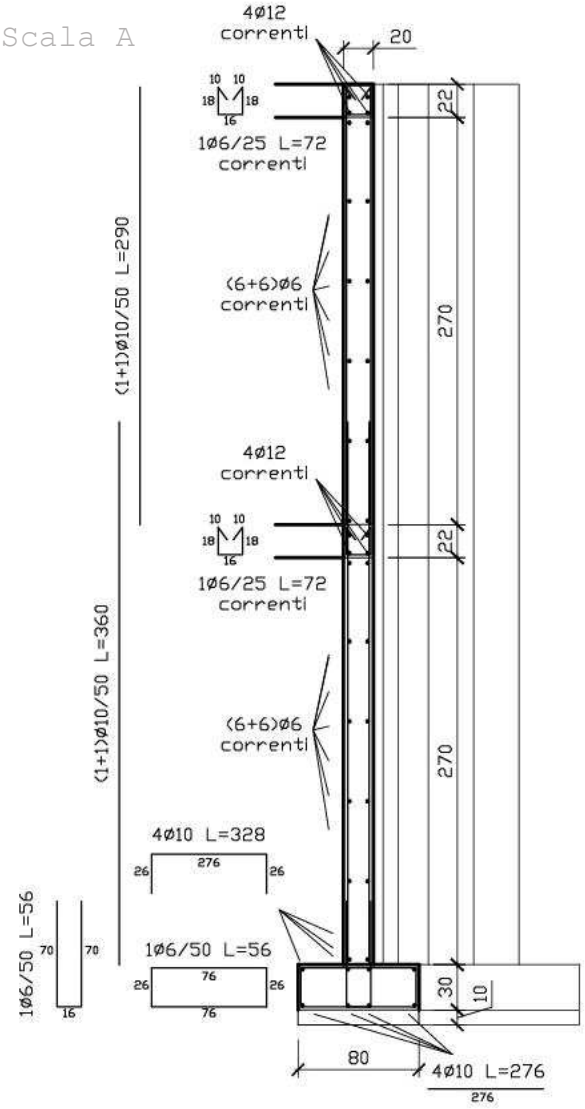


FIG. B.92 Progetto originale – Setto Scala A (Scala 1:50)

ALLEGATO C

Progetto secondo NTC 2008 - Schemi dei ferri di armatura

C.1 I travetti di solaio

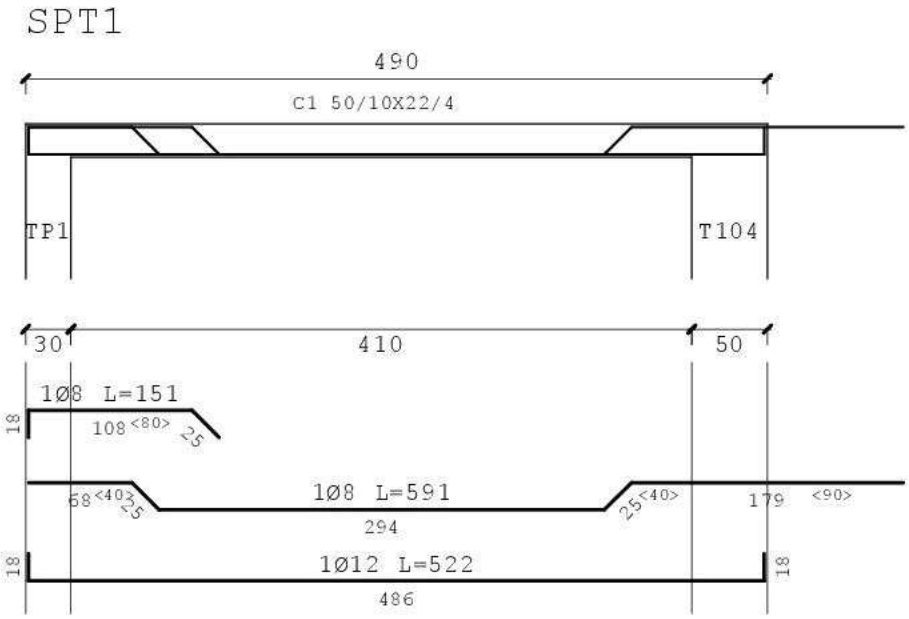


FIG. C.1 Progetto NTC08 – Travetti solaio PT: SPT1 (Scala 1:50)

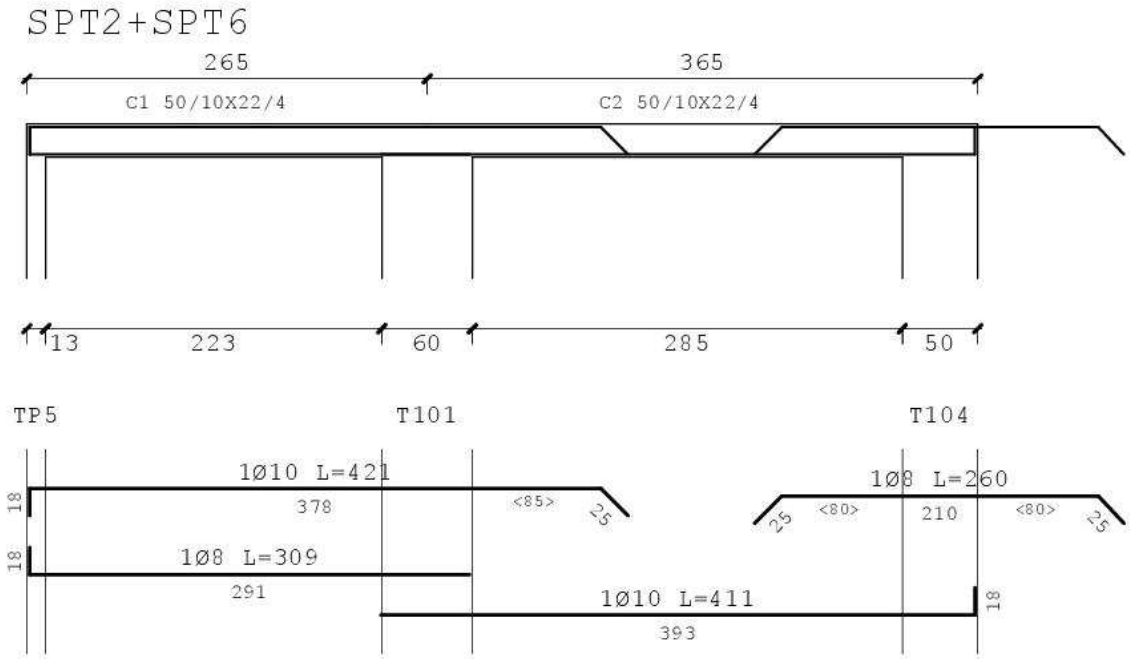


FIG. C.2 Progetto NTC08 – Travetti solaio PT: SPT2 e SPT6 (Scala 1:50)

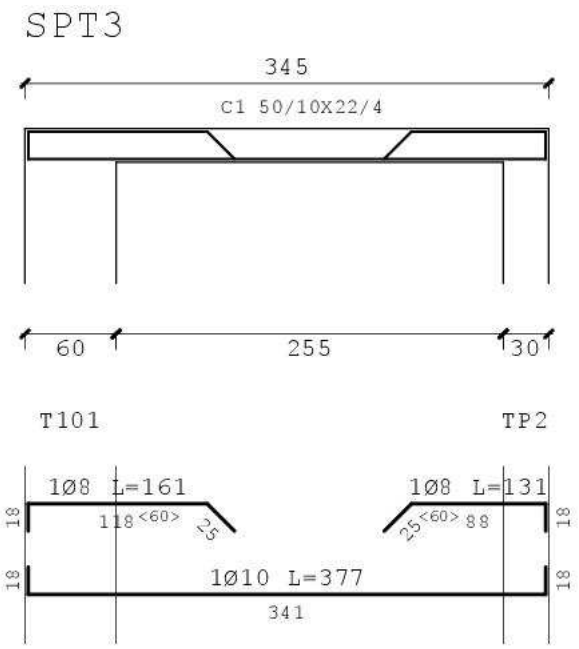


FIG. C.3 Progetto NTC08 – Travetti solaio PT: SPT3 (Scala 1:50)

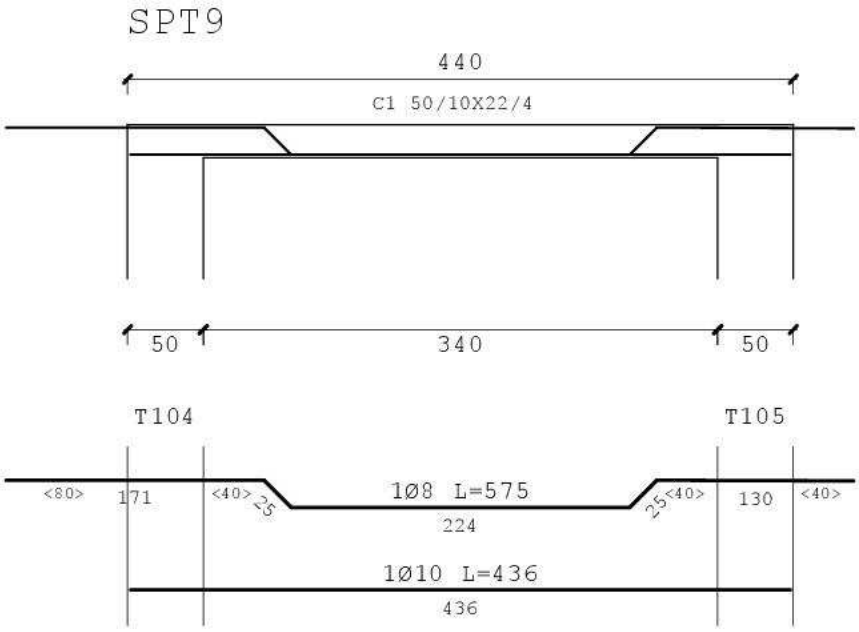


FIG. C.4 Progetto NTC08 – Travetti solaio PT: SPT9 (Scala 1:50)

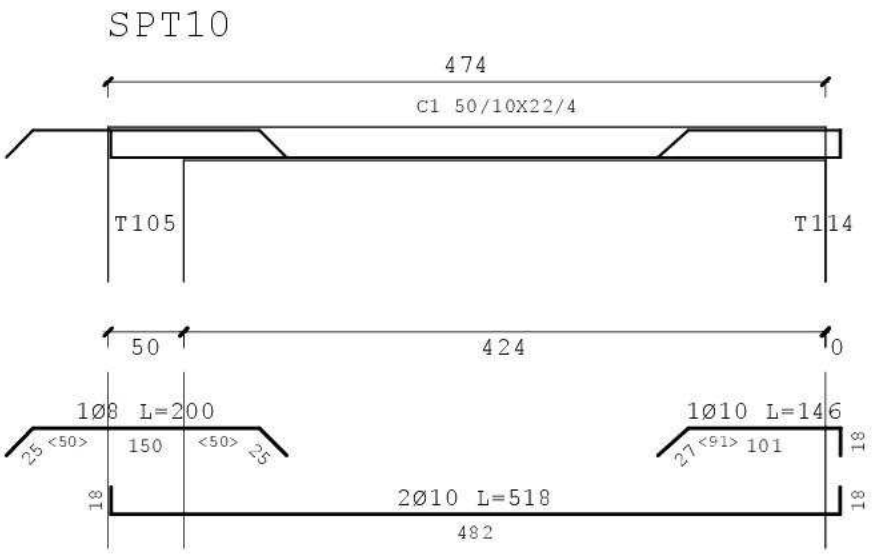


FIG. C.5 Progetto NTC08 – Travetti solaio PT: SPT10 (Scala 1:50)

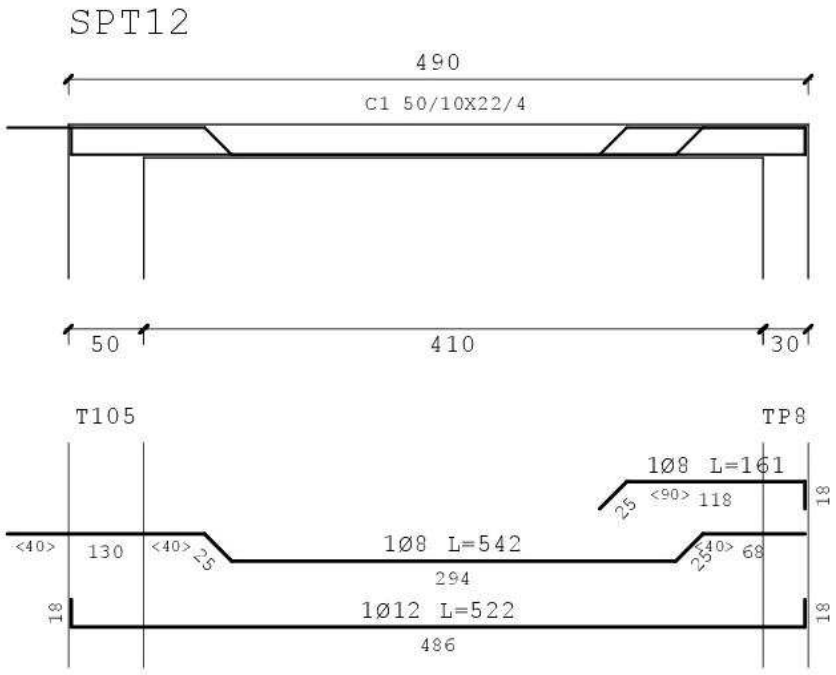


FIG. C.6 Progetto NTC08 – Travetti solaio PT: SPT12 (Scala 1:50)

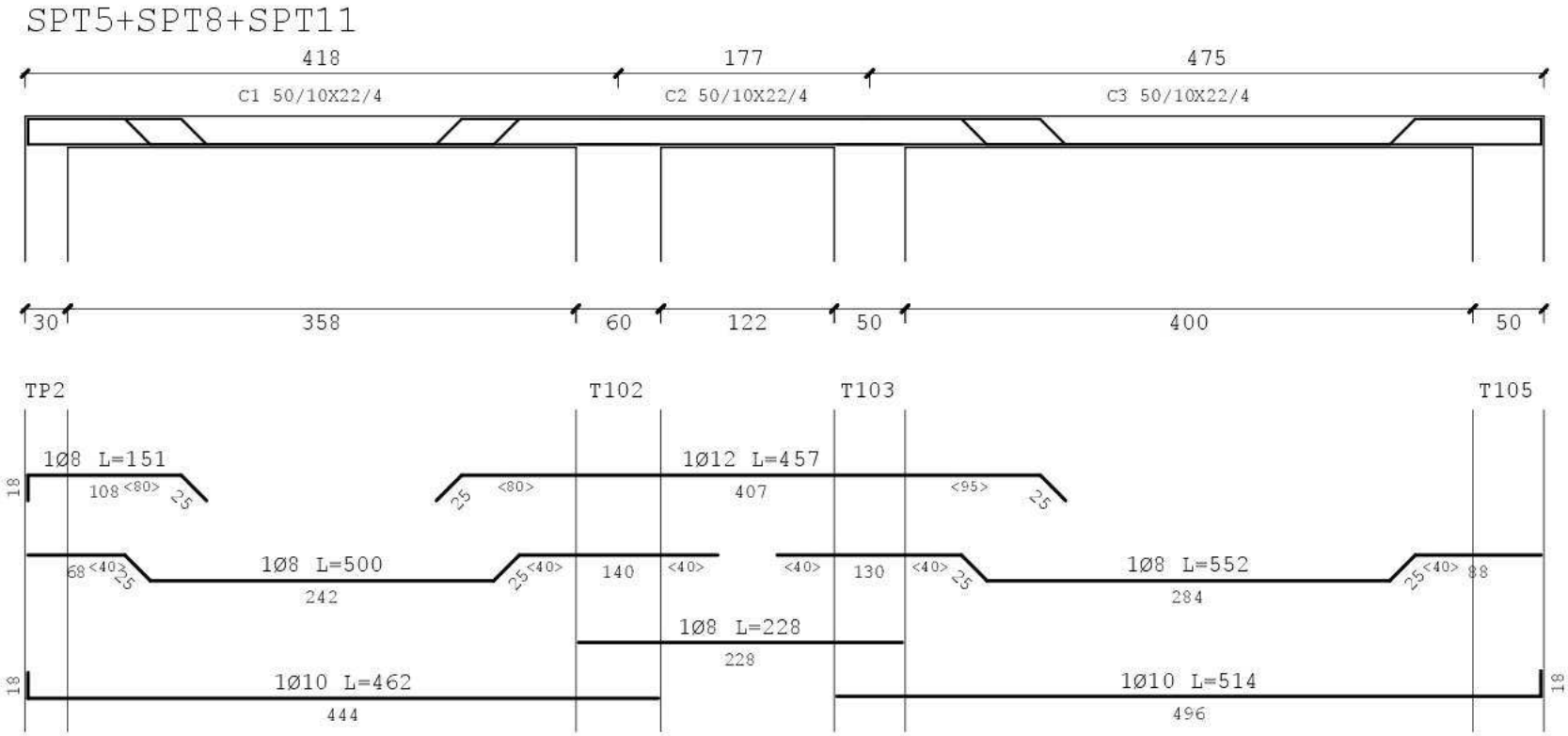


FIG. C.7 Progetto NTC08 – Travetti solaio PT: SPT5+SPT8+SPT11 (Scala 1:50)

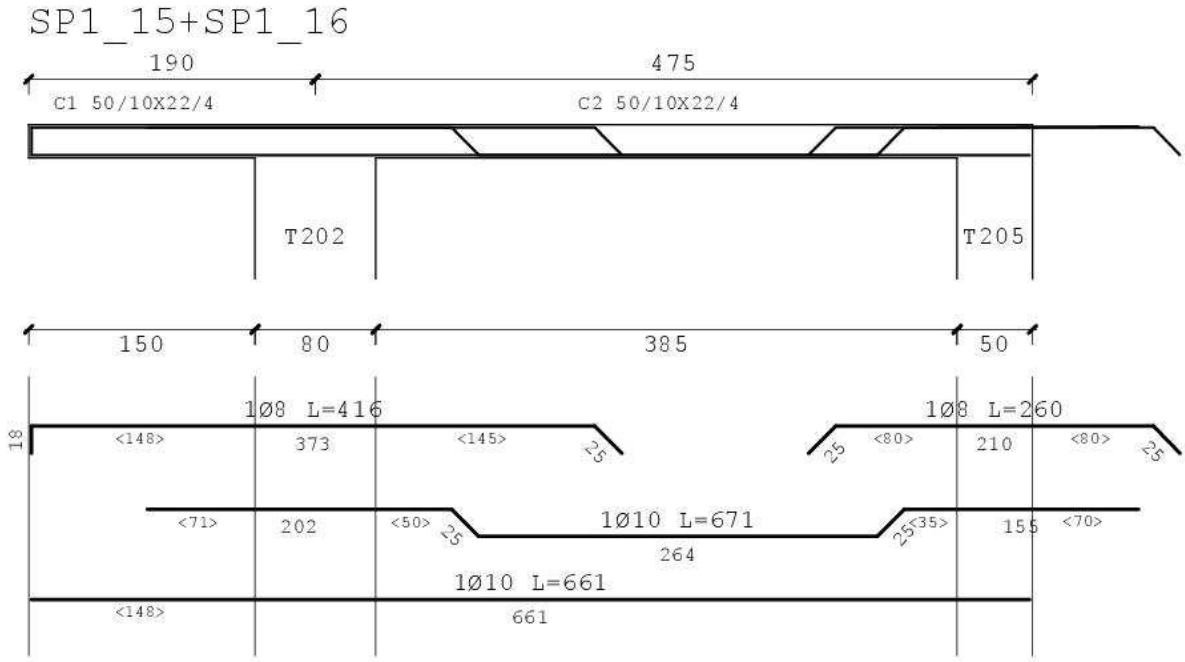


FIG. C.8 Progetto NTC08 – Travetti solaio P1: SP1_15 e SP1_16 (Scala 1:50)

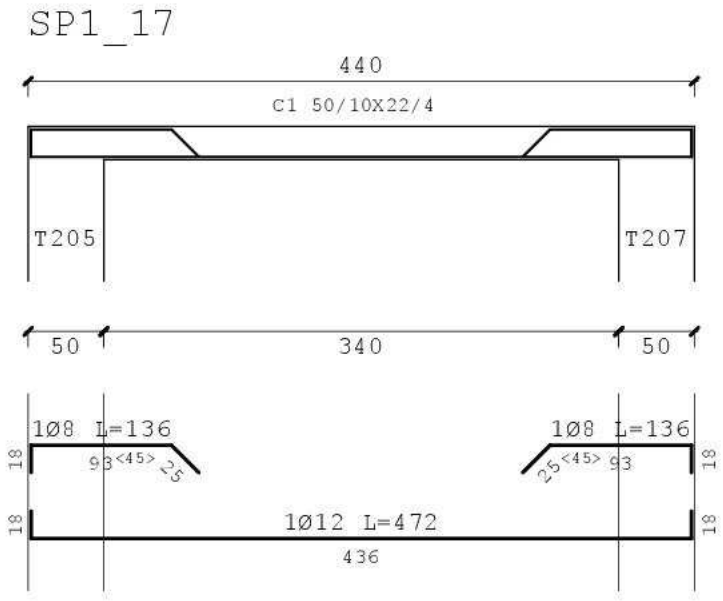


FIG. C.9 Progetto NTC08 – Travetti solaio P1: SP1_17 (Scala 1:50)

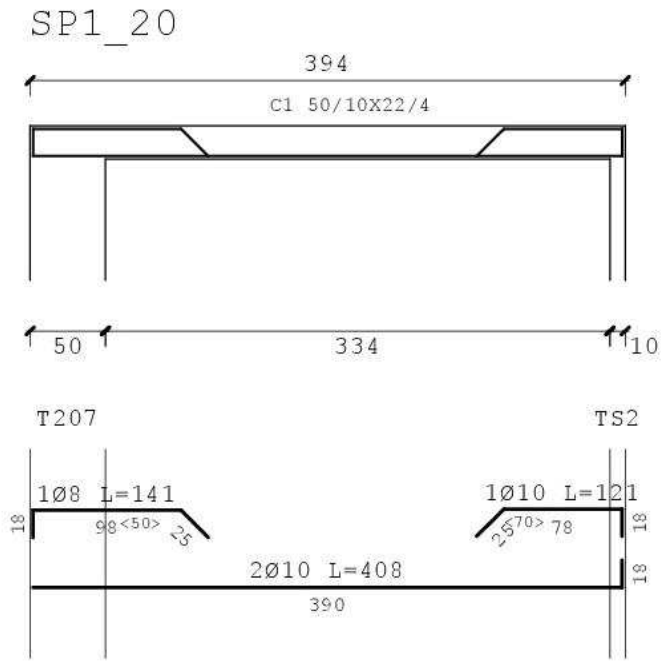


FIG. C.10 Progetto NTC08 – Travetti solaio P1: SP1_20 (Scala 1:50)

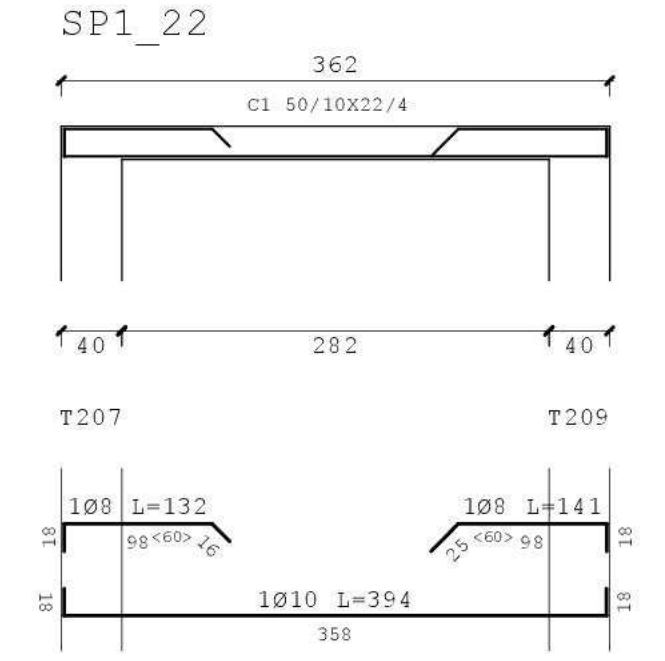


FIG. C.11 Progetto NTC08 – Travetti solaio P1: SP1_22 (Scala 1:50)

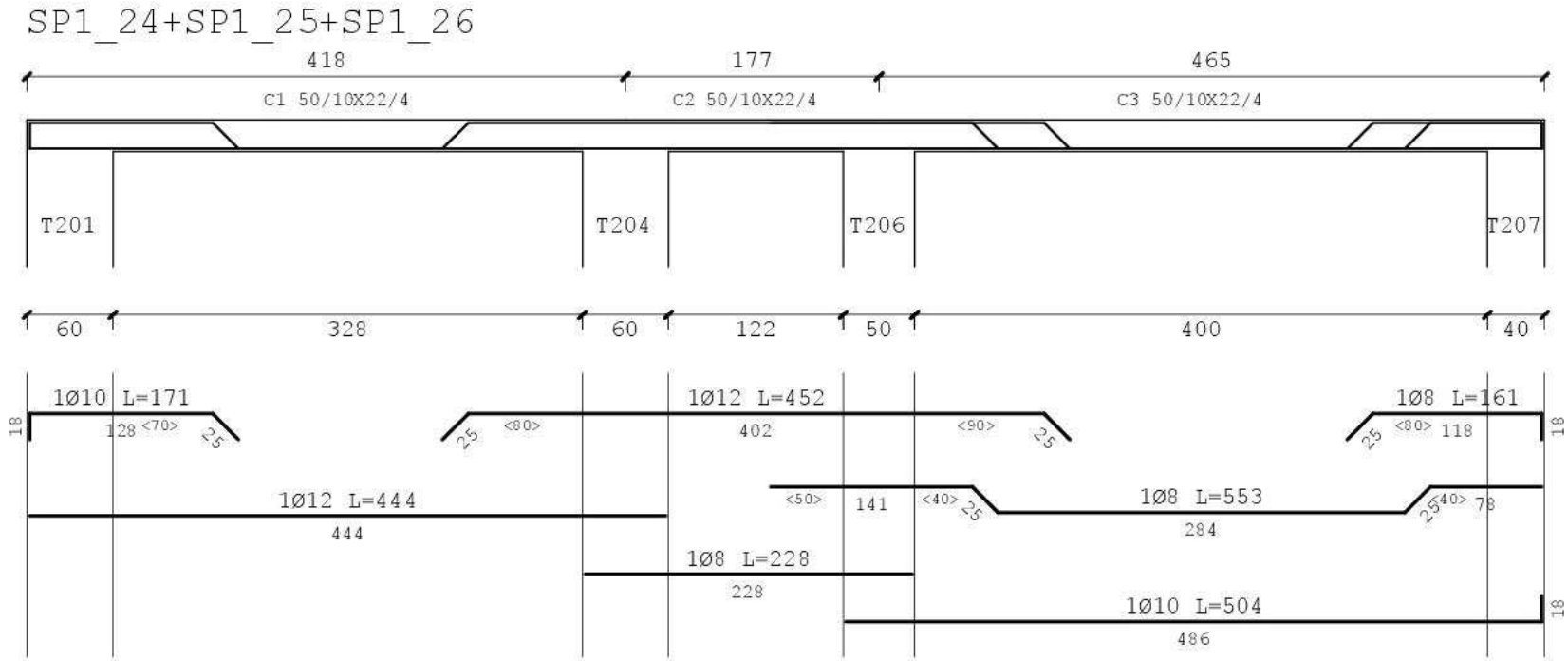


FIG. C.12 Progetto NTC08 – Travetti solaio P1: SP1_24+SP1_25+SP1_26 (Scala 1:50)

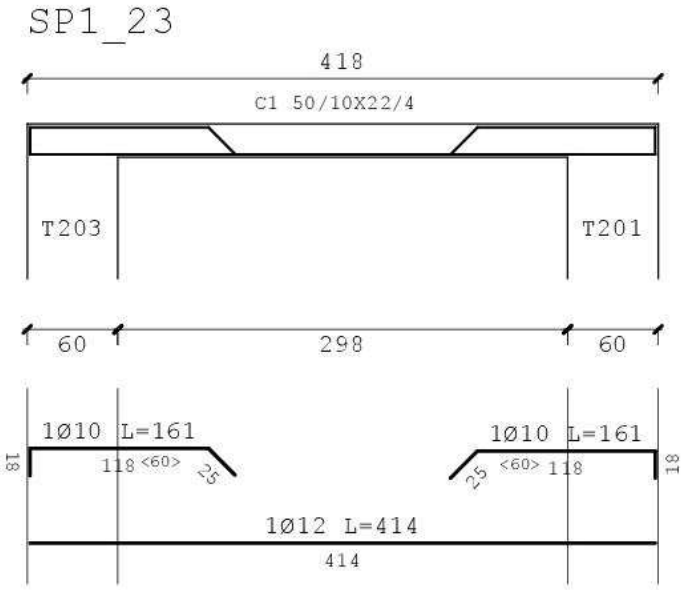


FIG. C.13 Progetto NTC08 – Travetti solaio P1: SP1_23 (Scala 1:50)

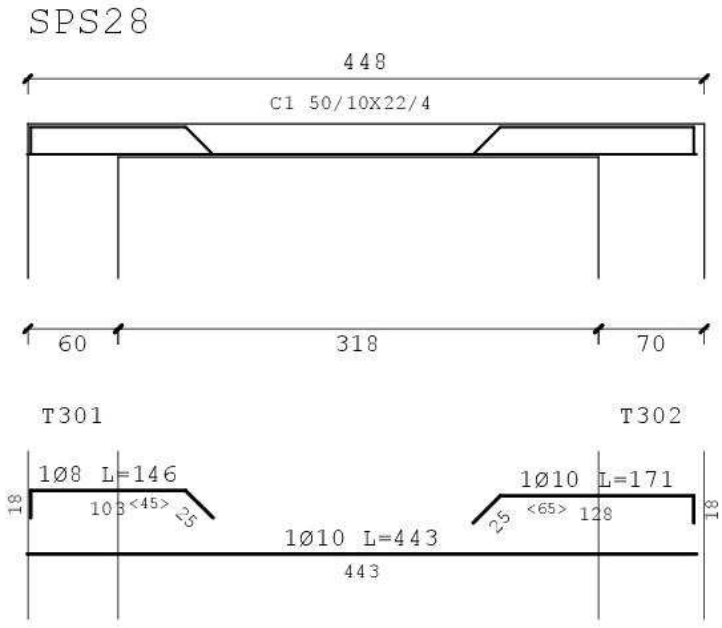


FIG. C.14 Progetto NTC08 – Travetti solaio PS: SPS_28 (Scala 1:50)

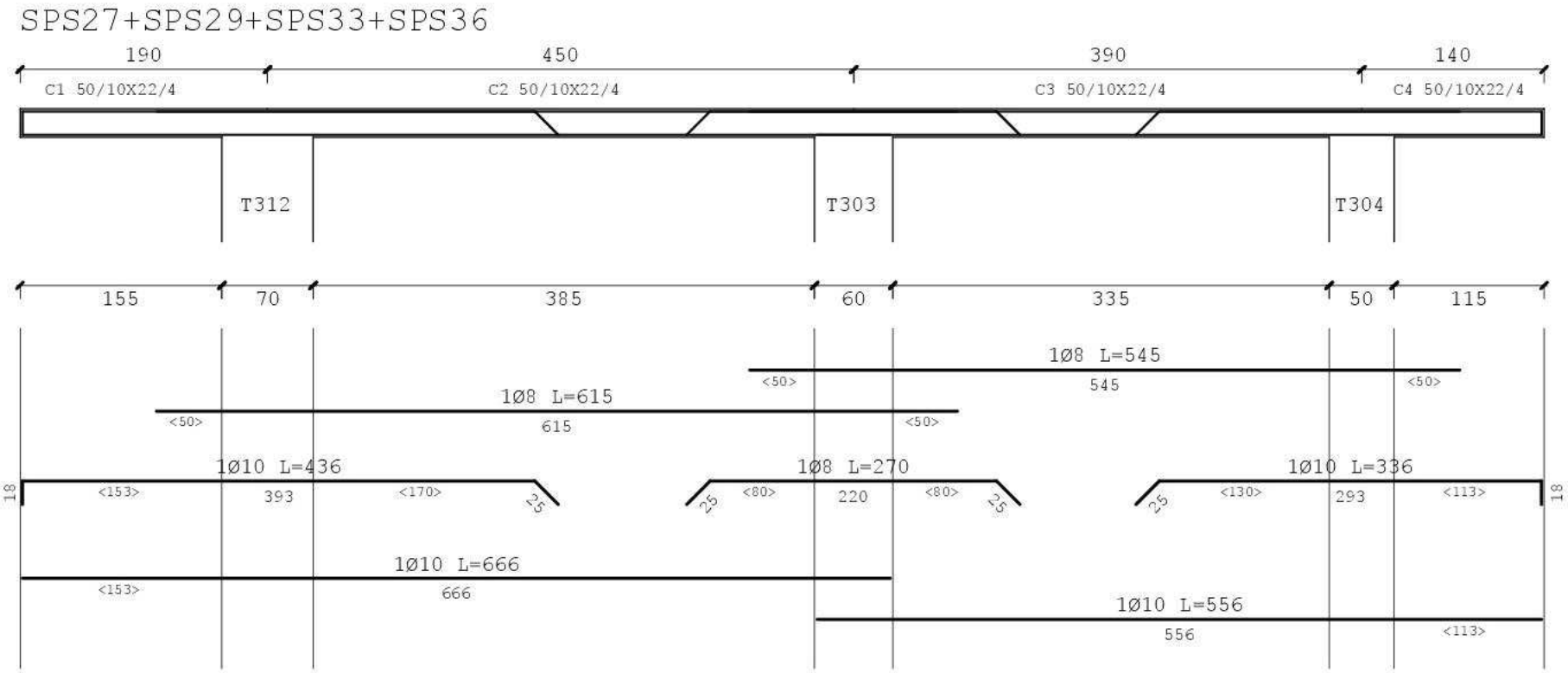


FIG. C.15 Progetto NTC08 – Travetti solaio PS: SP27+SP29+SPS36 (Scala 1:50)

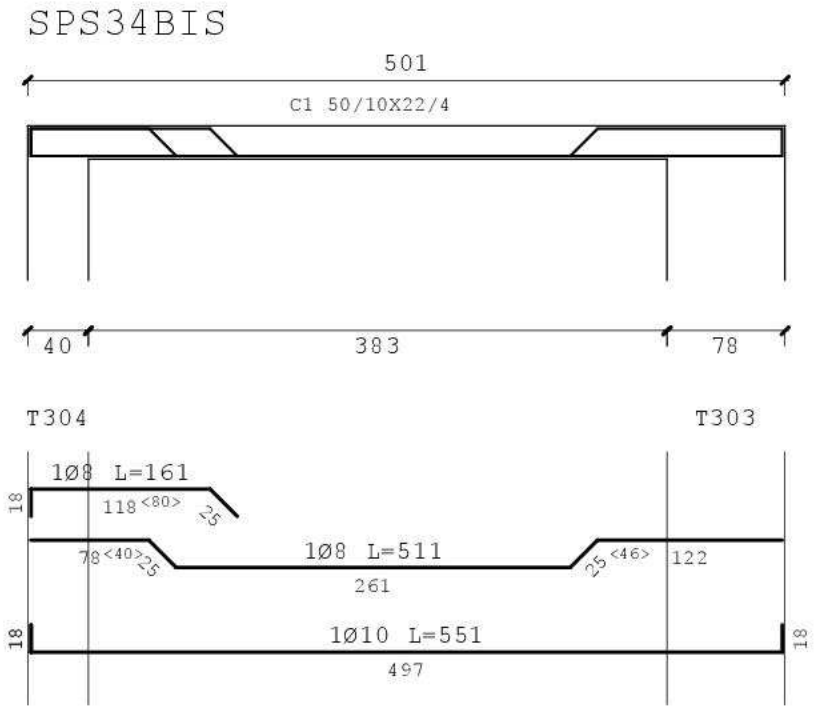


FIG. C.16 Progetto NTC08 – Travetti solaio PS: SPS_34BIS (Scala 1:50)

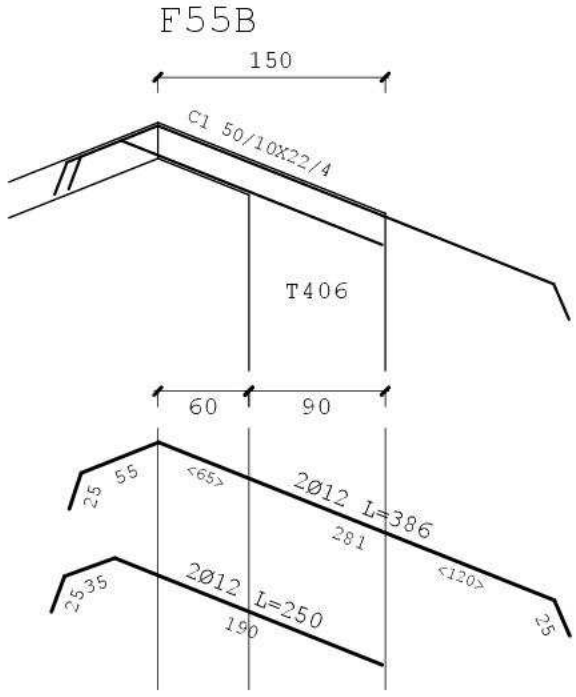


FIG. C.17 Progetto NTC08 – Travetti solaio COP: F55B (Scala 1:50)

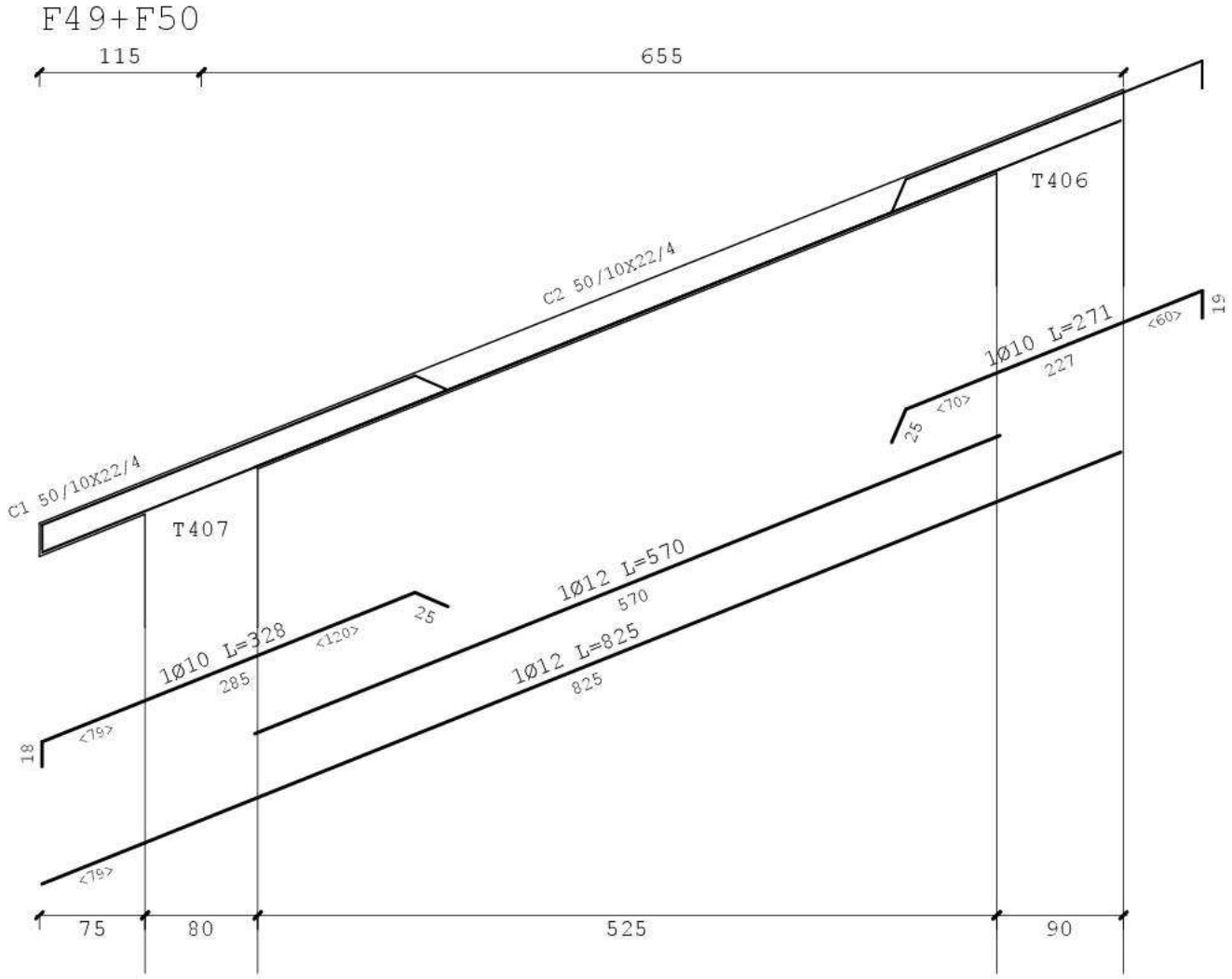
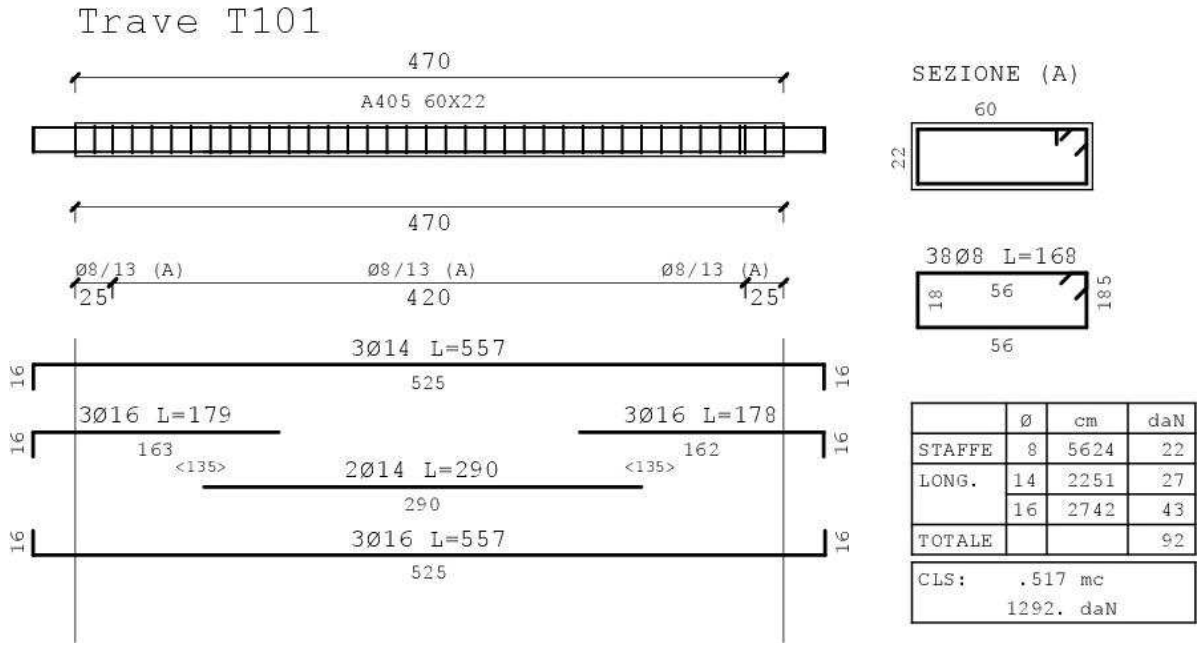


FIG. C.18 Progetto NTC08 – Travetti solaio COP: F49 e F50 (Scala 1:50)

C.2 Le travi



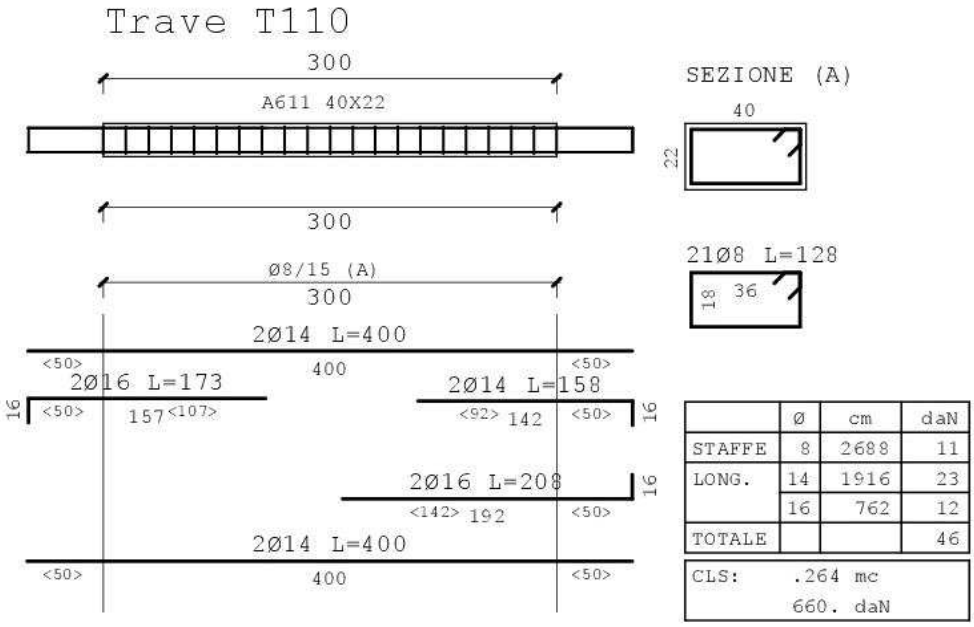
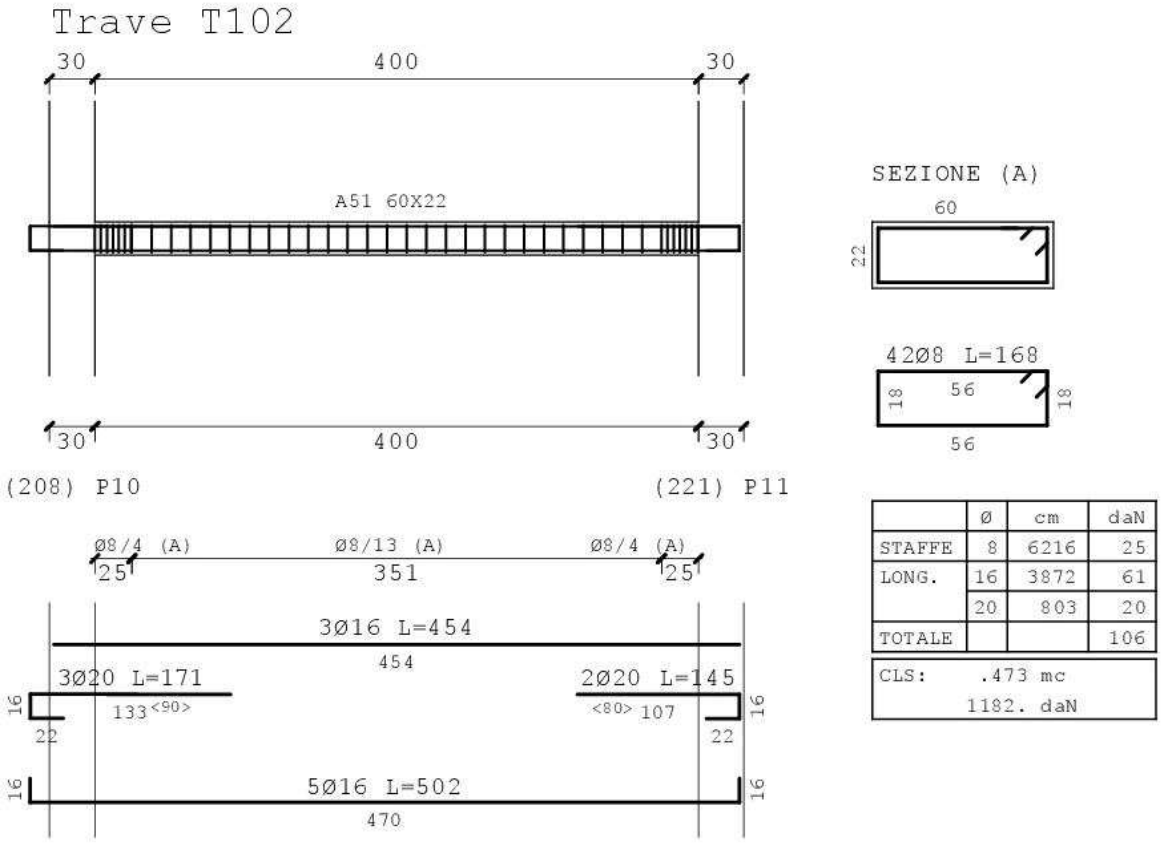
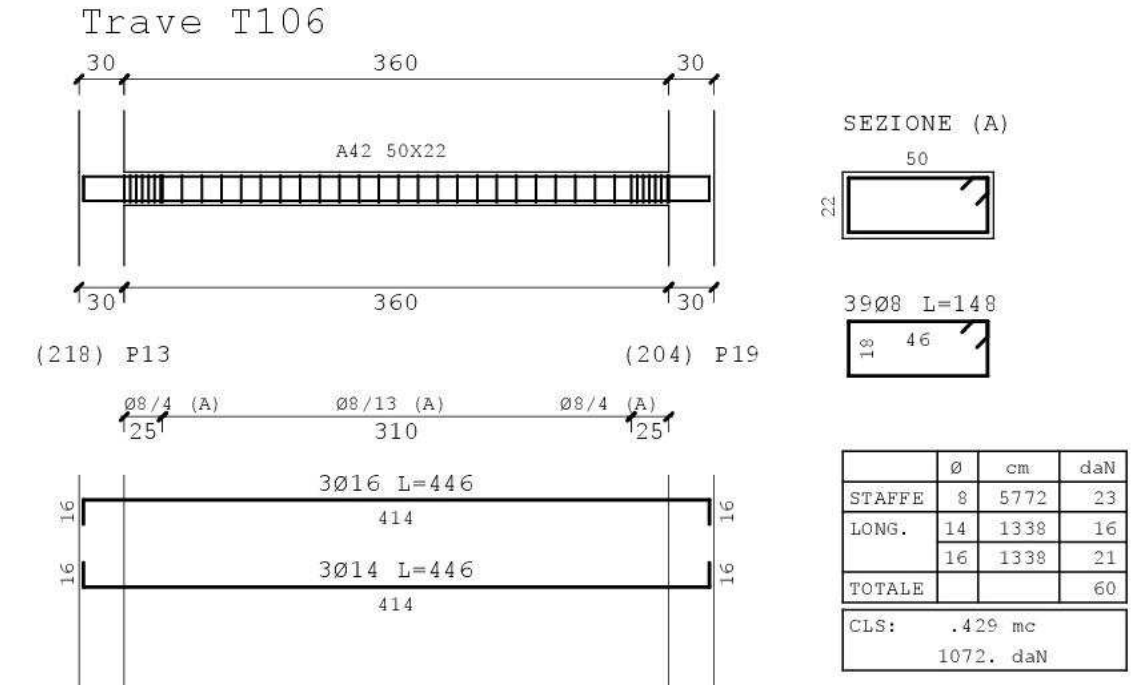


FIG. C.19 Progetto NTC08 – Travi T101 e T110 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	6216	25
LONG.	16	3872	61
	20	803	20
TOTALE			106

CLS: .473 mc
1182. daN

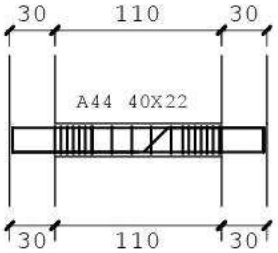


	Ø	cm	daN
STAFFE	8	5772	23
LONG.	14	1338	16
	16	1338	21
TOTALE			60

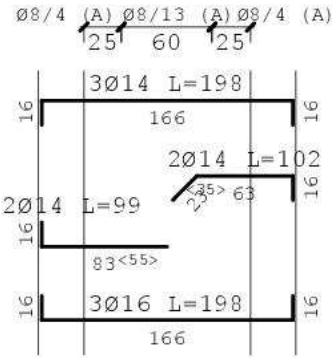
CLS: .429 mc
1072. daN

FIG. C.20 Progetto NTC08 – Travi T102 e T106 (Scala 1:50)

Trave T111



(203) P20 (198) P26



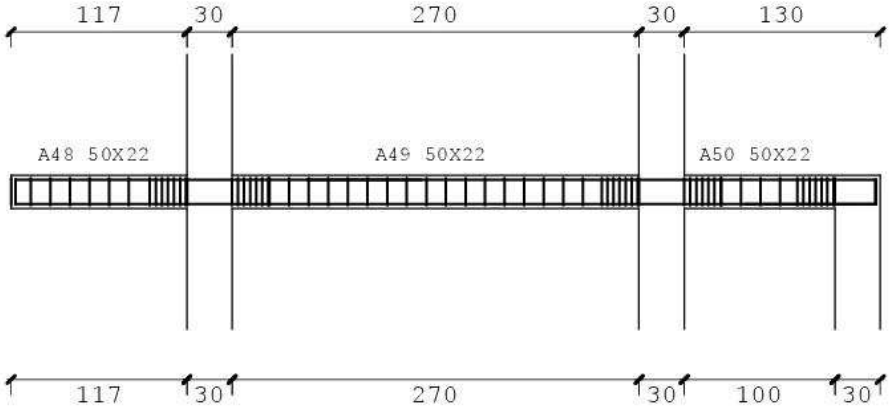
SEZIONE (A)

	Ø	cm	daN
STAFFE	8	2560	10
LONG.	14	996	12
	16	594	9
TOTALE			31

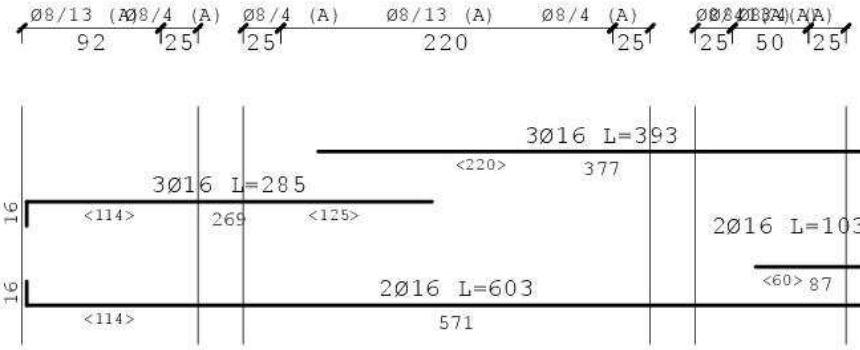
CLS: .123 mc
308. daN

2Ø8 L=128

Trave T103

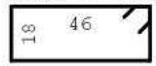


(215) P15 (206) P16 G2030



SEZIONE (A)

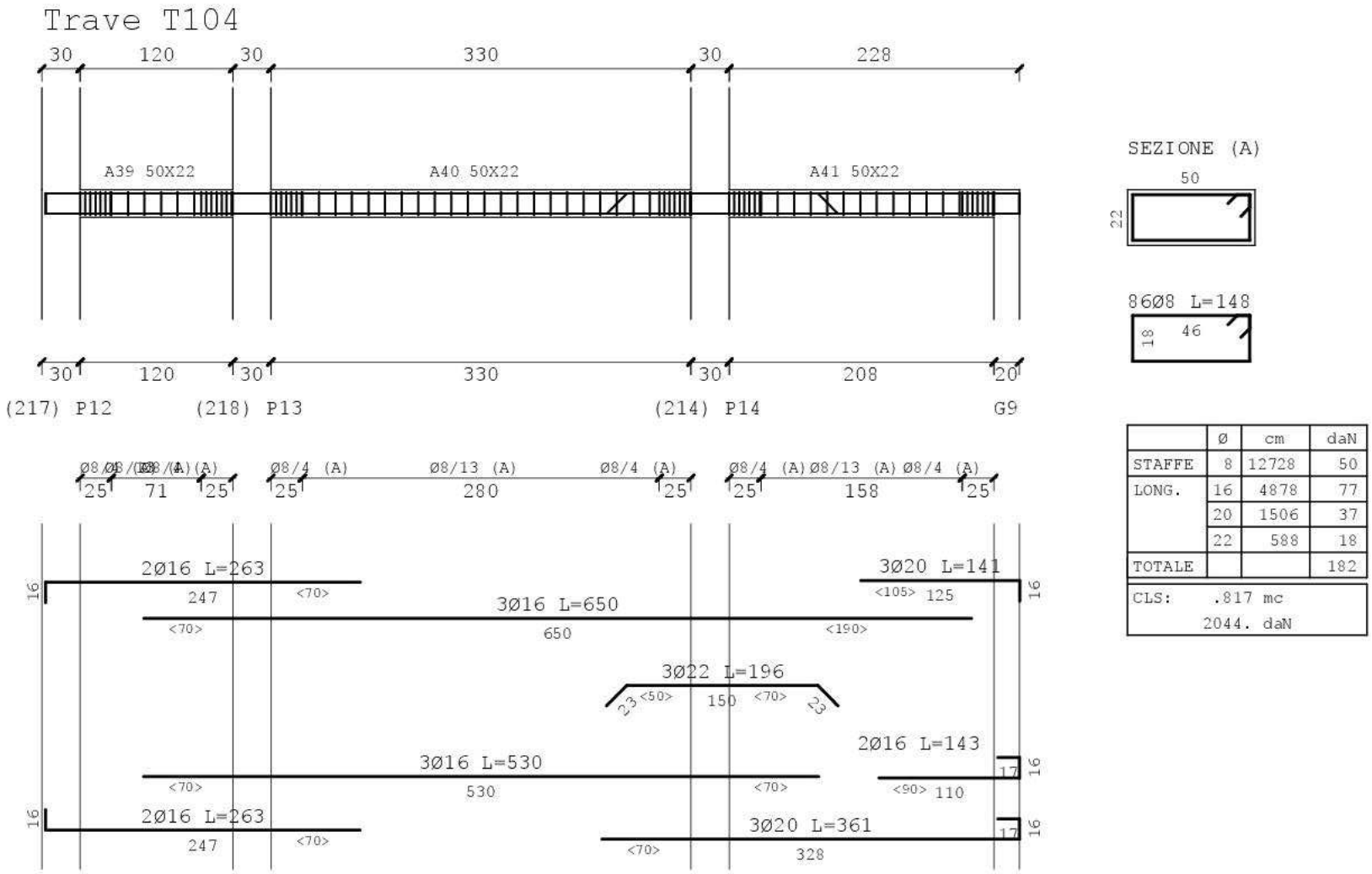
67Ø8 L=148



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	9916	39
LONG.	16	3446	54
TOTALE			93

CLS: .618 mc
1544. daN

C.21 Progetto NTC08 – Trave T111 e T103 (Scala 1:50)



SEZIONE (A)

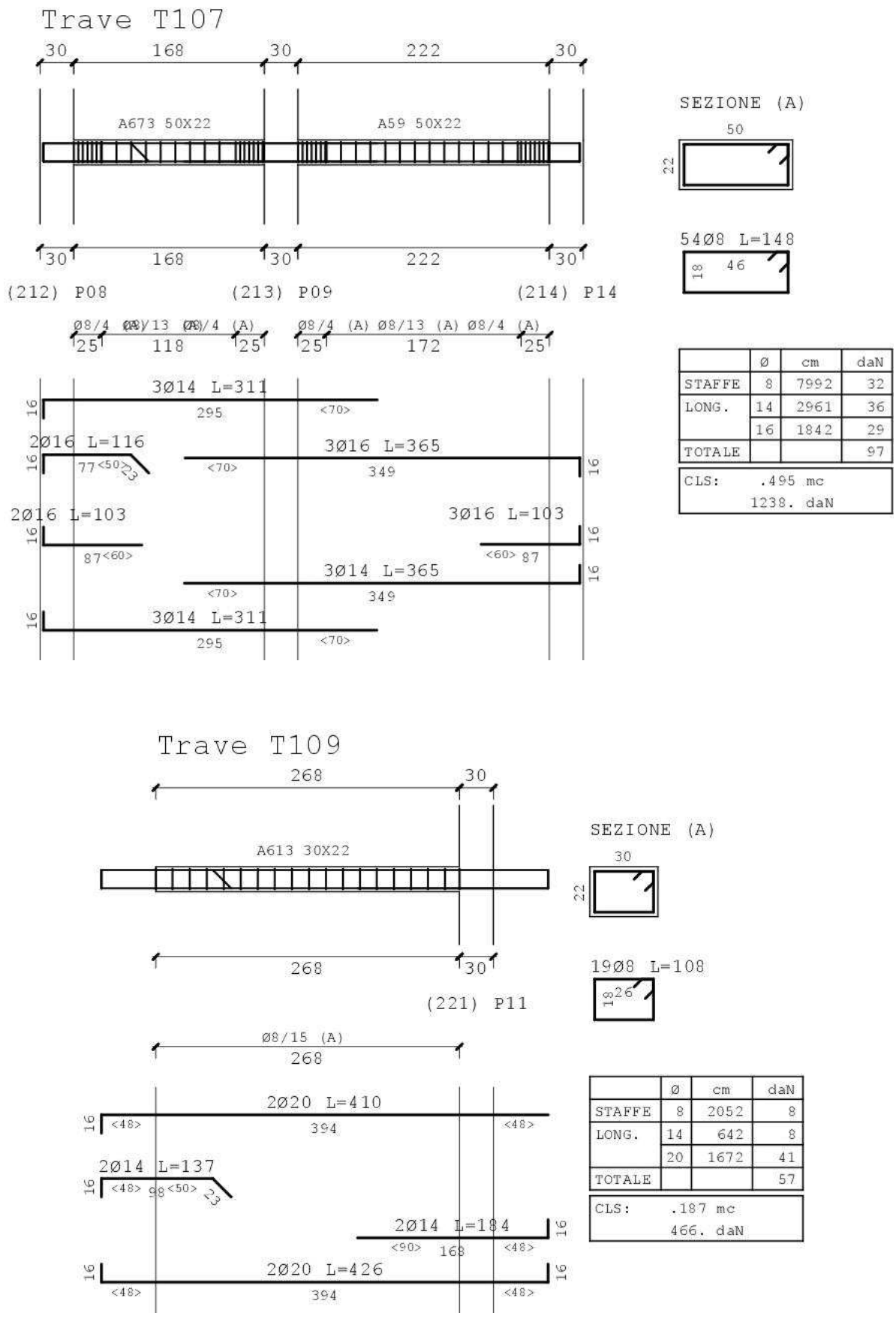
86Ø8 L=148

	Ø	cm	daN
STAFFE	8	12728	50
LONG.	16	4878	77
	20	1506	37
	22	588	18
TOTALE			182

CLS: .817 mc
2044. daN

FIG. C.22 Progetto NTC08 – Trave T104 (Scala 1:50)

FIG. C.23 Progetto NTC08 – Trave T105 (Scala 1:100)



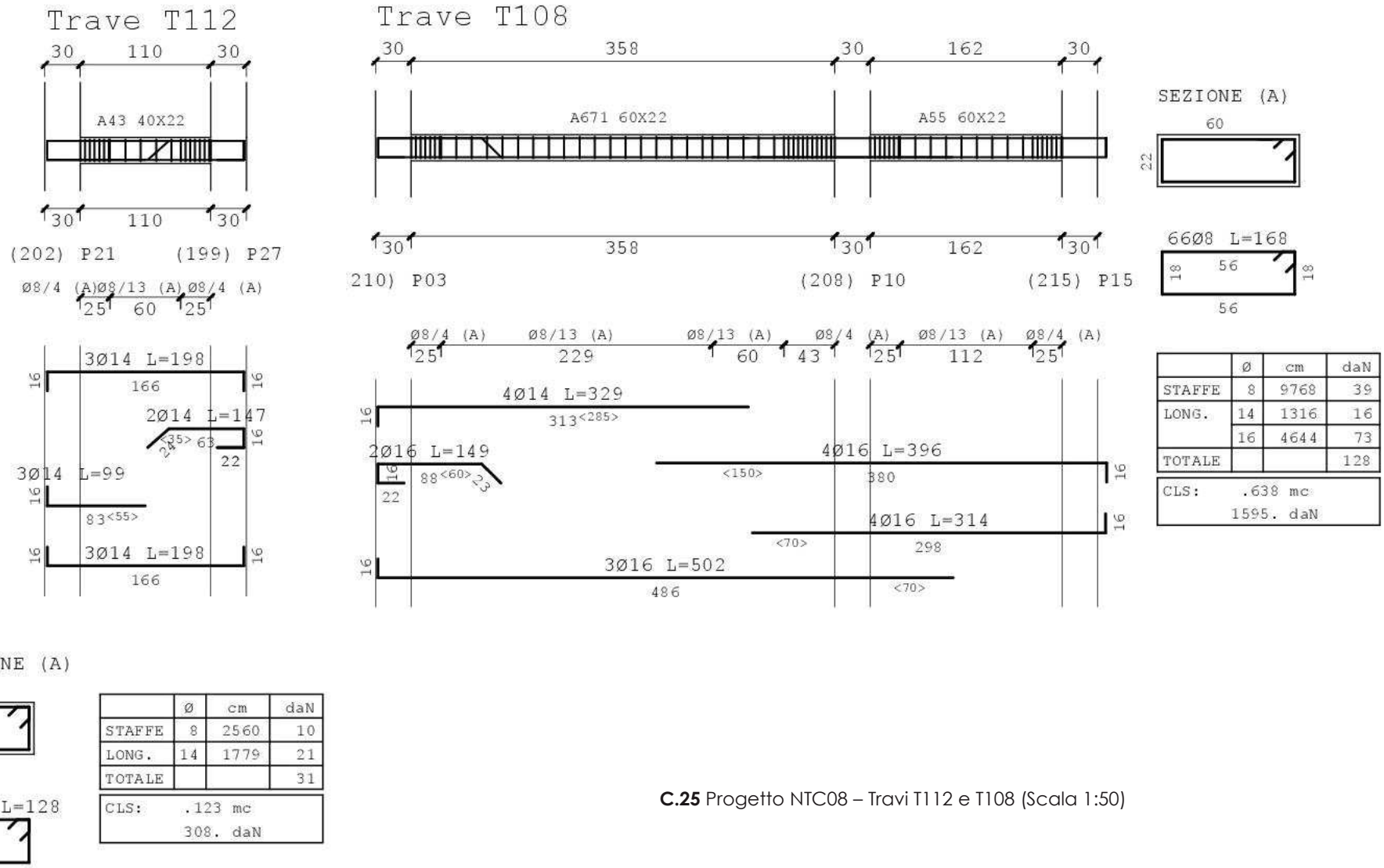
	Ø	cm	daN
STAFFE	8	7992	32
LONG.	14	2961	36
	16	1842	29
TOTALE			97

CLS: .495 mc
1238. daN

	Ø	cm	daN
STAFFE	8	2052	8
LONG.	14	642	8
	20	1672	41
TOTALE			57

CLS: .187 mc
466. daN

FIG. C.24 Progetto NTC08 – Travi T107 e T109 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	9768	39
LONG.	14	1316	16
	16	4644	73
TOTALE			128

CLS: .638 mc
1595. daN

	Ø	cm	daN
STAFFE	8	2560	10
LONG.	14	1779	21
TOTALE			31

CLS: .123 mc
308. daN

C.25 Progetto NTC08 – Travi T112 e T108 (Scala 1:50)

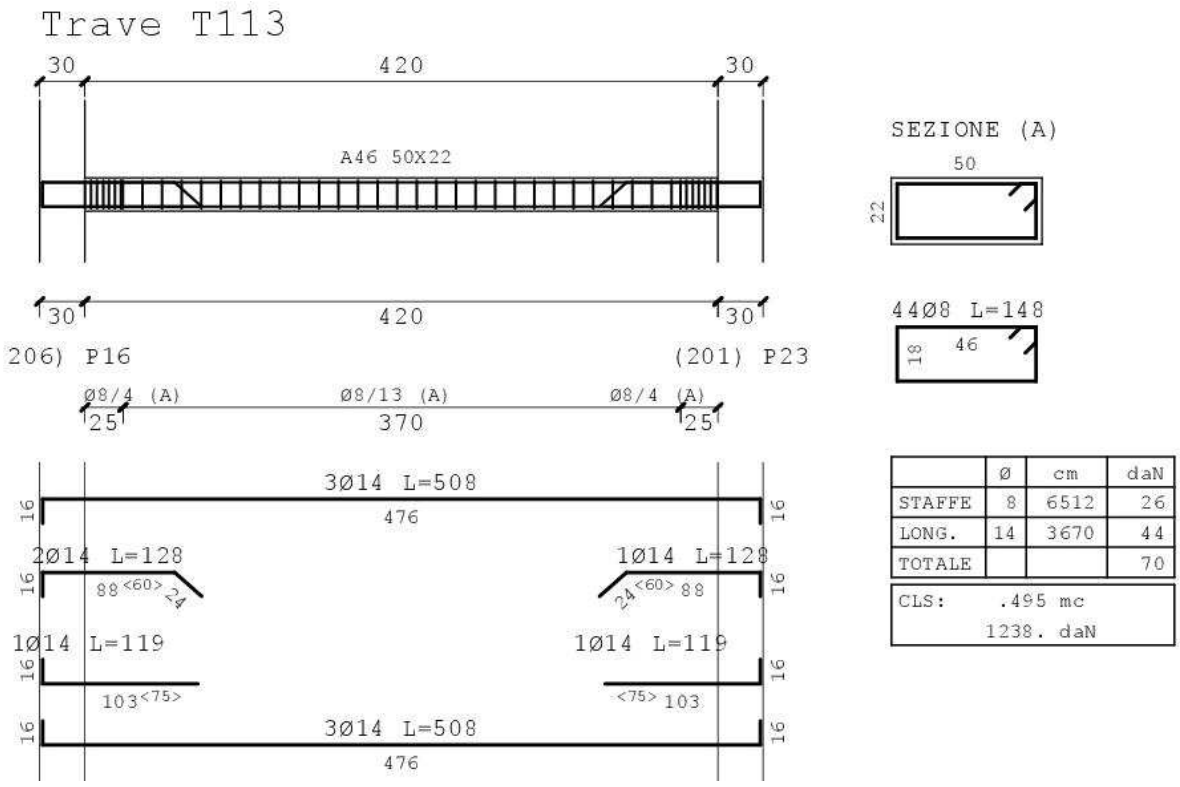


FIG. C.26 Progetto NTC08 – Trave T113 (Scala 1:50)

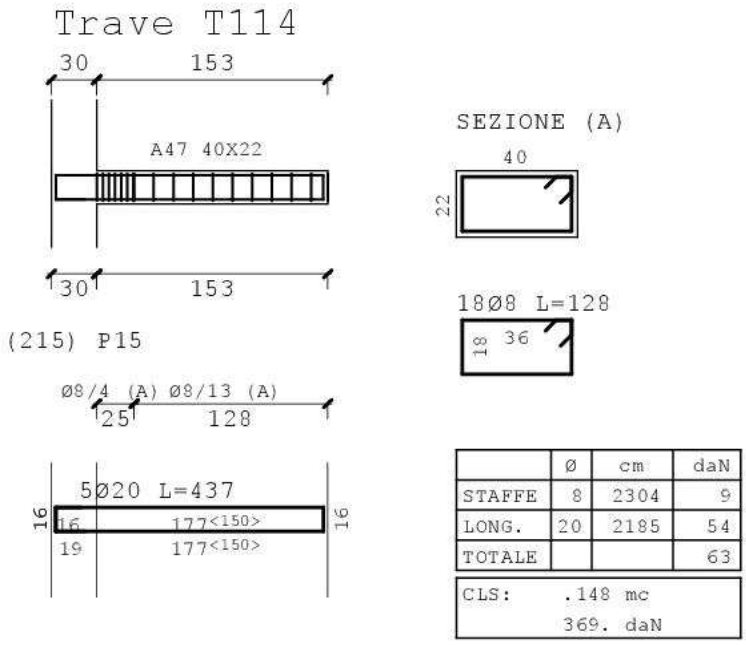


FIG. C.27 Progetto NTC08 – Trave T114 (Scala 1:50)

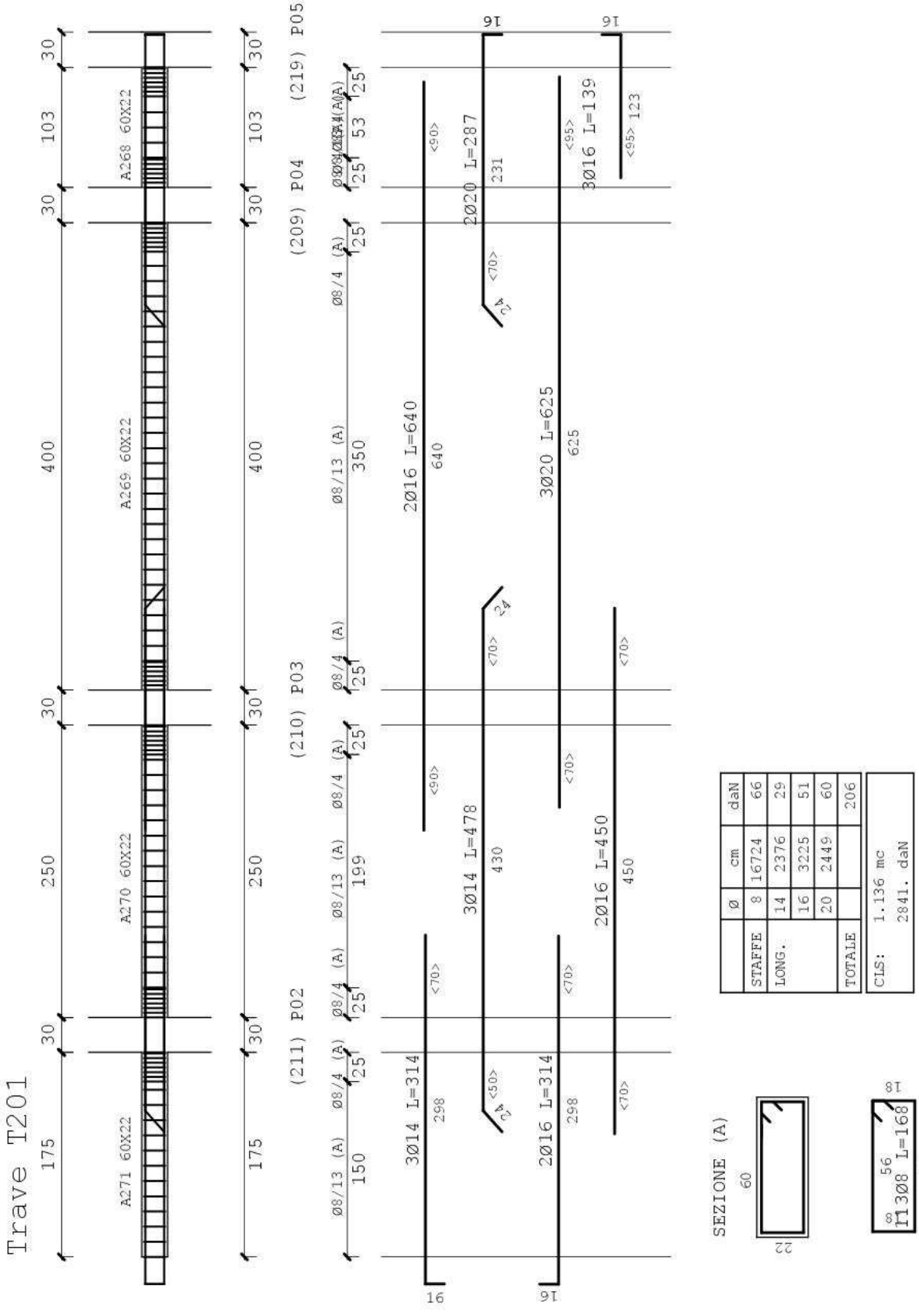
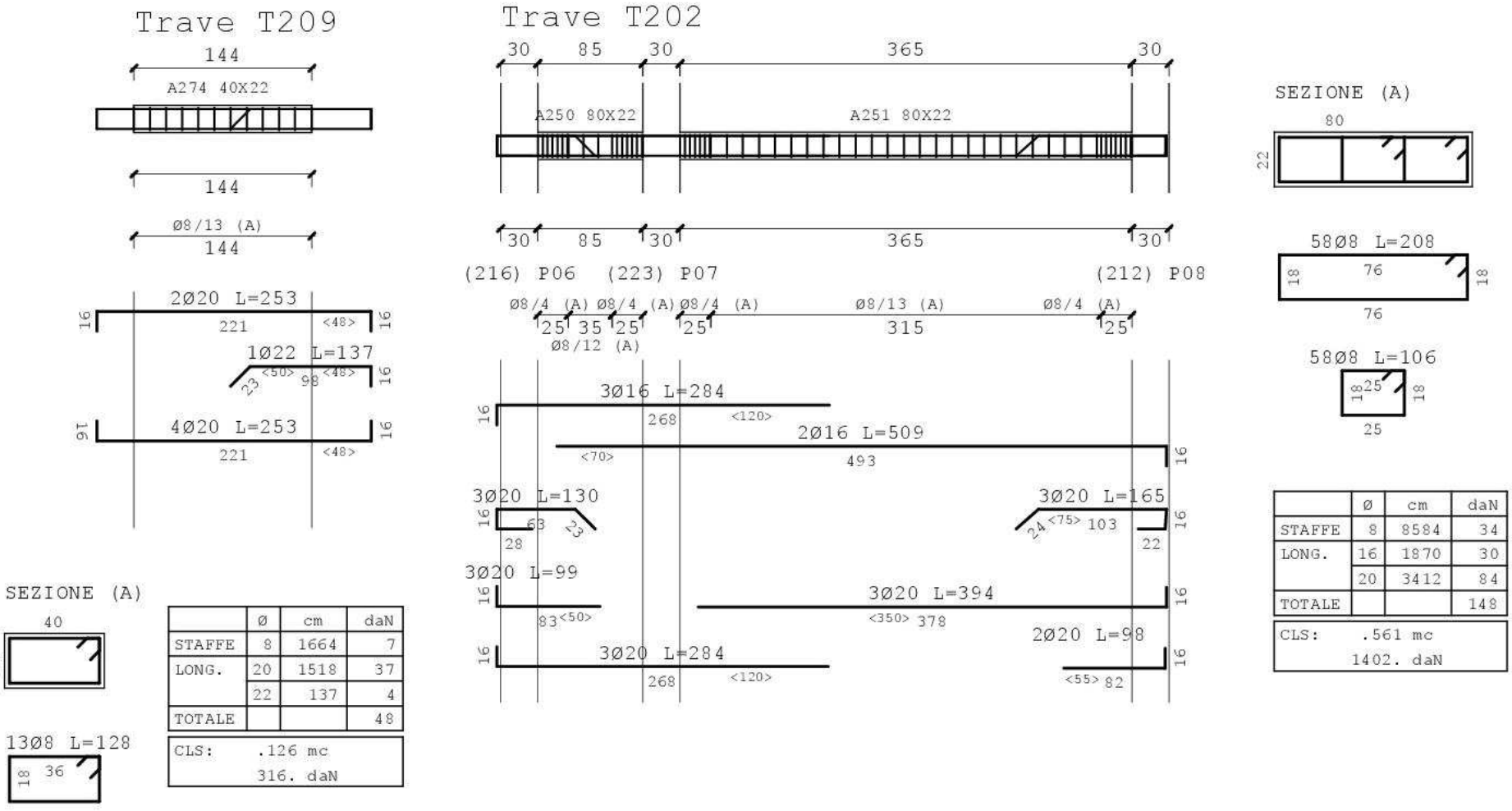


FIG. C.28 Progetto NTC08 – Trave T201 (Scala 1:50)



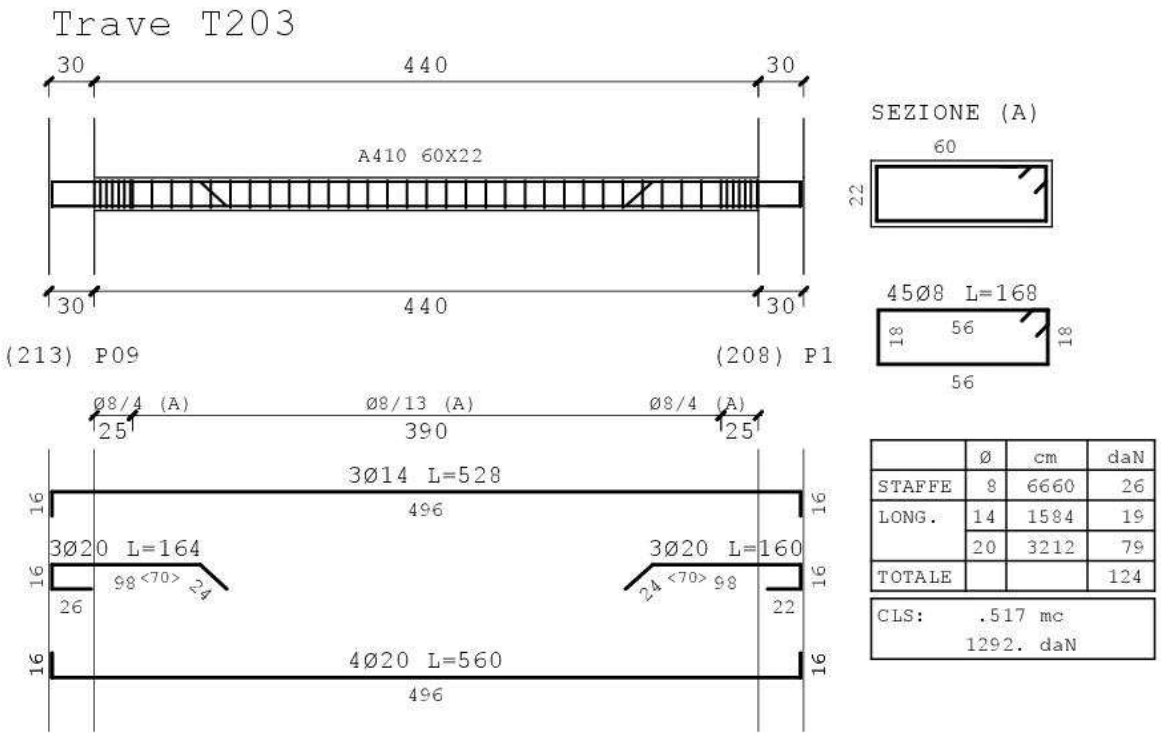
	Ø	cm	daN
STAFFE	8	1664	7
LONG.	20	1518	37
	22	137	4
TOTALE			48

CLS: .126 mc
316. daN

	Ø	cm	daN
STAFFE	8	8584	34
LONG.	16	1870	30
	20	3412	84
TOTALE			148

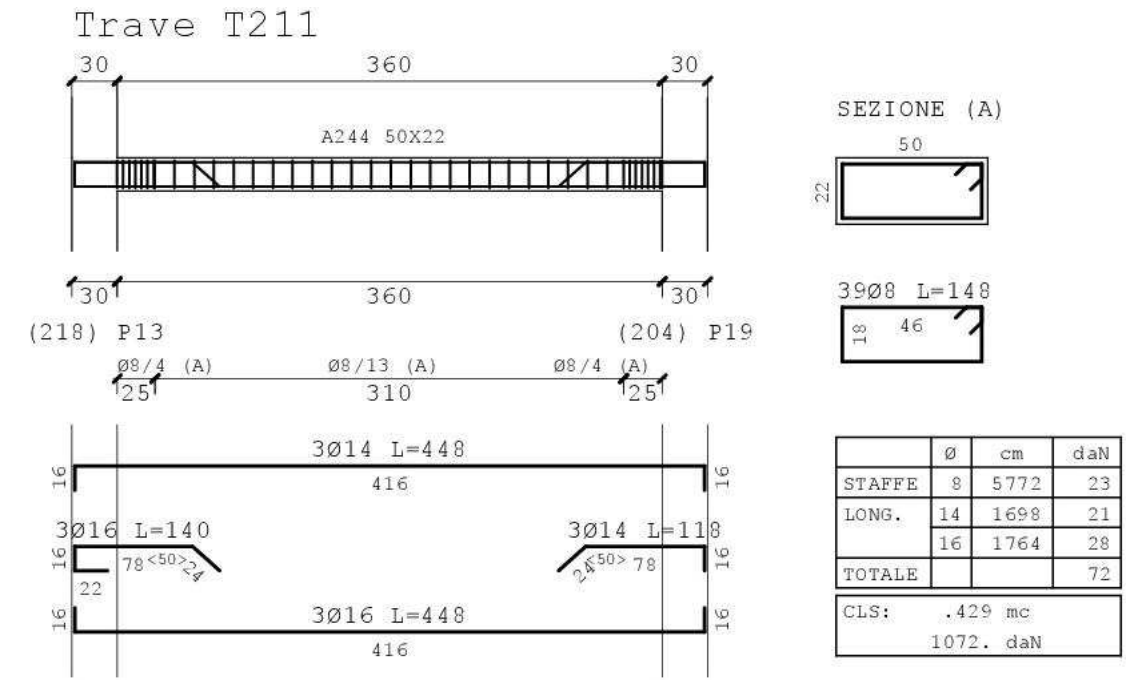
CLS: .561 mc
1402. daN

C.29 Progetto NTC08 – Trave T209 e T202 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	6660	26
LONG.	14	1584	19
	20	3212	79
TOTALE			124

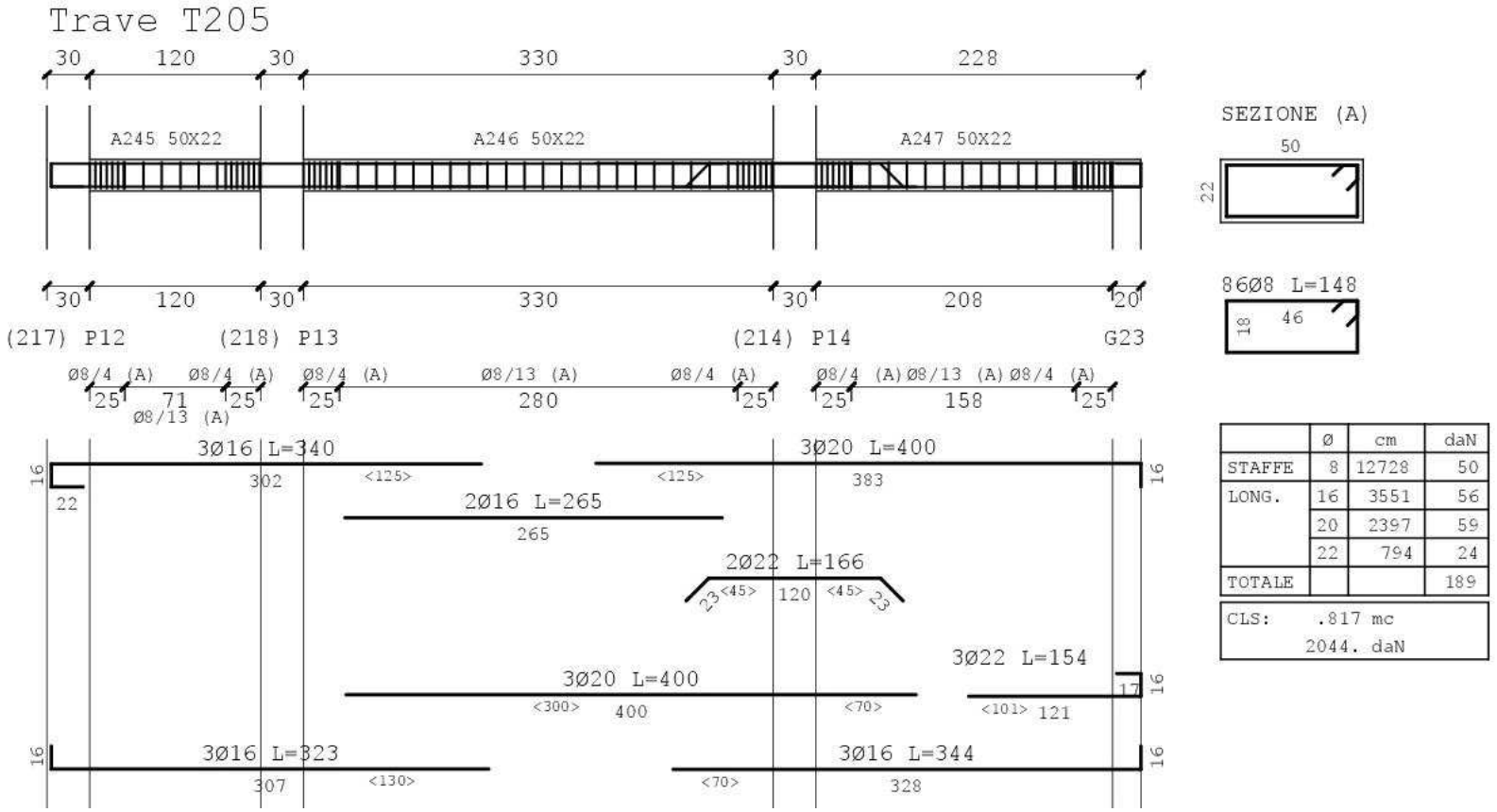
CLS: .517 mc
1292. daN



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	5772	23
LONG.	14	1698	21
	16	1764	28
TOTALE			72

CLS: .429 mc
1072. daN

FIG. C.30 Progetto NTC08 – Travi T203 e T211 (Scala 1:50)



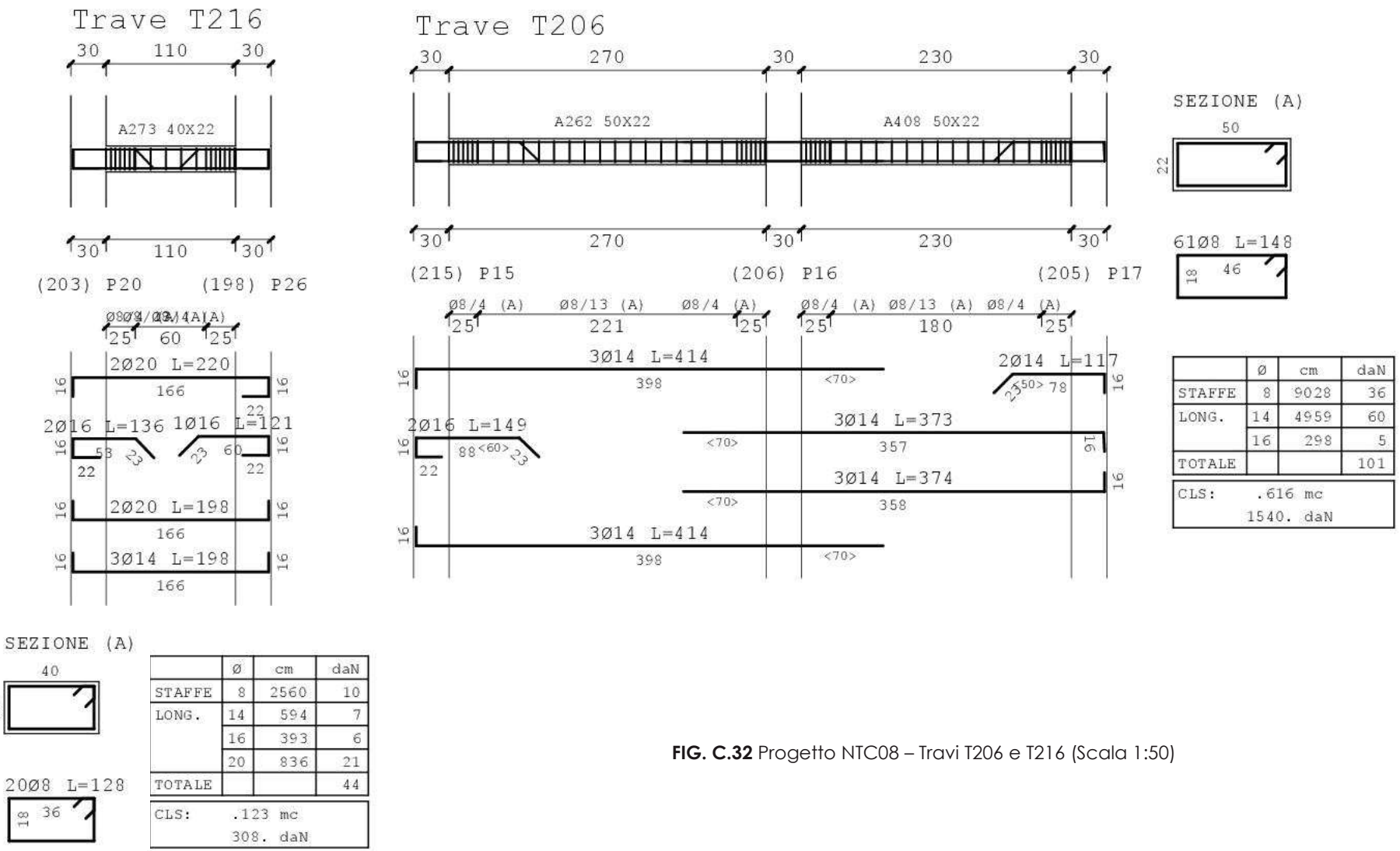
SEZIONE (A)

86Ø8 L=148

	Ø	cm	daN
STAFFE	8	12728	50
LONG.	16	3551	56
	20	2397	59
	22	794	24
TOTALE			189

CLS: .817 mc
2044. daN

FIG. C.31 Progetto NTC08 – Trave T205 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	2560	10
LONG.	14	594	7
	16	393	6
	20	836	21
TOTALE			44

CLS: .123 mc
308. daN

	Ø	cm	daN
STAFFE	8	9028	36
LONG.	14	4959	60
	16	298	5
TOTALE			101

CLS: .616 mc
1540. daN

FIG. C.32 Progetto NTC08 – Travi T206 e T216 (Scala 1:50)

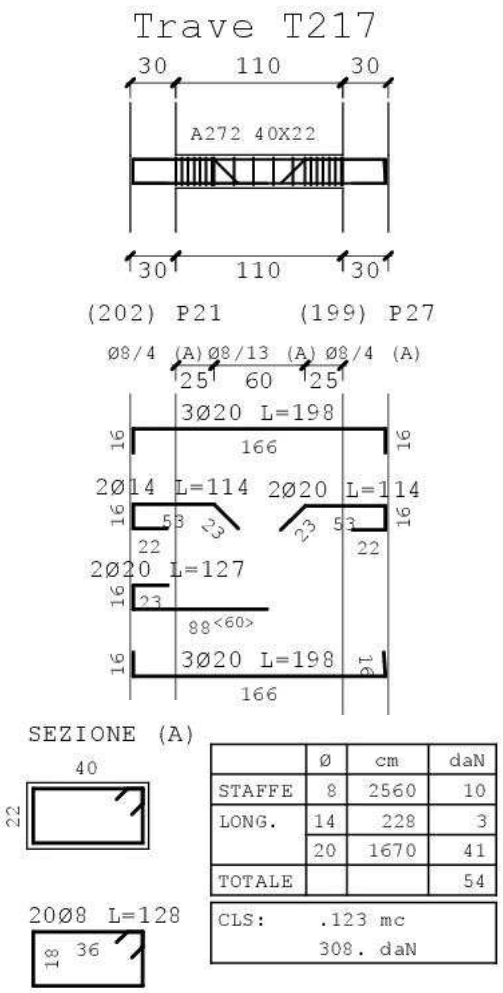


FIG. C.33 Progetto NTC08 – Trave T217

(Scala 1:50)

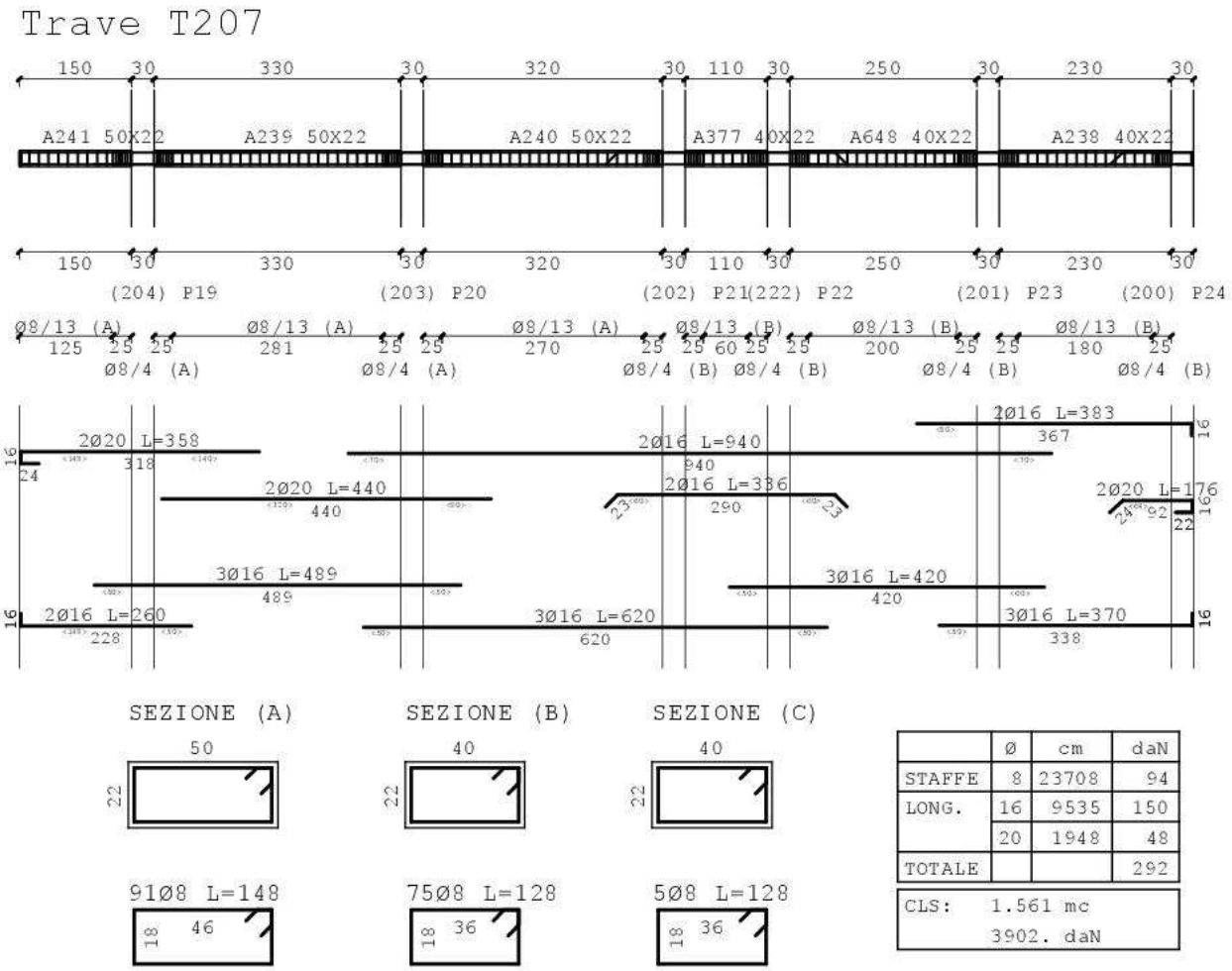
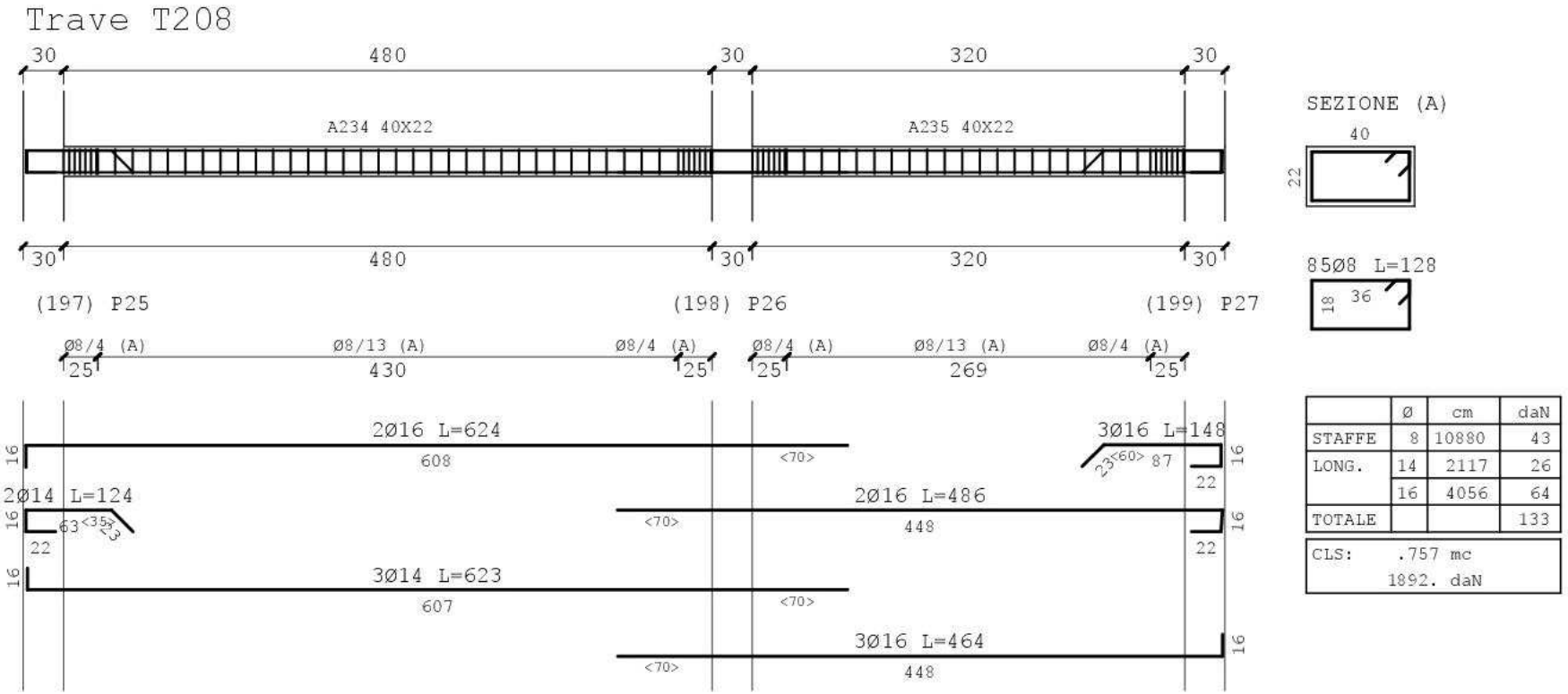


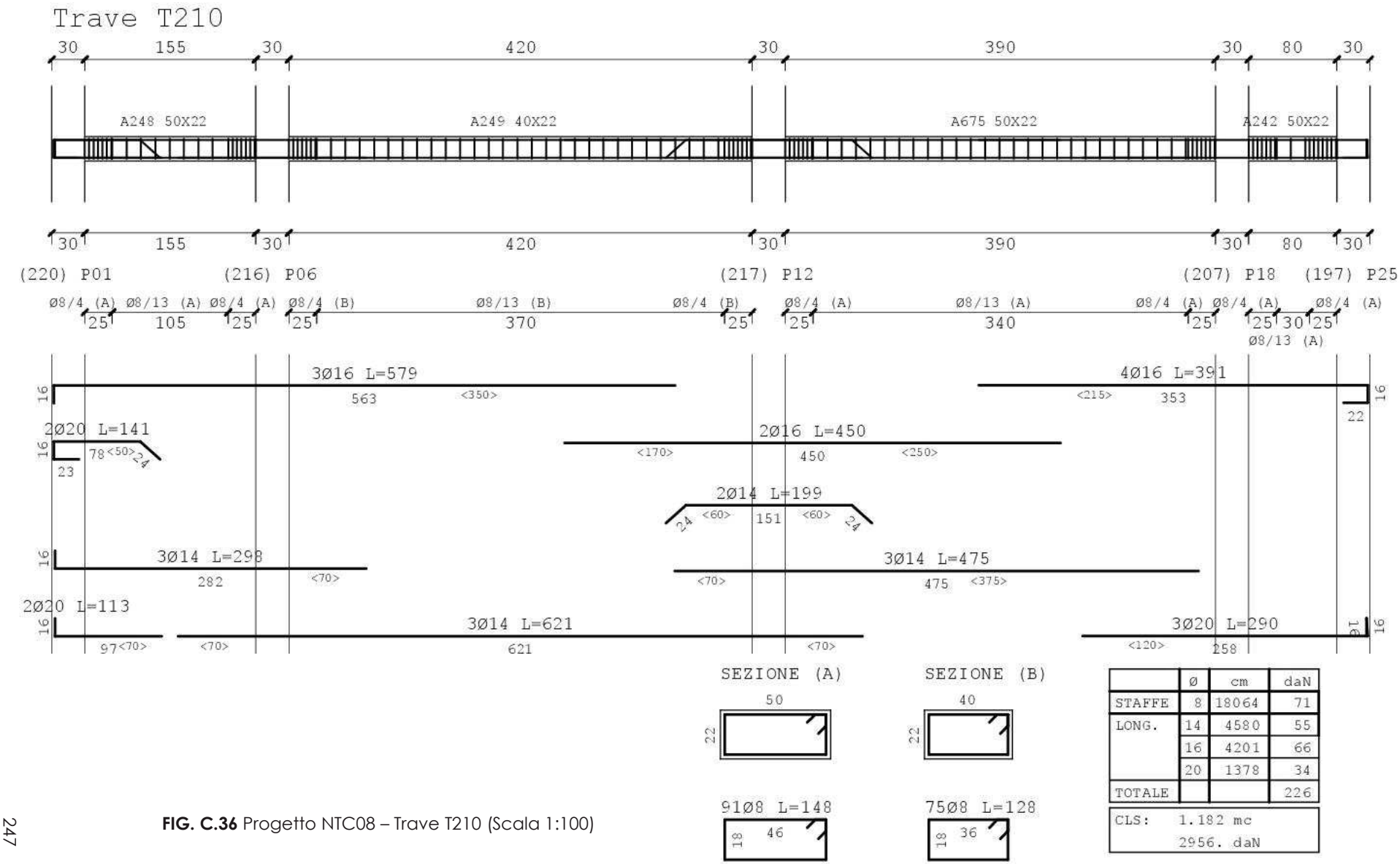
FIG. C.34 Progetto NTC08 – Trave T207 (Scala 1:100)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	10880	43
LONG.	14	2117	26
	16	4056	64
TOTALE			133

CLS: .757 mc
1892. daN

FIG. C.35 Progetto NTC08 – Trave T208 (Scala 1:100)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	18064	71
LONG.	14	4580	55
	16	4201	66
	20	1378	34
TOTALE			226

CLS: 1.182 mc
2956. daN

FIG. C.36 Progetto NTC08 – Trave T210 (Scala 1:100)

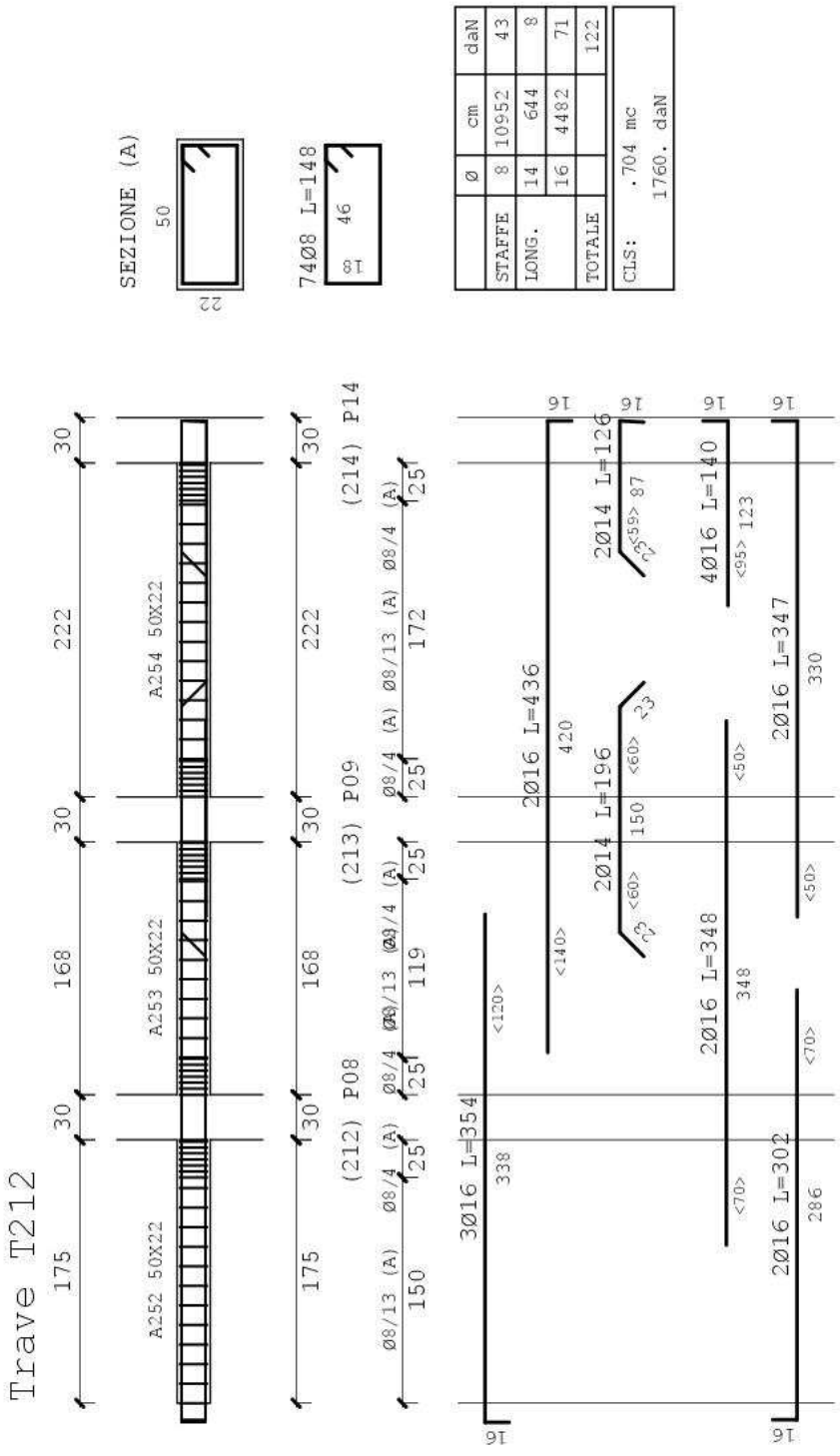


FIG. C.37 Progetto NTC08 – Trave T212 (Scala 1:50)

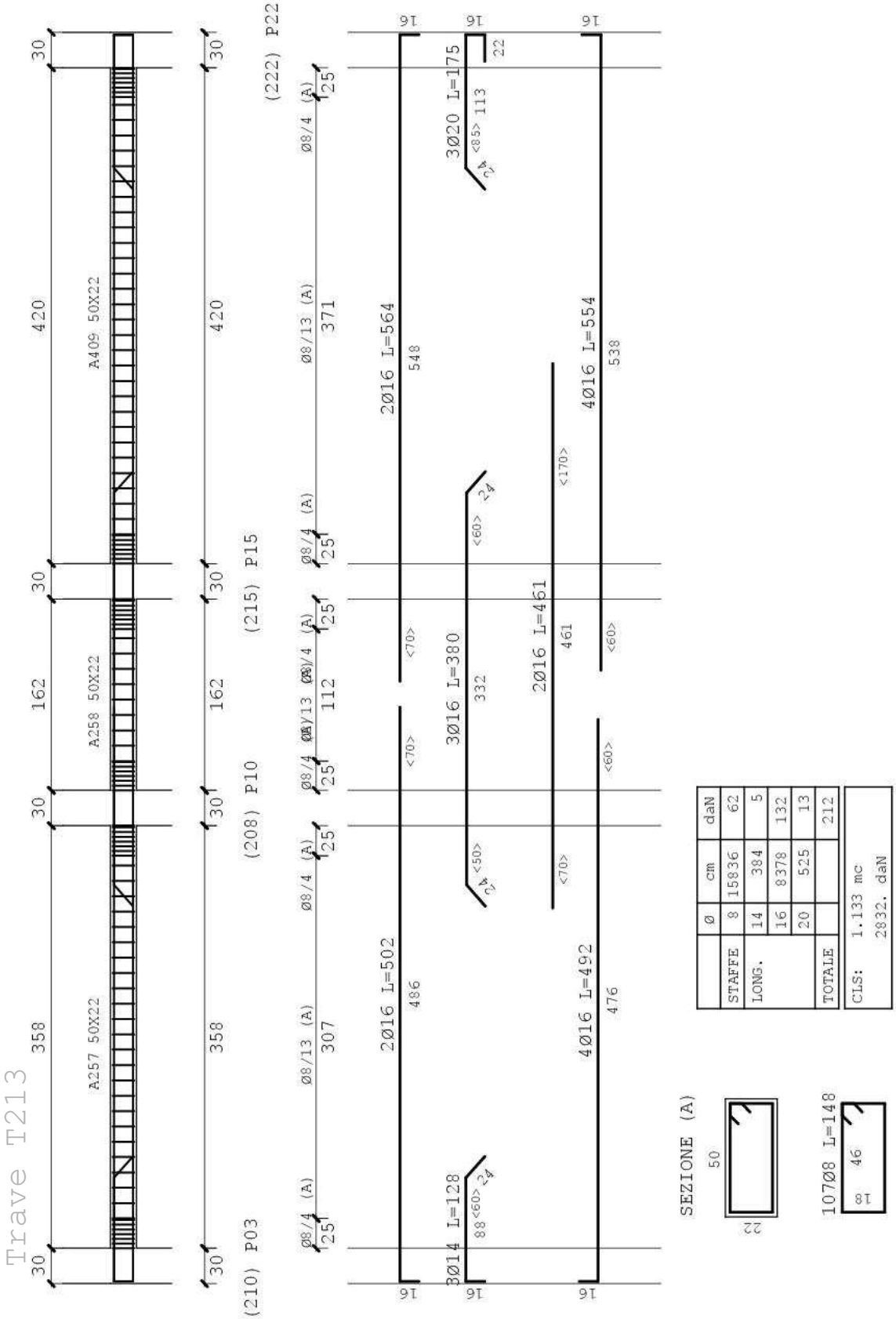
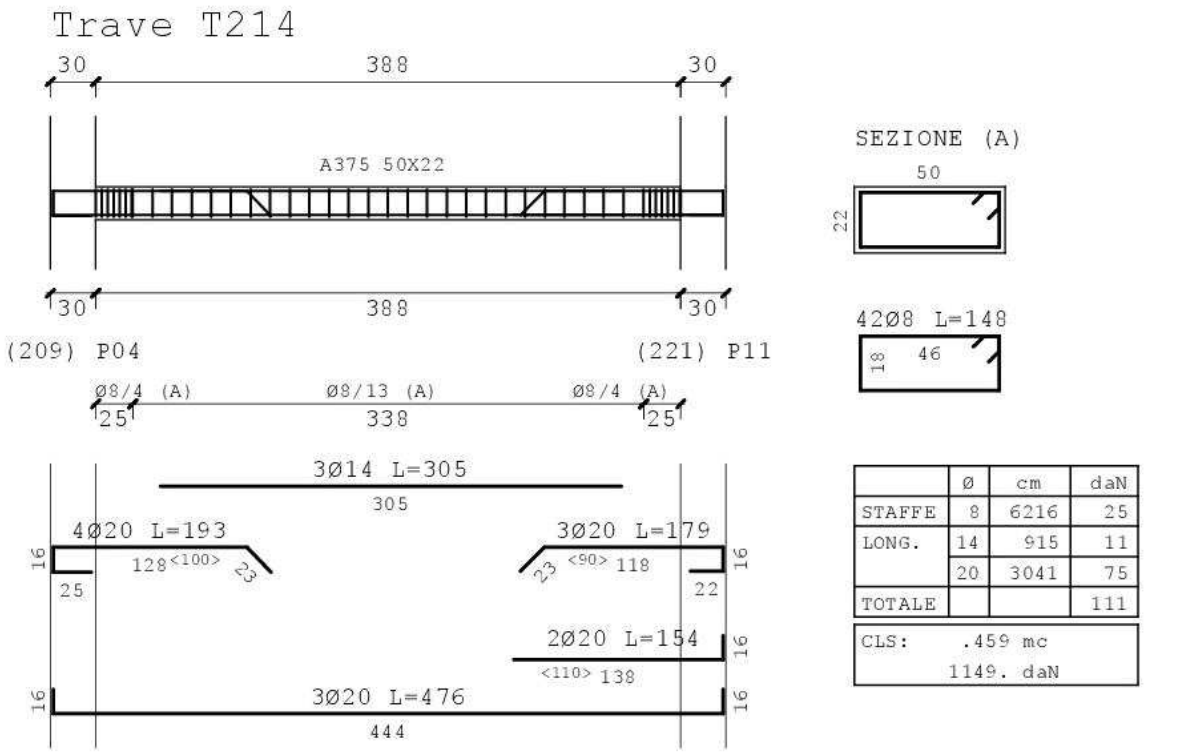
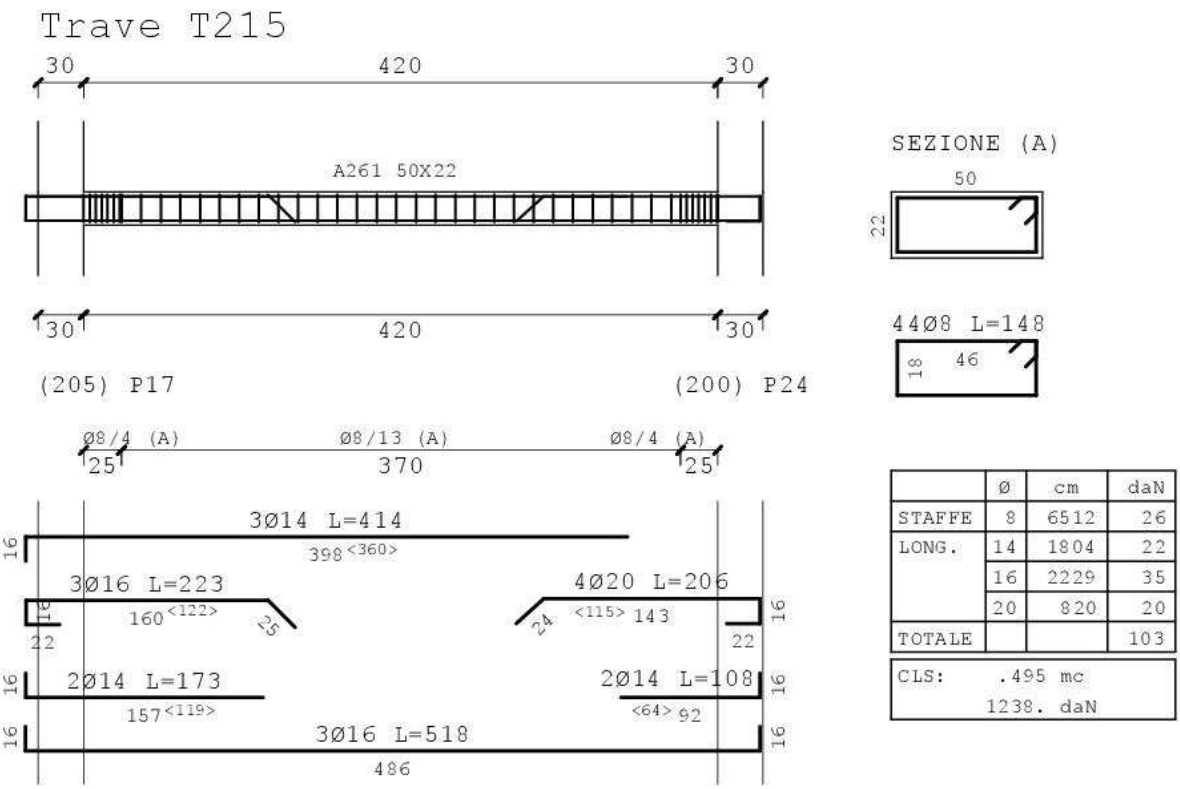


FIG. C.38 Progetto NTC08 – Trave T213 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	6216	25
LONG.	14	915	11
	20	3041	75
TOTALE			111

CLS: .459 mc
1149. daN



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	6512	26
LONG.	14	1804	22
	16	2229	35
	20	820	20
TOTALE			103

CLS: .495 mc
1238. daN

FIG. C.39 Progetto NTC08 – Travi T214 e T215 (Scala 1:50)

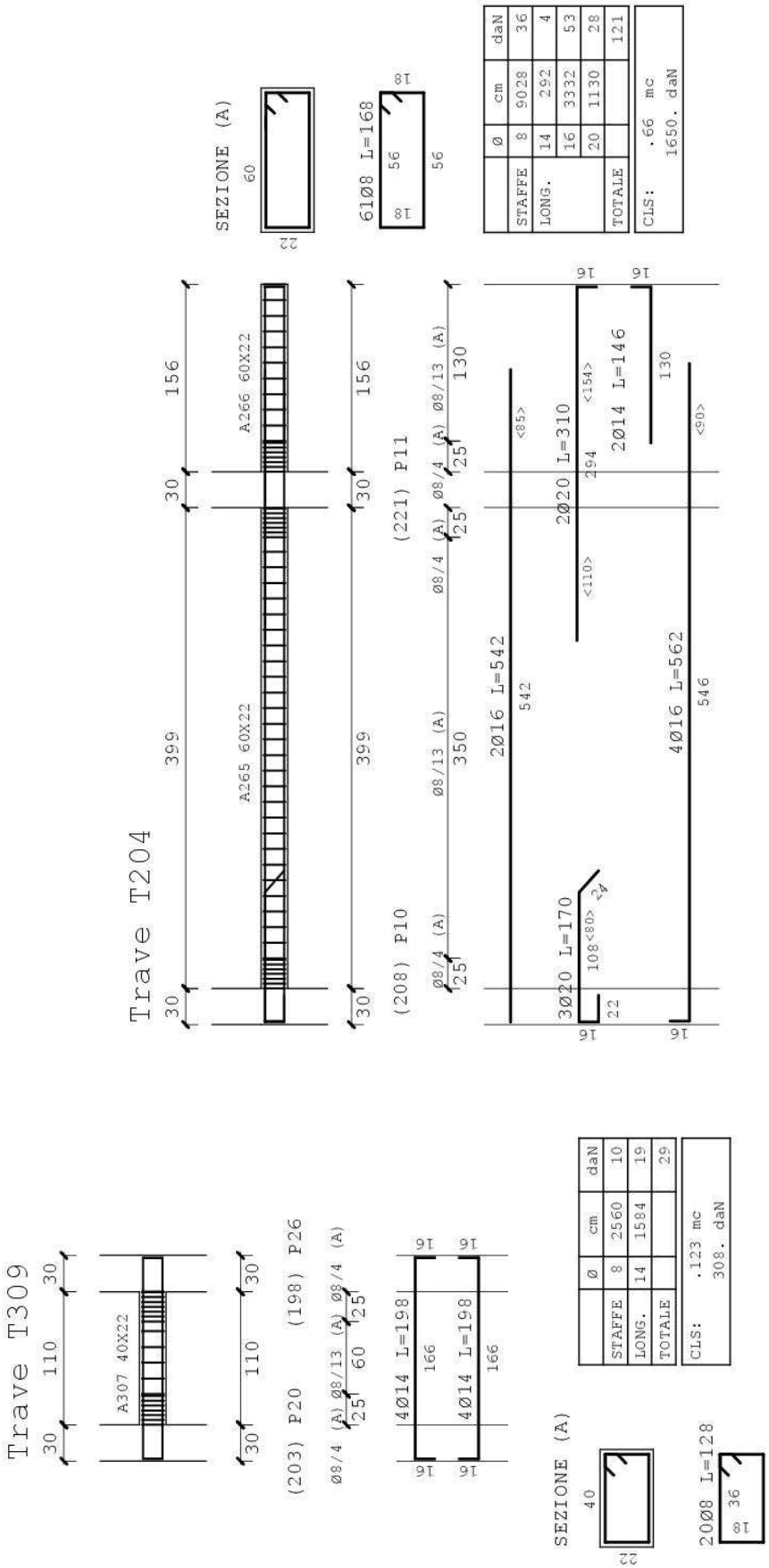


FIG. C.40 Progetto NTC08 – Travi T204 e T309 (Scala 1:50)

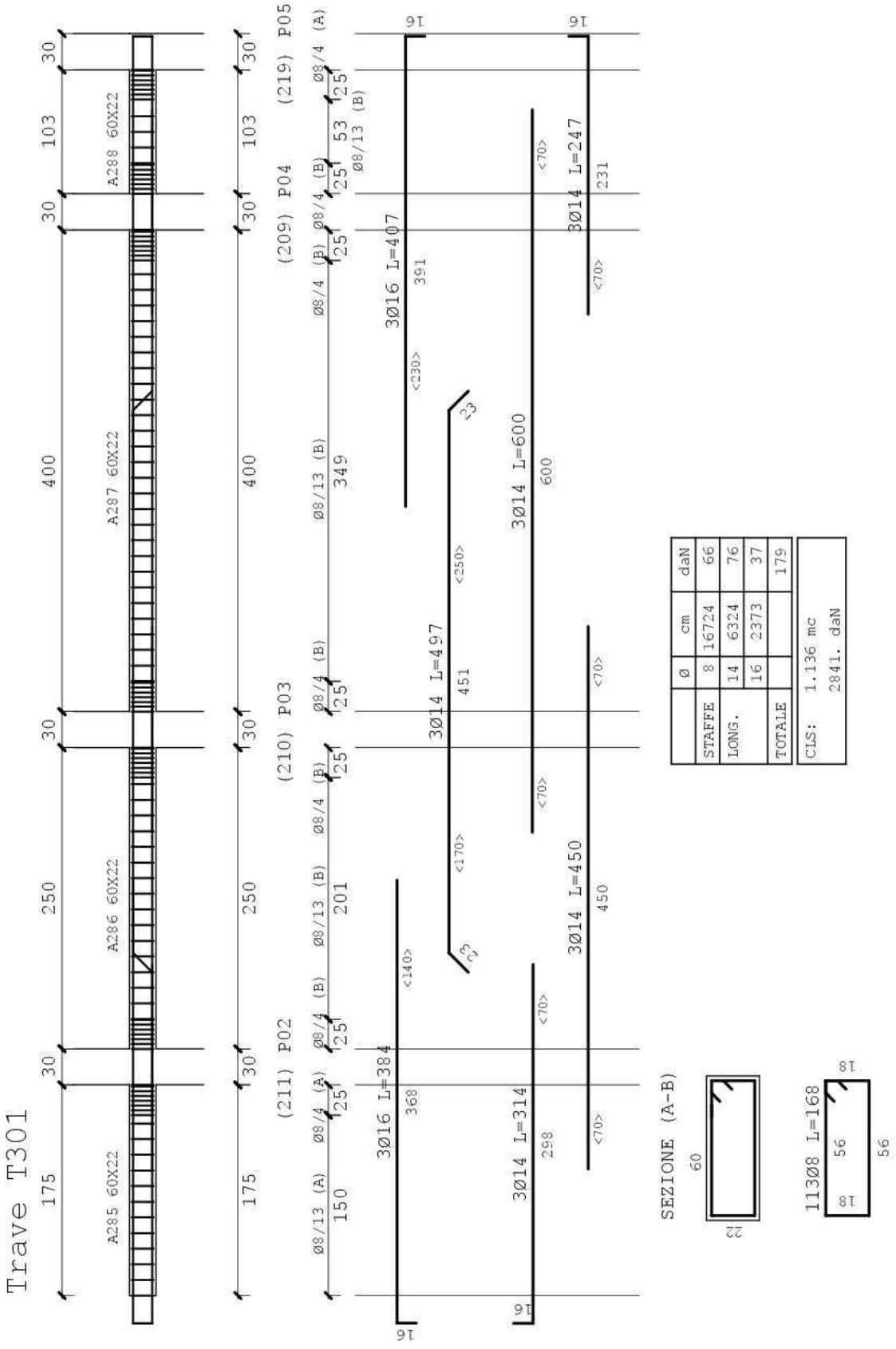
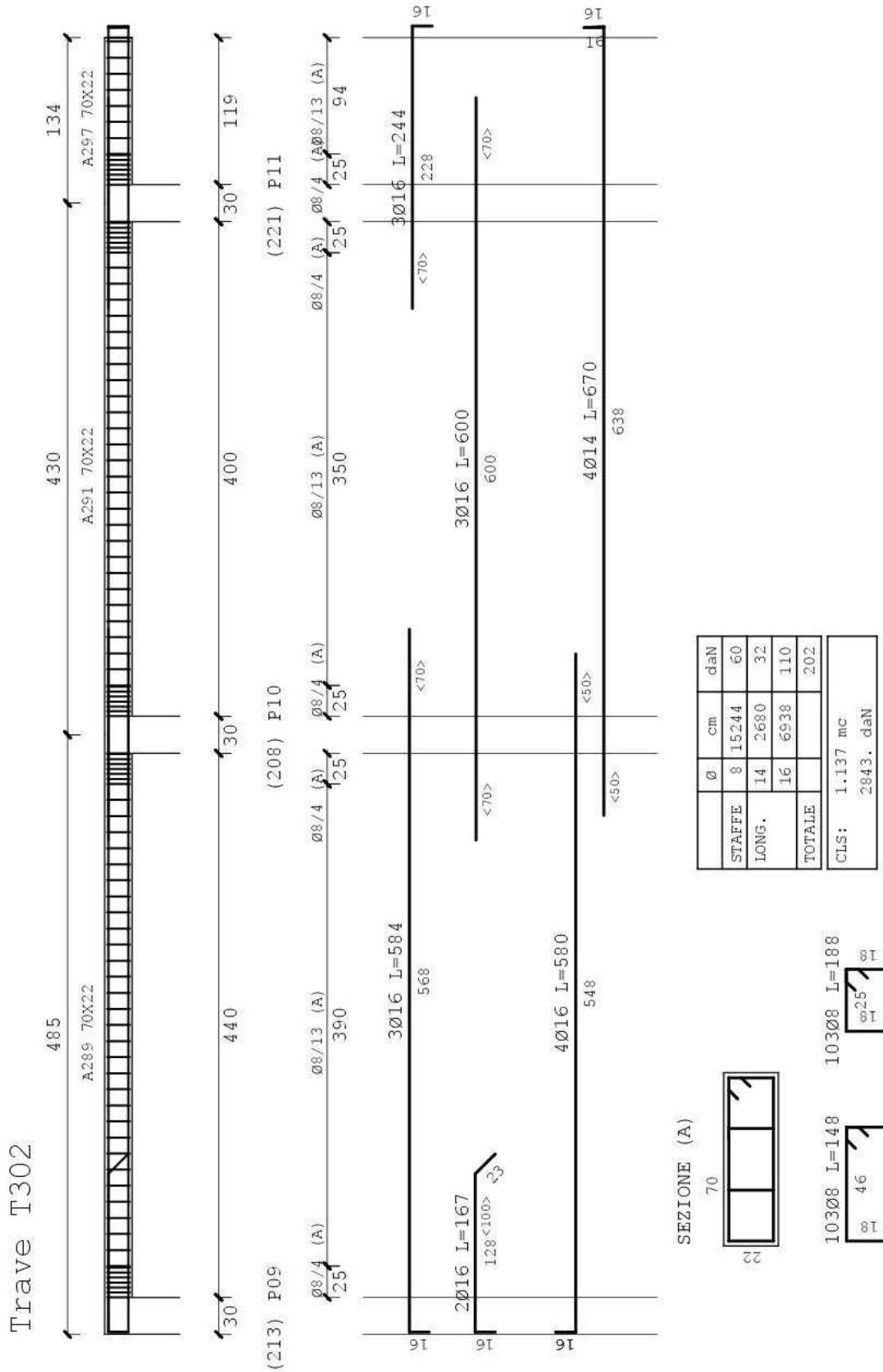
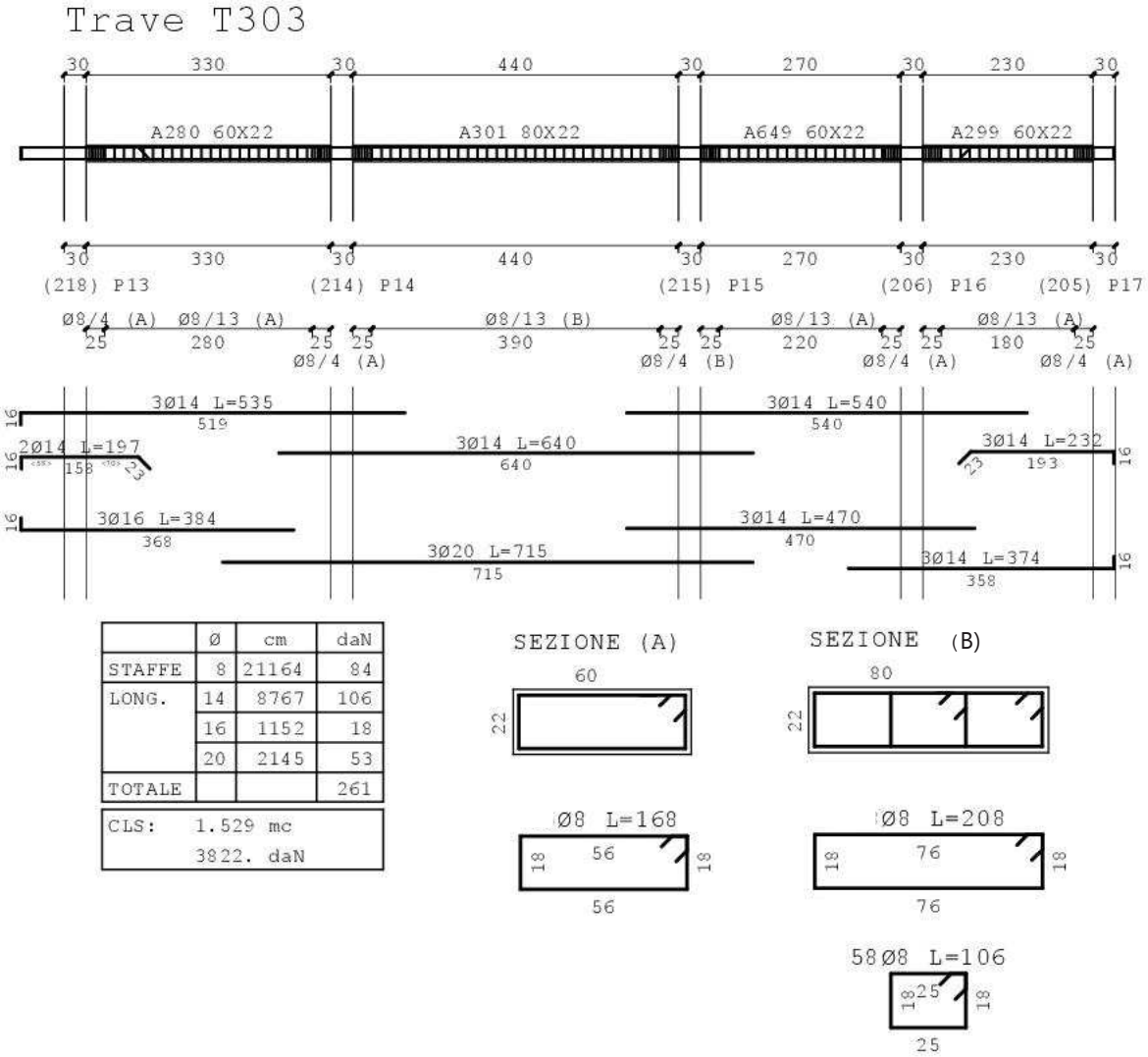


FIG. C.41 Progetto NTC08 – Trave T301 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	15244	60
LONG.	14	2680	32
	16	6938	110
TOTALE			202

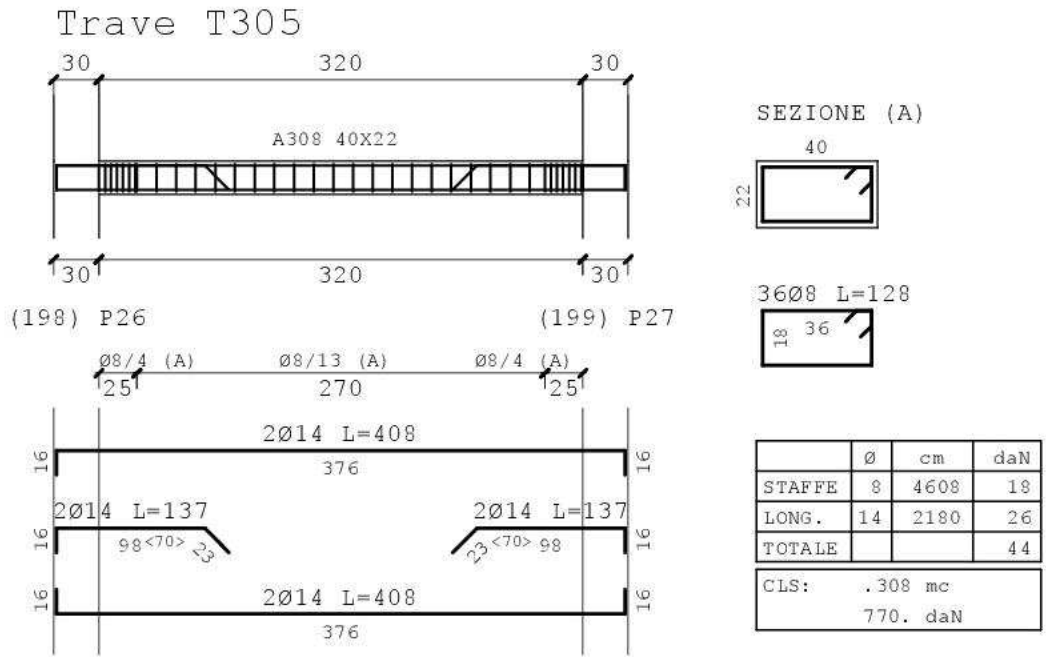
FIG. C.42 Progetto NTC08 – Trave T302 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	21164	84
LONG.	14	8767	106
	16	1152	18
	20	2145	53
TOTALE			261

CLS: 1.529 mc
3822. daN

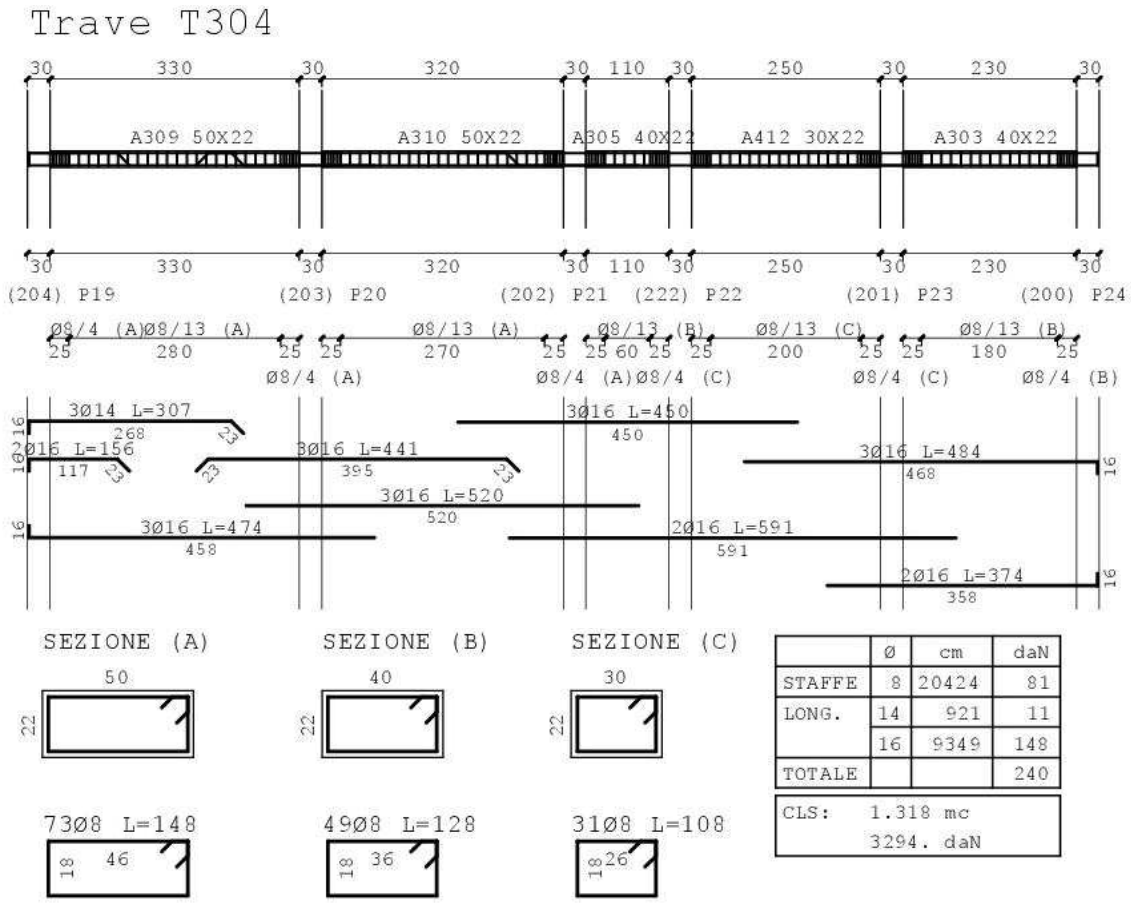
FIG. C.43 Progetto NTC08 – Trave T303 (Scala 1:100)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	4608	18
LONG.	14	2180	26
TOTALE			44

CLS: .308 mc
770. daN

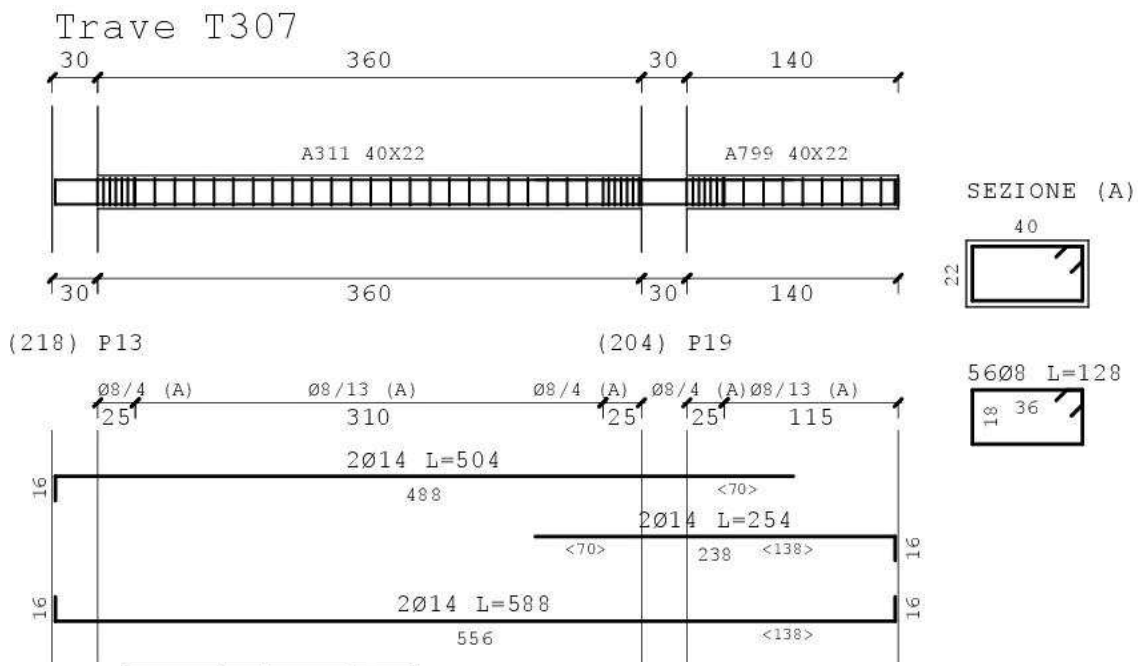
FIG. C.44 Progetto NTC08 – Trave T305 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	20424	81
LONG.	14	921	11
	16	9349	148
TOTALE			240

CLS: 1.318 mc
3294. daN

FIG. C.45 Progetto NTC08 – Trave T304 (Scala 1:100)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	7168	28
LONG.	14	2692	33
TOTALE			61

CLS: .48 mc
1199. daN

FIG. C.46 Progetto NTC08 – Trave T307 (Scala 1:50)

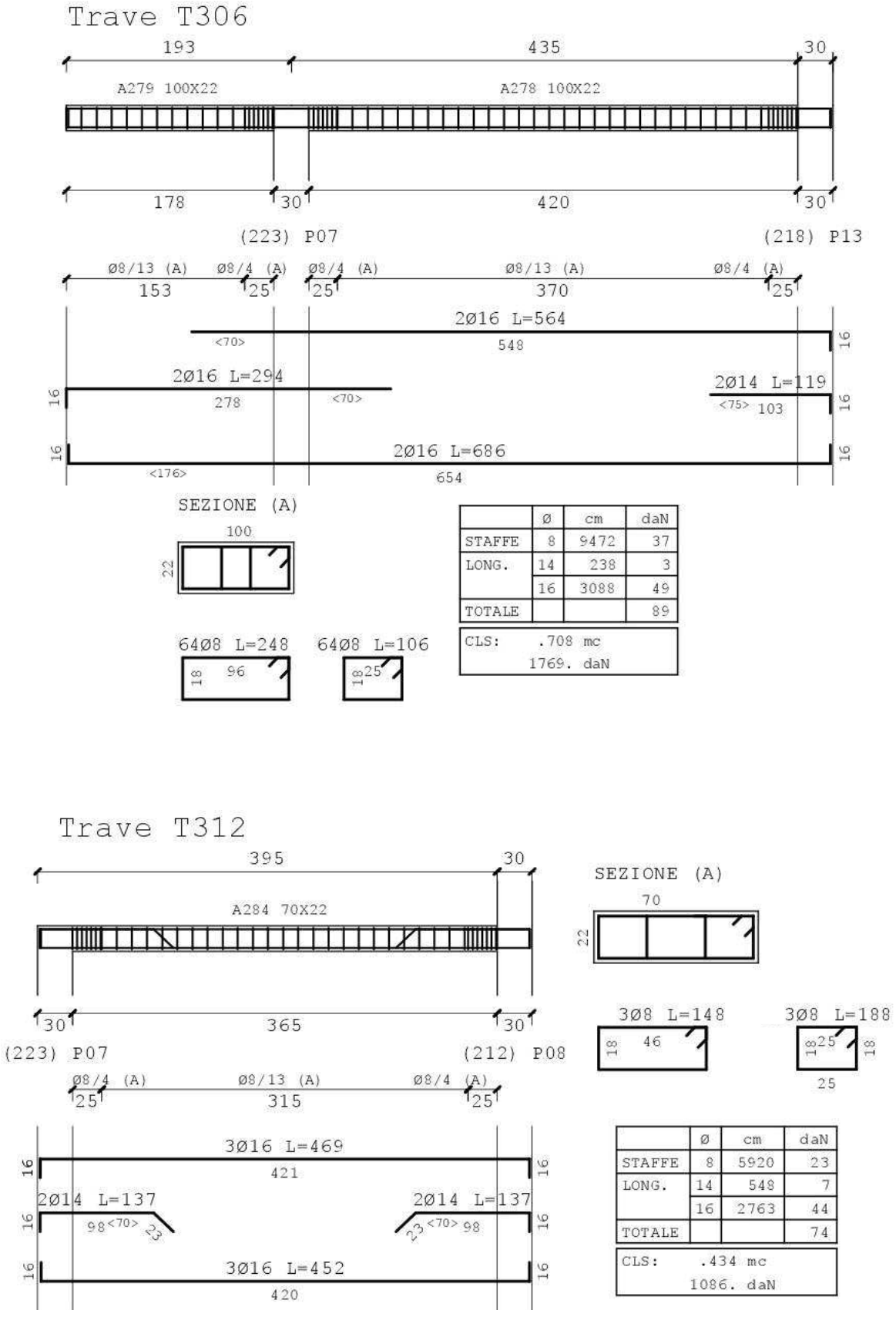
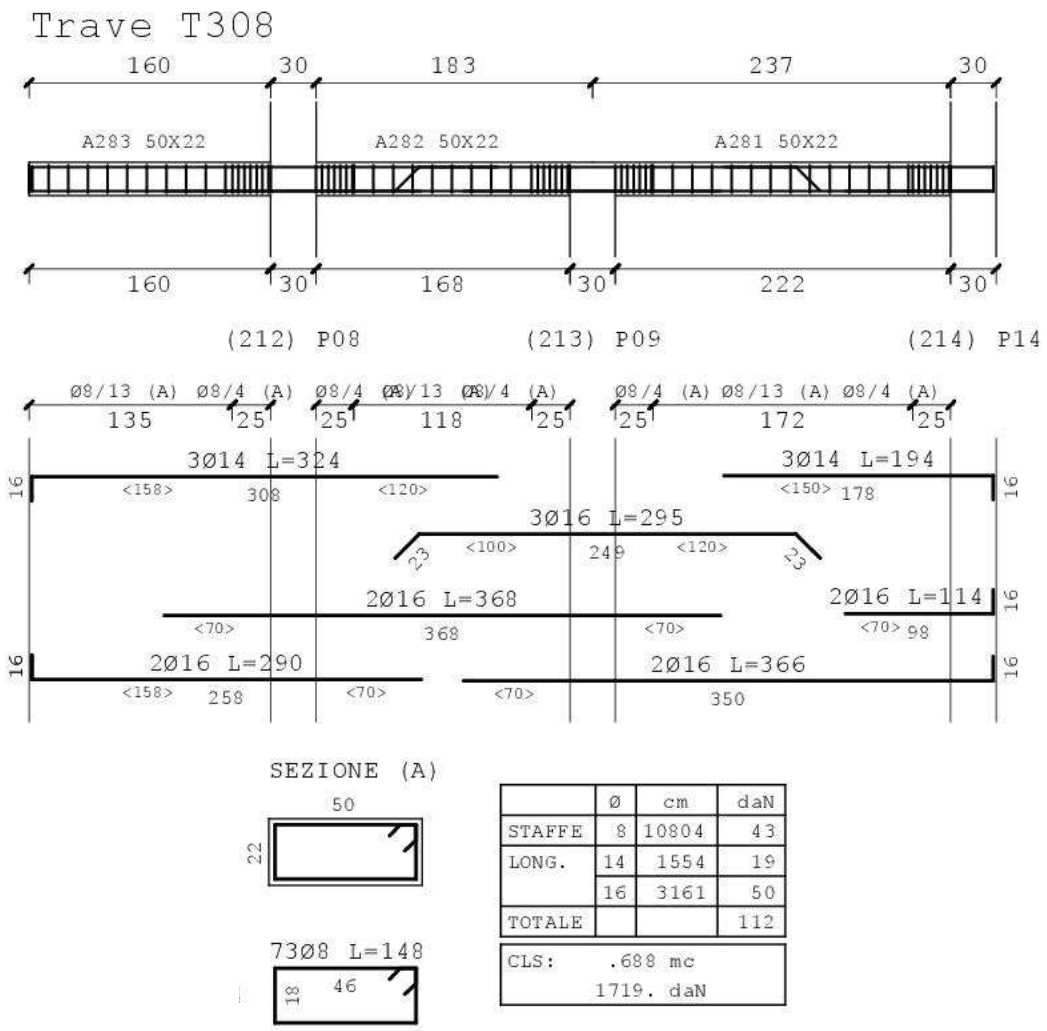


FIG. C.47 Progetto NTC08 – Travi T306 e T312 (Scala 1:50)



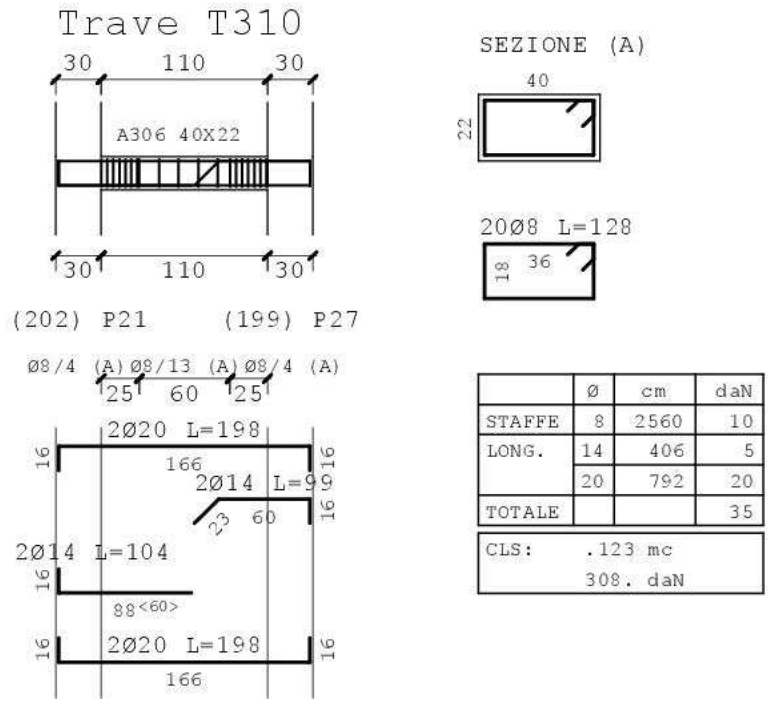


FIG. C.48 Progetto NTC08 – Travi T308 e T310 (Scala 1:50)

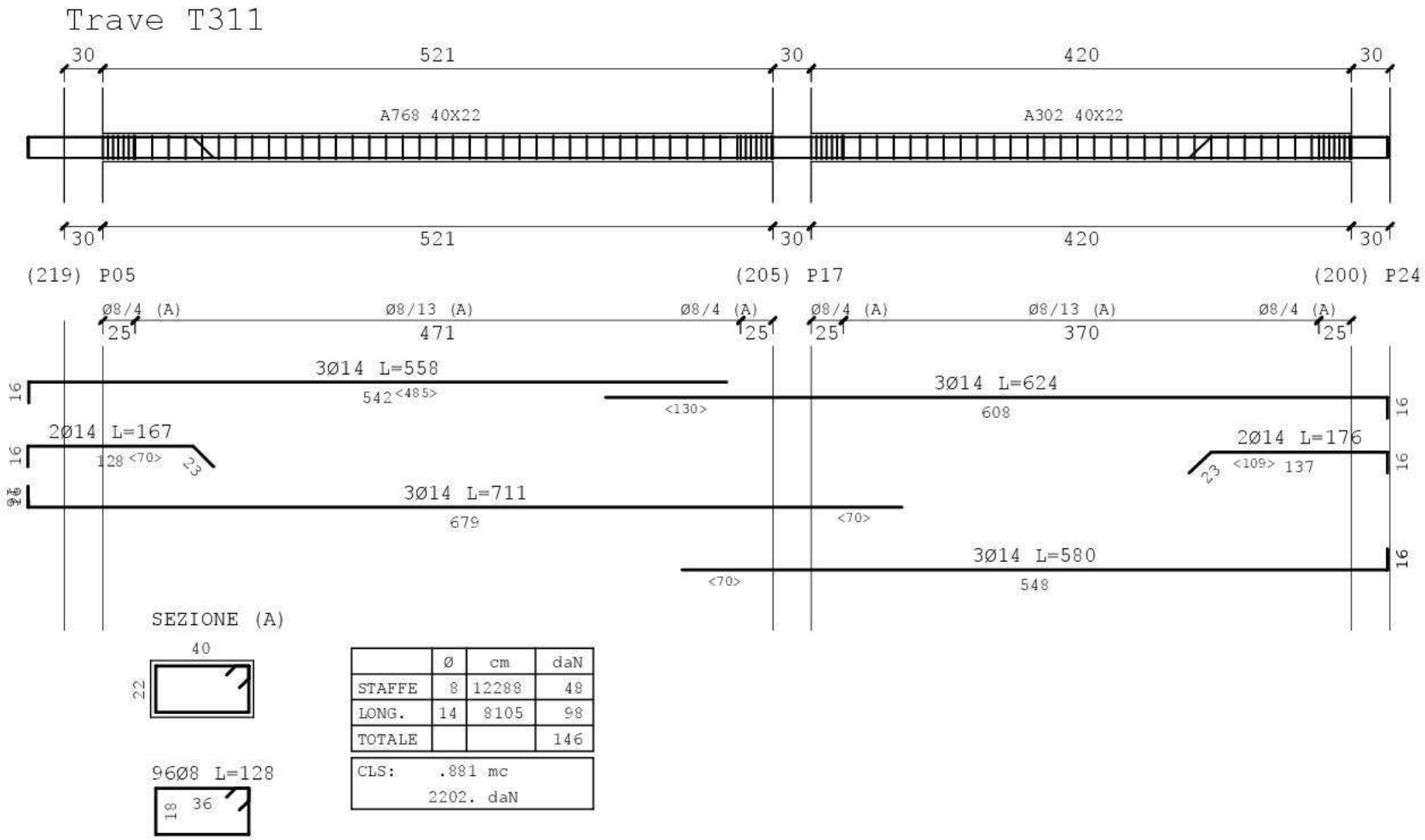


FIG. C.49 Progetto NTC08 – Trave T311 (Scala 1:50)

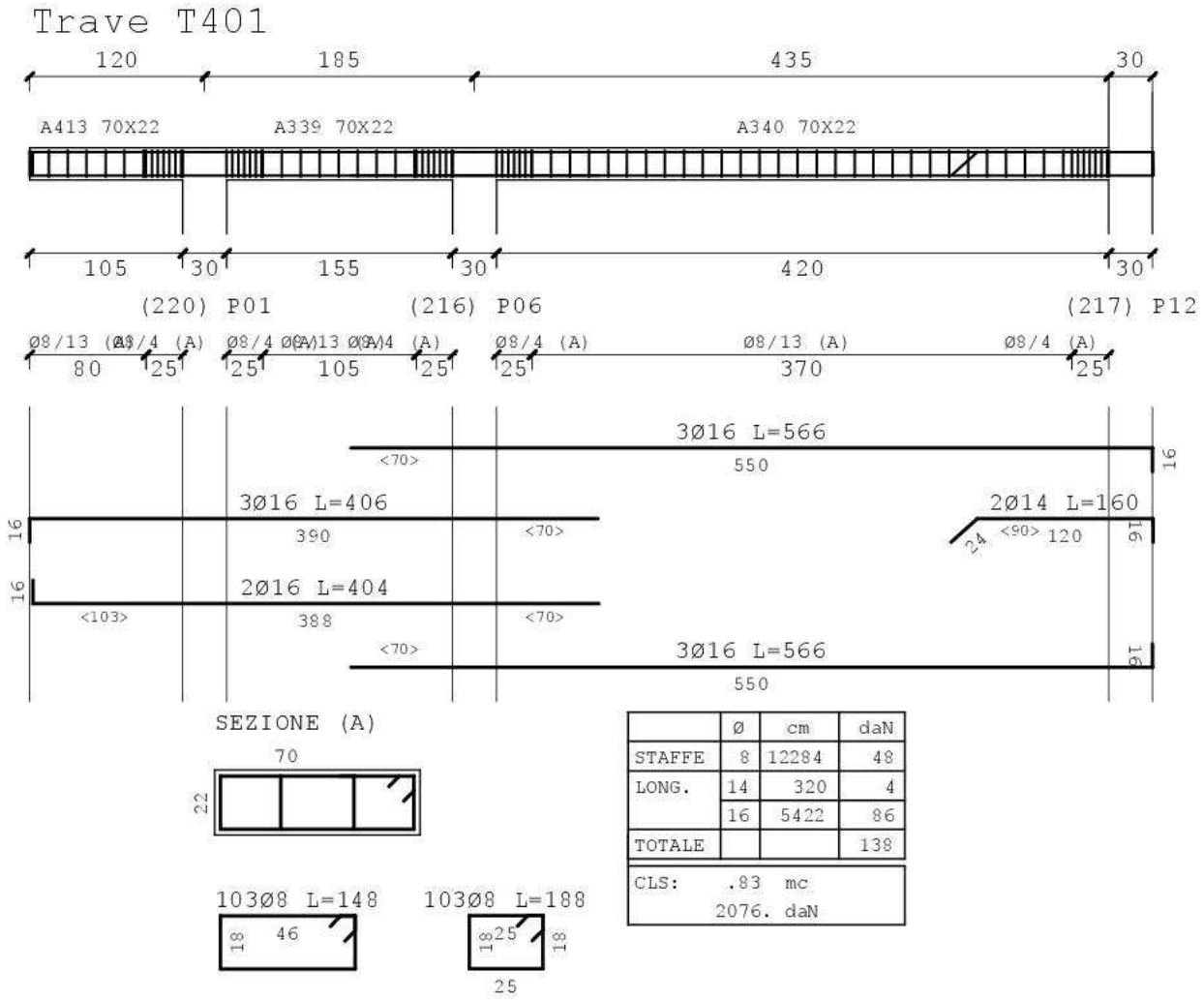


FIG. C.50 Progetto NTC08 – Trave T401 (Scala 1:50)

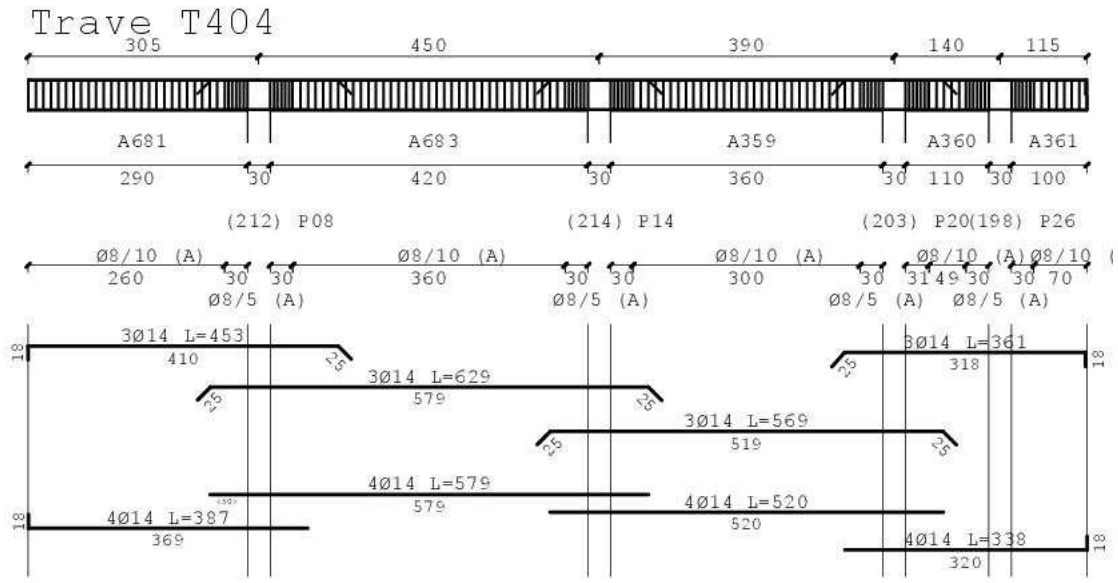
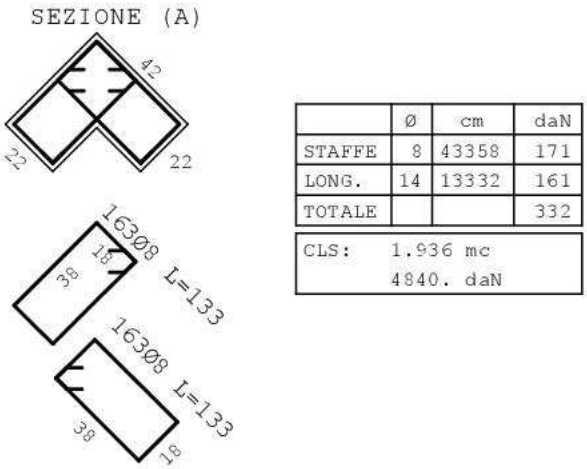


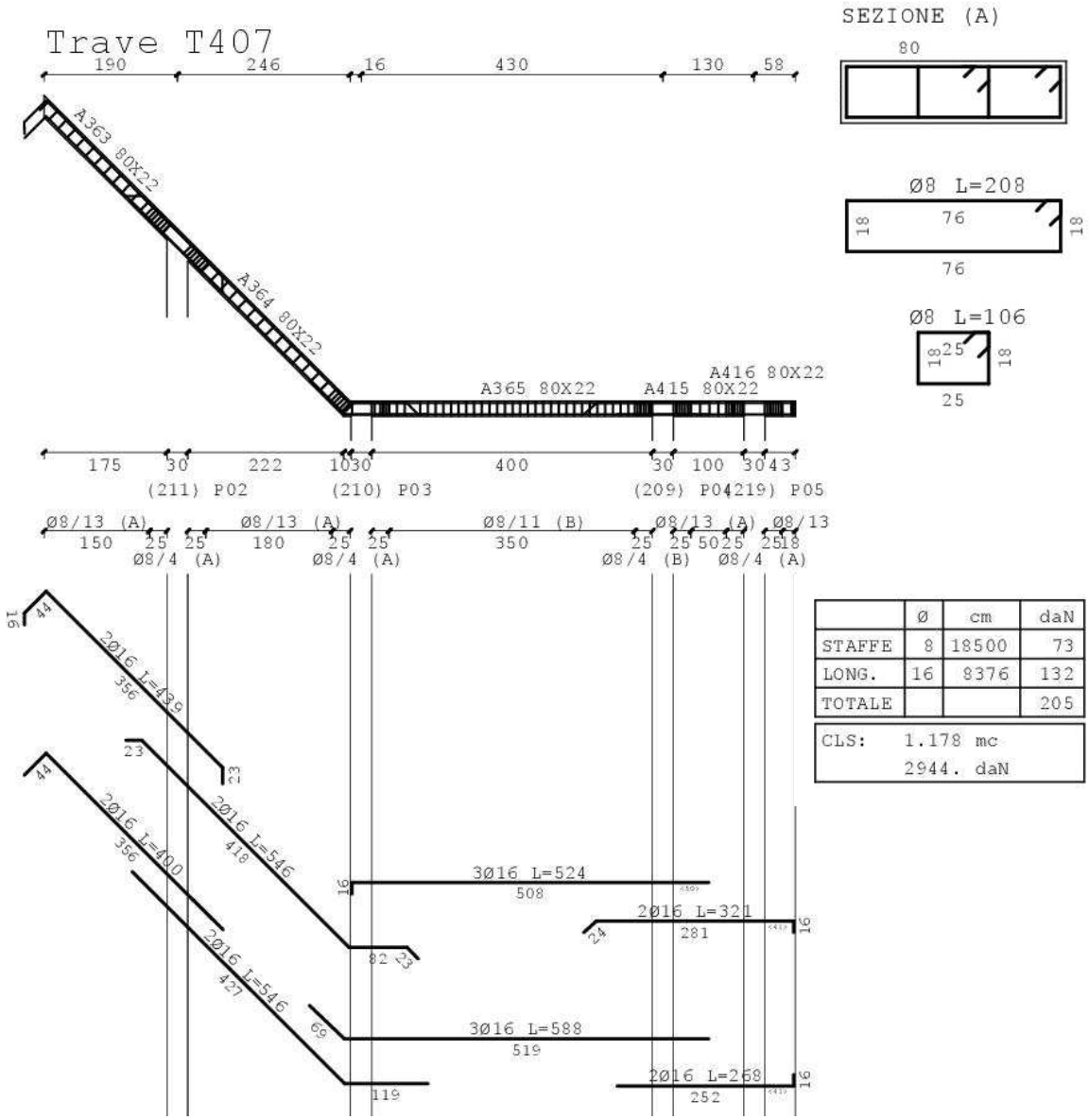
FIG. C.51 Progetto NTC08 – Trave T404 (Scala 1:100)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	43358	171
LONG.	14	13332	161
TOTALE			332

CLS:	1.936 mc
	4840. daN

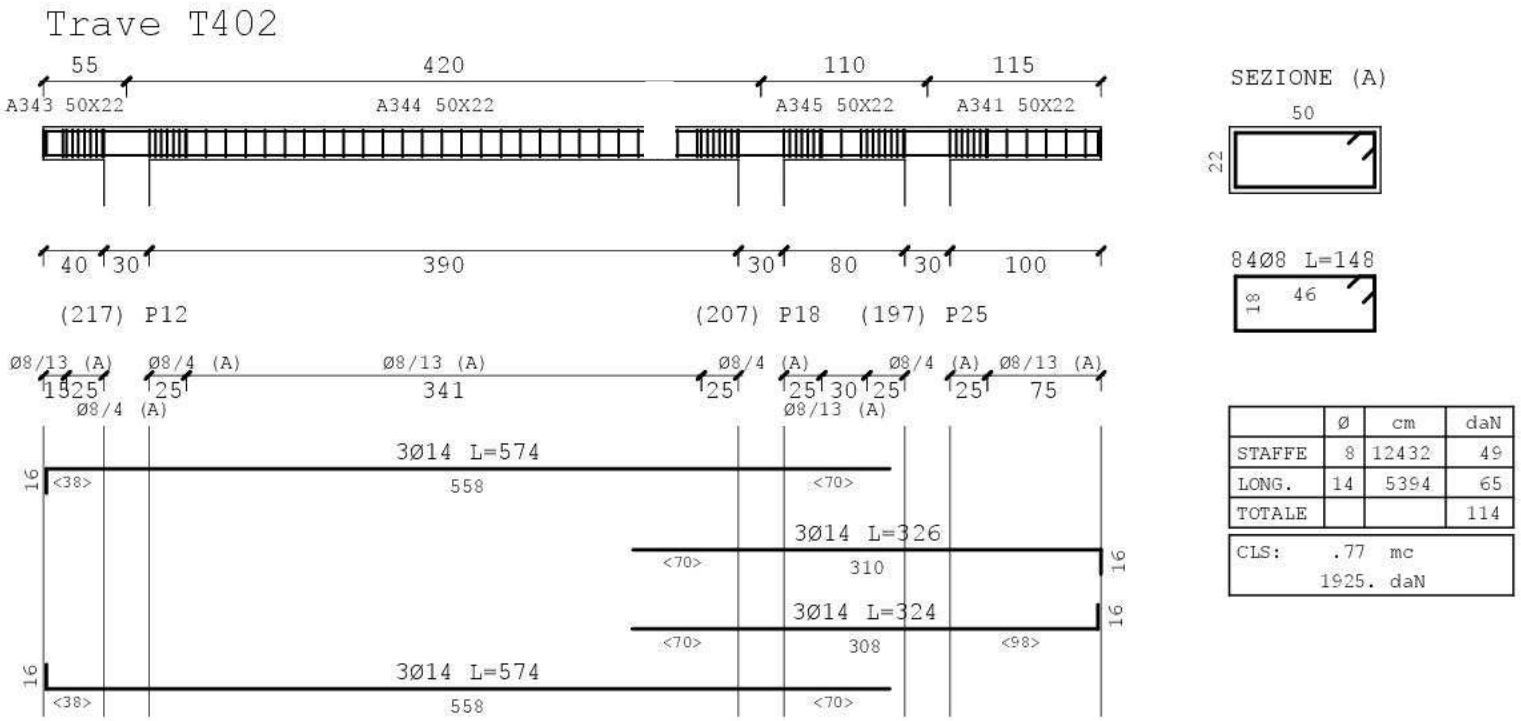
FIG. C.52 Progetto NTC08 – Trave T404: Sezione A e computo materiali



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	18500	73
LONG.	16	8376	132
TOTALE			205

CLS:	1.178 mc
	2944. daN

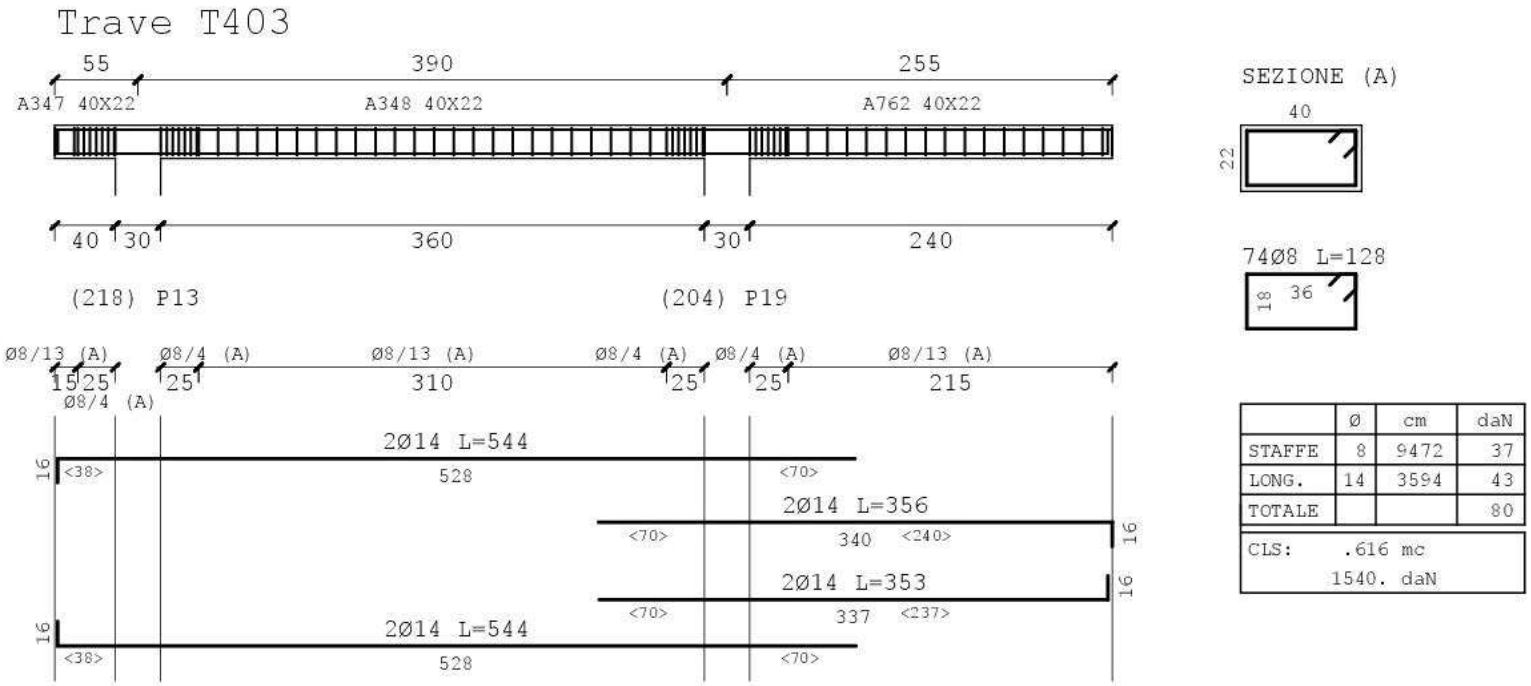
FIG. C.53 Progetto NTC08 – Trave T407 (Scala 1:100)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	12432	49
LONG.	14	5394	65
TOTALE			114

CLS: .77 mc
1925. daN

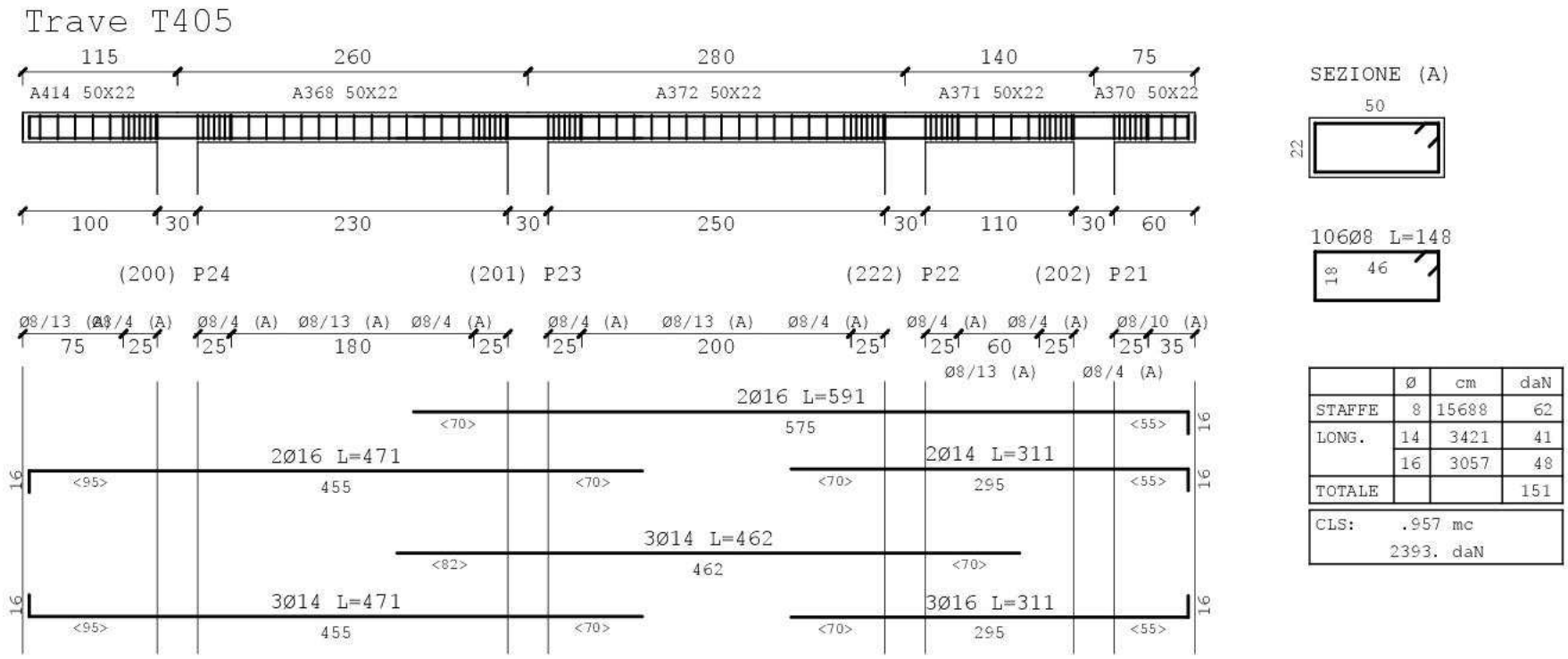
FIG. C.54 Progetto NTC08 – Trave T402 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	9472	37
LONG.	14	3594	43
TOTALE			80

CLS: .616 mc
1540. daN

FIG. C.55 Progetto NTC08 – Trave T403 (Scala 1:50)



SEZIONE (A)

106Ø8 L=148

	Ø	cm	daN
STAFFE	8	15688	62
LONG.	14	3421	41
	16	3057	48
TOTALE			151

CLS: .957 mc
2393. daN

FIG. C.56 Progetto NTC08 – Trave T405 (Scala 1:50)

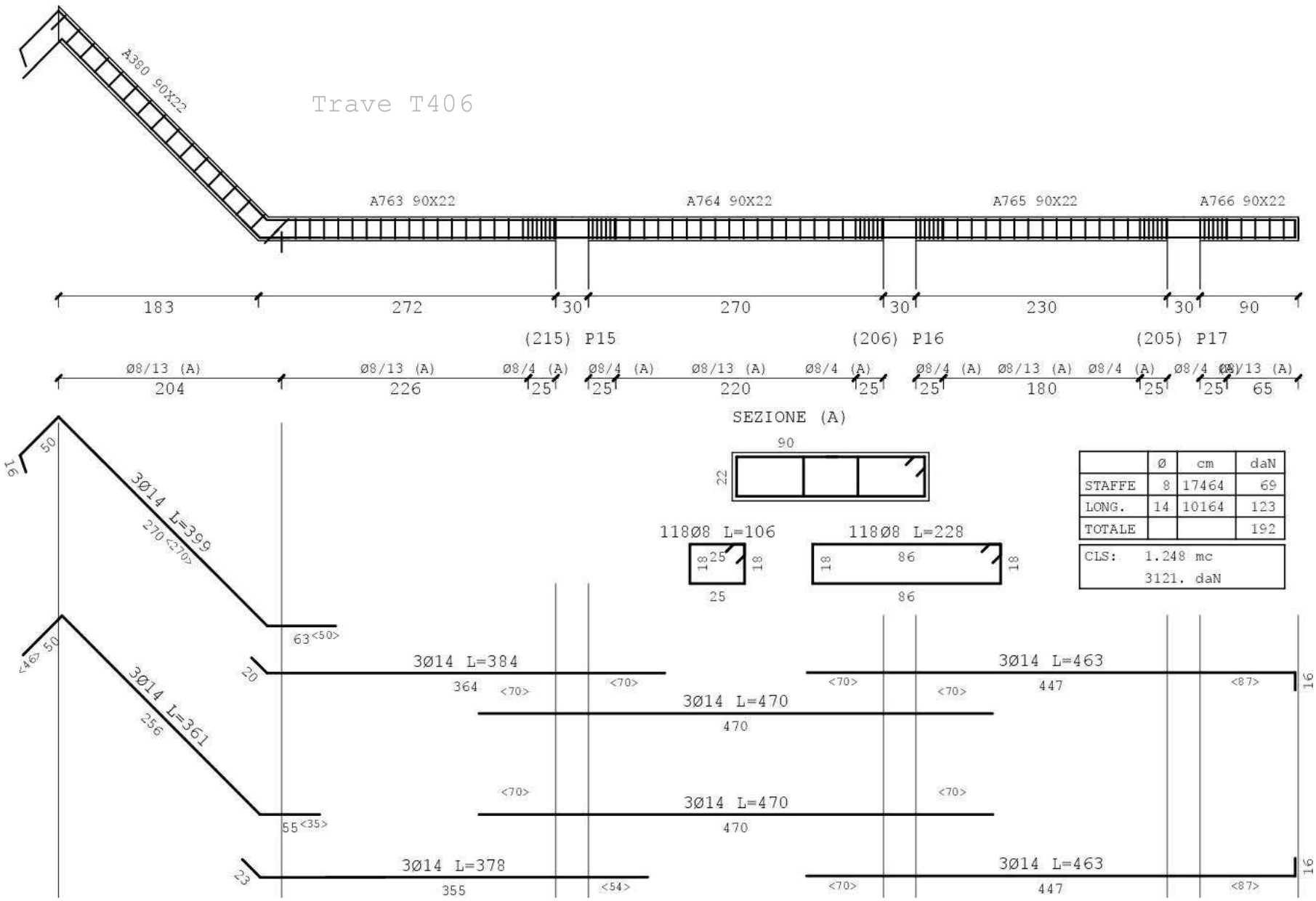
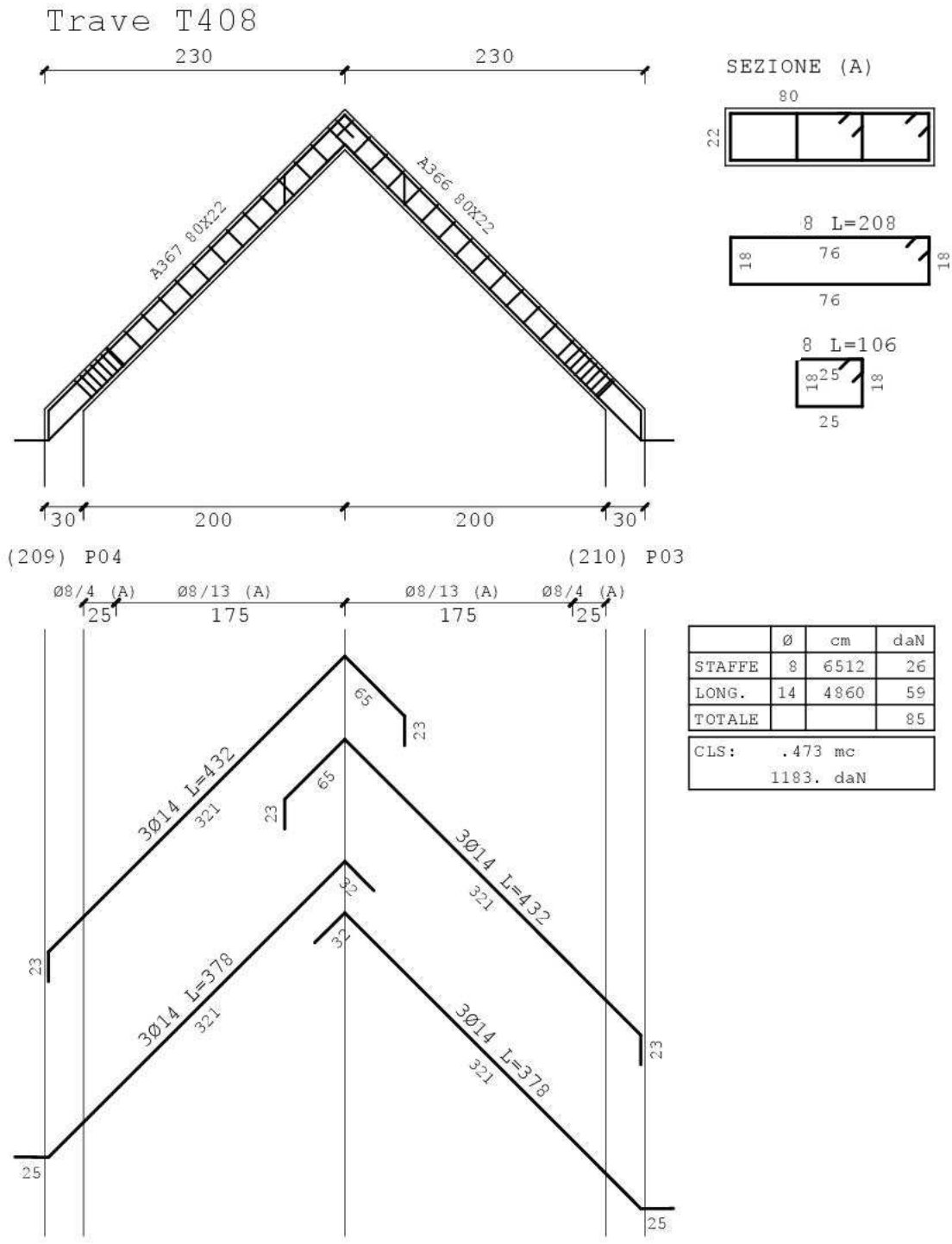


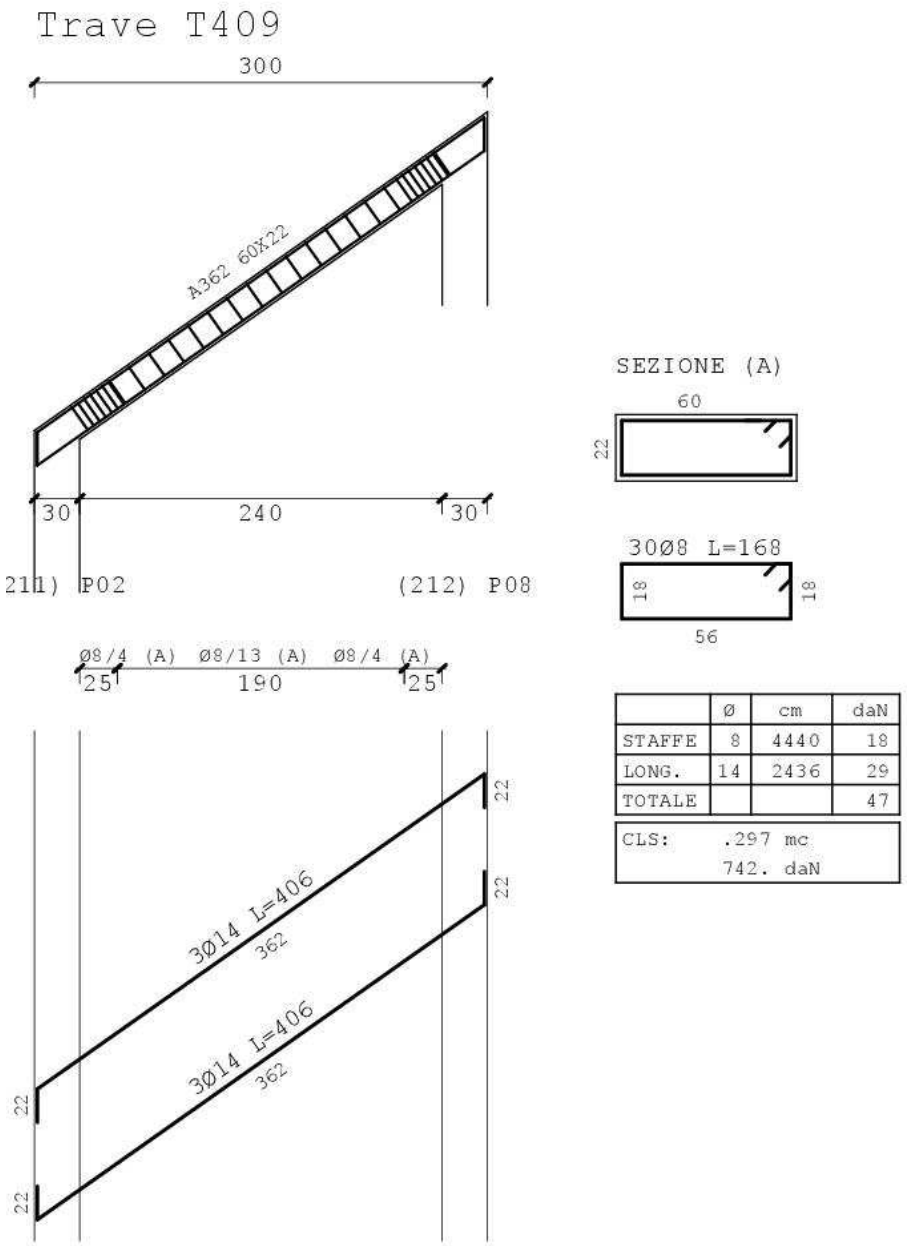
FIG. C.57 Progetto NTC08 – Trave T406 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	6512	26
LONG.	14	4860	59
TOTALE			85

CLS: .473 mc
1183. daN

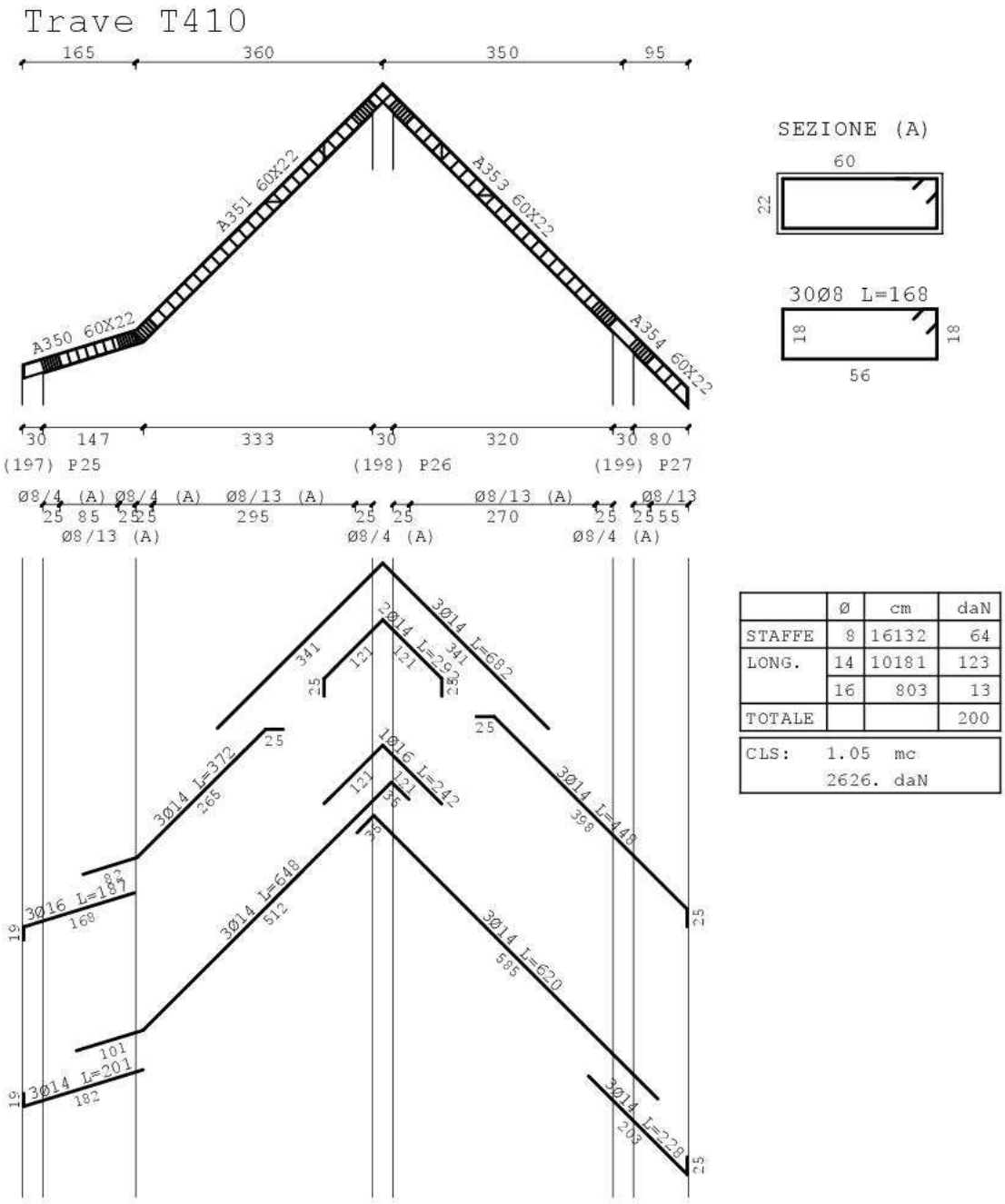
FIG. C.58 Progetto NTC08 – Trave T408 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	4440	18
LONG.	14	2436	29
TOTALE			47

CLS: .297 mc
742. daN

FIG. C.59 Progetto NTC08 – Trave T409 (Scala 1:50)



	Ø	cm	daN
STAFFE	8	16132	64
LONG.	14	10181	123
	16	803	13
TOTALE			200

CLS: 1.05 mc
2626. daN

FIG. C.60 Progetto NTC08 – Trave T410 (Scala 1:100)

C.3 I pilastri

Per l'individuazione del passo e dell'estensione delle zone critiche in prossimità dei nodi trave-pilastro di ciascun elemento portante verticale, in Tabella C.1 si faccia riferimento ai valori definiti alla voce *staffe*, in corrispondenza delle lettere I (parte inferiore del pilastro, ossia zona critica in prossimità del nodo trave-pilastro inferiore rispetto all'*ordine* considerato), C (parte centrale) e S (parte superiore, ovvero zona critica superiore). Il valore tra parentesi quadre [] rappresenta la lunghezza della zona critica.

Le sezioni tipo (FIG. C.61) sono identificate mediante una lettera distintiva che permette di richiamarle all'interno della Tabella C.1 per ogni *ordine* di ciascun pilastro.

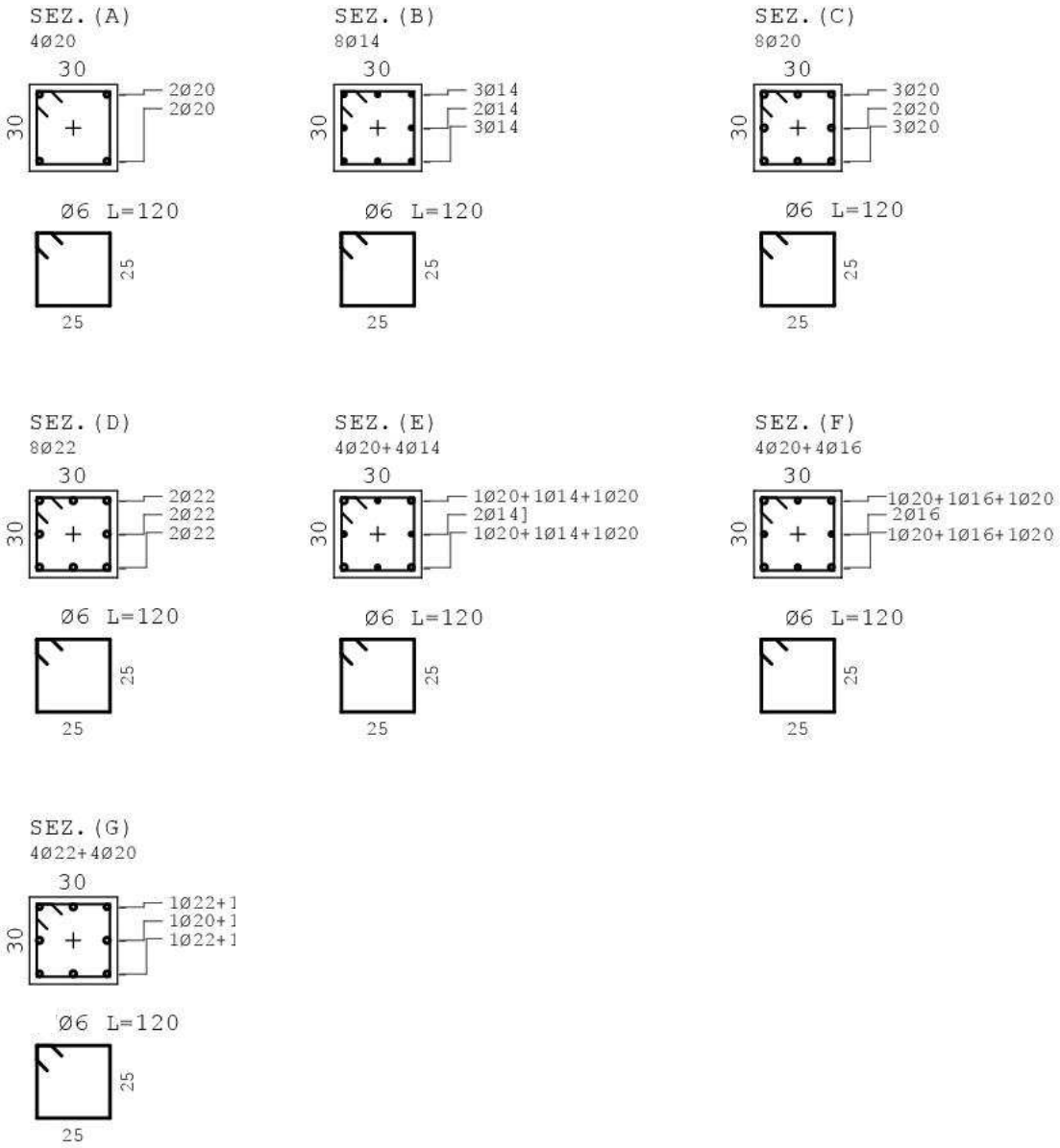
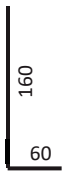
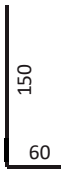
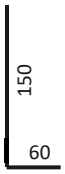
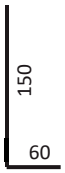
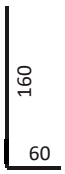
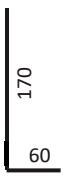
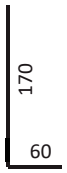
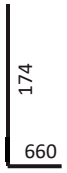
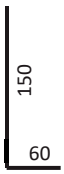
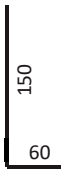
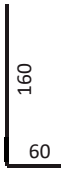


FIG. C.61 Progetto NTC08 – Sezioni tipo dei pilastri (Scala 1:25)

PROGETTO NTC2008					
PIL.	**AGGANCI IN FONDAZ.**	**1° ORDINE**	**2° ORDINE**	**3° ORDINE**	**4° ORDINE**
P01	 4ϕ20 L=220	30X30 4ϕ20 [A] L=400 STAFFE I ϕ6/9 [46] C ϕ6/2 0 S ϕ6/9 [46]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/9 [45] C ϕ6/2 0 S ϕ6/9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=320 STAFFE I ϕ6/9 [45] C ϕ6/1 8 S ϕ6/9 [45]	-
P02	 4ϕ20 L=210	30X30 - Nel muro 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/9 [46] C ϕ6/2 4 S ϕ6/9 [46]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/9 [45] C ϕ6/1 8 S ϕ6/9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/9 [45] C ϕ6/2 0 S ϕ6/9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=350 STAFFE I ϕ6/9 [46] C ϕ6/2 0 S ϕ6/9 [46]
P03	 4ϕ20 L=210	30X30 -Nel muro 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/7 [46] C ϕ6/2 4 S ϕ6/7 [46]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ14 [E] L=420 STAFFE I ϕ6/7 [45] C ϕ6/1 5 S ϕ6/7 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/7 [45] C ϕ6/1 0 S ϕ6/7 [45]	30X30 Ferri a proseguire dal 3° ORD. L=130 ST. ϕ6/9
P04	 4ϕ20 L=210	30X30 -Nel muro 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/9 [46] C ϕ6/2 4 S ϕ6/9 [46]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ16 [F] L=420 STAFFE I ϕ6/9 [45] C ϕ6/1 5 S ϕ6/9 [45]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ16 [F] L=420 STAFFE I ϕ6/9 [45] C ϕ6/1 5 S ϕ6/9 [45]	30X30 Ferri a proseguire dal 3° ORD. L=130 ST. ϕ6/9
P05	 4ϕ20 L=220	30X30 4ϕ20 [A] L=400 STAFFE I ϕ6/9 [46] C ϕ6/2 0 S ϕ6/9 [46]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/9 [45] C ϕ6/2 0 S ϕ6/9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/9 [45] C ϕ6/2 2 S ϕ6/9 [45]	30X30 Ferri a proseguire dal 3° ORD. L=130 ST. ϕ6/9

PROGETTO NTC2008					
PIL.	**AGGANCI IN FONDAZ.**	**1° ORDINE**	**2° ORDINE**	**3° ORDINE**	**4° ORDINE**
P06	 4ϕ20+ 4 ϕ14 L=210	30X30 - Nel muro 4ϕ20 + 4ϕ14 [E] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [46] C ϕ6/1 6 S ϕ6/ 9 [46]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ14 [E] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 6 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ14 [E] L=320 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 3 S ϕ6/ 9 [45]	-
P07	 4ϕ20+ 4 ϕ14 L=210	30X30 4ϕ20 + 4ϕ16 [F] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [46] C ϕ6/1 6 S ϕ6/ 9 [46]	30X30 8ϕ20 [C] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 3 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=370 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 6 S ϕ6/ 9 [45]	-
P08	 4 ϕ20 +4 ϕ14 L=210	30X30 - Nel muro 4ϕ20 + 4ϕ14 [E] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [46] C ϕ6/1 6 S ϕ6/ 9 [46]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ14 [E] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 3 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ14 [E] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 3 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ14 [E] L=560 STAFFE I ϕ6/ 9 [74] C ϕ6/1 6 S ϕ6/ 9 [74]
P09	 4 ϕ20 +4 ϕ14 L=220	30X30 4ϕ20 + 4ϕ14 [E] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 3 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ14 [E] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 6 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ14 [E] L=370 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 6 S ϕ6/ 9 [45]	-
P10	 4 ϕ20 L=170	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 6 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 8ϕ20 [C] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 3 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 8ϕ20 [C] L=370 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 3 S ϕ6/ 9 [45]	-

PROGETTO NTC2008					
PIL.	**AGGANCI IN FONDAZ.**	**1° ORDINE**	**2° ORDINE**	**3° ORDINE**	**4° ORDINE**
P11	 4 ϕ20 L=210	30X30 - Nel muro 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I: ϕ6/9 [46] C: ϕ6/2 4 S: ϕ6/9 [46]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ16 [F] L=420 STAFFE I: ϕ6/9 [45] C: ϕ6/1 3 S: ϕ6/9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=370 STAFFE I: ϕ6/9 [45] C: ϕ6/2 4 S: ϕ6/9 [45]	-
P12	 4 ϕ20 L=210	30X30 - Nel muro 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I: ϕ6/9 [46] C: ϕ6/2 4 S: ϕ6/9 [46]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I: ϕ6/9 [45] C: ϕ6/1 9 S: ϕ6/9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=370 STAFFE I: ϕ6/9 [45] C: ϕ6/1 8 S: ϕ6/9 [45]	30X30 Ferri a proseguire dal 3° ORD. L=190 ST. ϕ6/8
P13	 4ϕ14 +4ϕ20 L=230	30X30 4ϕ20 + 4ϕ14 [E] L=400 STAFFE I: ϕ6/9 [45] C: ϕ6/1 3 S: ϕ6/9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I: ϕ6/9 [45] C: ϕ6/1 9 S: ϕ6/9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I: ϕ6/9 [45] C: ϕ6/2 2 S: ϕ6/9 [45]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ16 L=181 ST. ϕ6/9
P14	 8 ϕ22 L=240	30X30 8ϕ22 [D] L=430 STAFFE I: ϕ6/9 [45] C: ϕ6/1 0 S: ϕ6/9 [45]	30X30 8ϕ22 [D] L=430 STAFFE I: ϕ6/9 [45] C: ϕ6/1 1 S: ϕ6/9 [45]	30X30 8ϕ22 [D] L=430 STAFFE I: ϕ6/9 [45] C: ϕ6/1 2 S: ϕ6/9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=540 STAFFE I: ϕ6/9 [70] C: ϕ6/2 4 S: ϕ6/9 [70]
P15	 8ϕ22 L=240	30X30 8ϕ22 [D] L=410 STAFFE I: ϕ6/9 [45] C: ϕ6/1 0 S: ϕ6/9 [45]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ22 [G] L=430 STAFFE I: ϕ6/9 [45] C: ϕ6/1 3 S: ϕ6/9 [45]	30X30 8ϕ20 [C] L=420 STAFFE I: ϕ6/9 [45] C: ϕ6/1 3 S: ϕ6/9 [45]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ14 [E] L=340 STAFFE I: ϕ6/9 [45] C: ϕ6/1 3 S: ϕ6/9 [45]

PROGETTO NTC2008					
PIL.	**AGGANCI IN FONDAZ.**	**1° ORDINE**	**2° ORDINE**	**3° ORDINE**	**4° ORDINE**
P16	 4 ϕ20 L=220	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/1 ϕ6/ 9 7 9 [45] [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/1 ϕ6/ 9 9 9 [45] [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/2 ϕ6/ 9 1 9 [45] [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=340 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/2 ϕ6/ 9 0 9 [45] [45]
P17	 4ϕ20 L=210	30X30 - Nel muro 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/2 ϕ6/ 9 0 9 [45] [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/2 ϕ6/ 9 0 9 [45] [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/2 ϕ6/ 9 3 9 [45] [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=340 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/2 ϕ6/ 9 1 9 [45] [45]
P18	 4 ϕ20 L=210	30X30 - Nel muro 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/2 ϕ6/ 9 4 9 [46] [46]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ16 [F] L=420 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/1 ϕ6/ 9 5 9 [45] [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=430 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/2 ϕ6/ 9 4 9 [55] [55]	-
P19	 4ϕ20 L=220	30X30 4ϕ20 [A] L=400 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/1 ϕ6/ 9 7 9 [45] [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/1 ϕ6/ 9 9 9 [45] [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/2 ϕ6/ 9 2 9 [45] [45]	30X30 Ferri a proseguire dal 3° ORD. L=180
P20	 4ϕ20 +4ϕ16 L=220	30X30 4ϕ20 + 4ϕ16 [F] L=400 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/1 ϕ6/ 9 3 9 [45] [45]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ16 [F] L=420 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/1 ϕ6/ 9 3 9 [45] [45]	30X30 8ϕ22 [D] L=420 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/1 ϕ6/ 9 3 9 [45] [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=540 STAFFE I C S ϕ6/ ϕ6/2 ϕ6/ 9 4 9 [70] [70]

PROGETTO NTC2008					
PIL.	**AGGANCI IN FONDAZ.**	**1° ORDINE**	**2° ORDINE**	**3° ORDINE**	**4° ORDINE**
P21	 8 ϕ14 L=170	30X30 8ϕ14 [B] L=380 STAFFE I ϕ6/ 9 [46] C ϕ6/1 6 S ϕ6/ 9 [46]	30X30 8ϕ14 [B] L=380 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 6 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ14 + 4ϕ20 [E] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 6 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 8ϕ14 [B] L=240 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 3 S ϕ6/ 9 [45]
P22 - P23	 4 ϕ20 + 4 ϕ14 L=220	30X30 4ϕ20 + 4ϕ14 [E] L=400 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 3 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ14 [E] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 6 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/2 0 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=270 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 3 S ϕ6/ 9 [45]
P24	 4 ϕ20 L=210	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [46] C ϕ6/2 4 S ϕ6/ 9 [46]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/2 1 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/2 3 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=270 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 4 S ϕ6/ 9 [45]
P25	 4 ϕ20 L=210	30X30 - Nel muro 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/2 4 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ16 [F] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 5 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=430 STAFFE I ϕ6/ 9 [55] C ϕ6/2 4 S ϕ6/ 9 [55]	-
P26	 4 ϕ20 L=210	30X30 - Nel muro 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [46] C ϕ6/2 4 S ϕ6/ 9 [46]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 9 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/2 0 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=540 STAFFE I ϕ6/ 9 [70] C ϕ6/2 4 S ϕ6/ 9 [70]

PROGETTO NTC2008					
PIL.	**AGGANCI IN FONDAZ.**	**1° ORDINE**	**2° ORDINE**	**3° ORDINE**	**4° ORDINE**
P27	 4 ϕ20 L=210	30X30 - Nel muro 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [46] C ϕ6/2 4 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ20 + 4ϕ16 [F] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/1 5 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 4ϕ20 [A] L=420 STAFFE I ϕ6/ 9 [45] C ϕ6/2 2 S ϕ6/ 9 [45]	30X30 Ferri a proseguire dal 3° ORD. L=190 ST. ϕ6/9

TAB. C.1 Progetto NTC 2008 – Tabella Pilastri

C.4 I plinti di fondazione

Si ricorda che i plinti di dimensione 100x100 dei pilastri P01 e P05, e per quelli quadrati di lato 130 cm delle colonne P09, P16, P19, P20 e P23, i quantitativi di armatura non variano rispetto al progetto originale. Pertanto, in questa sezione sono presentate unicamente gli schemi dei ferri del plinto quadrato di lato 150 cm (pilastri P09, P10, P13, P14 e P15) e del plinto doppio (pilastri P21 e P22), per i quali si registrano variazioni rispetto al progetto originale.

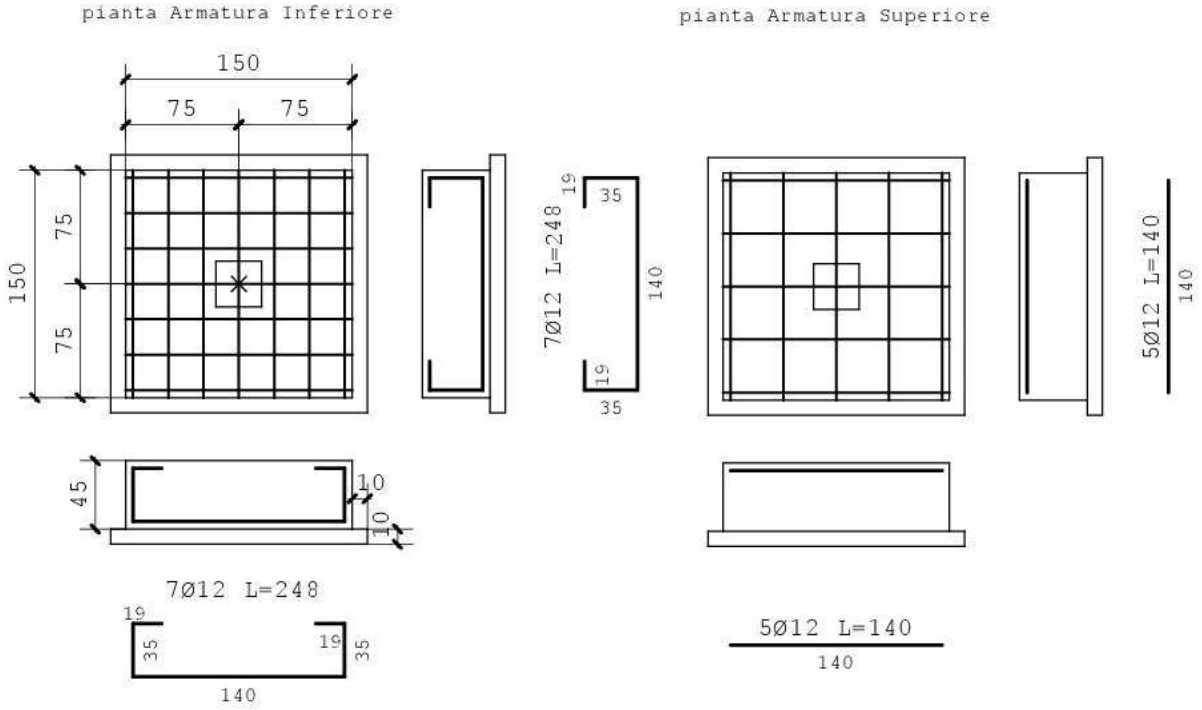


FIG. C.62 Progetto NTC 2008 – Plinto 150x150: pilastri P09, P10, P13, P14 e P15 (Scala 1:50)

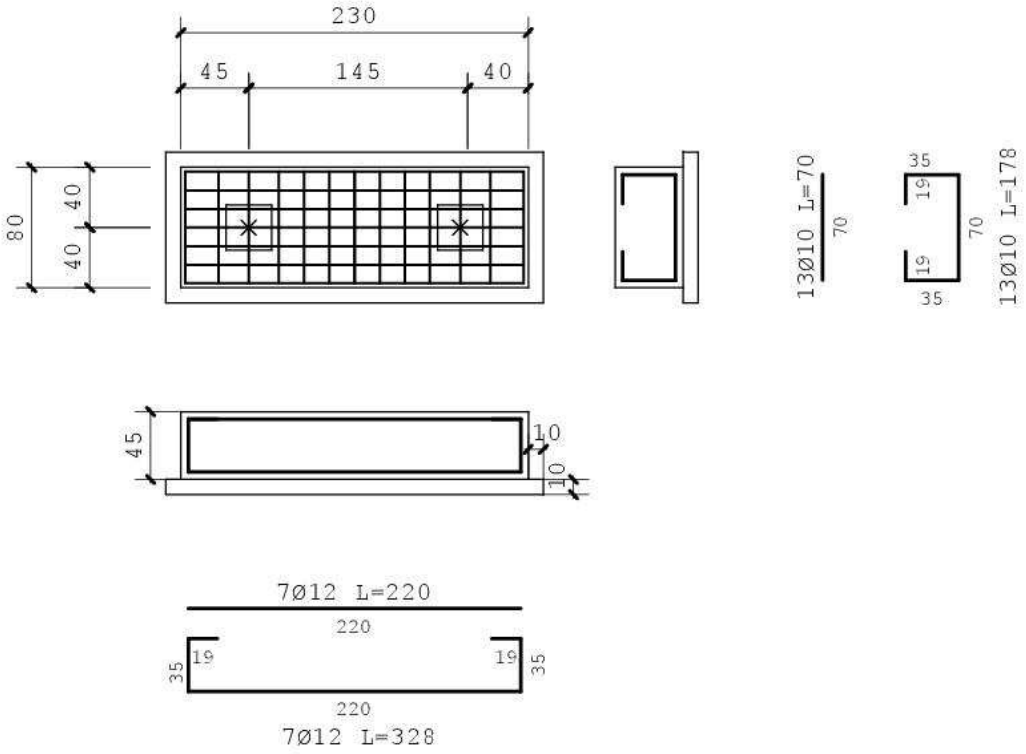


FIG. C.63 Progetto NTC 2008 – Plinto 230x80: pilastri P21, P22 (Scala 1:50)

C.5 Il muro perimetrale

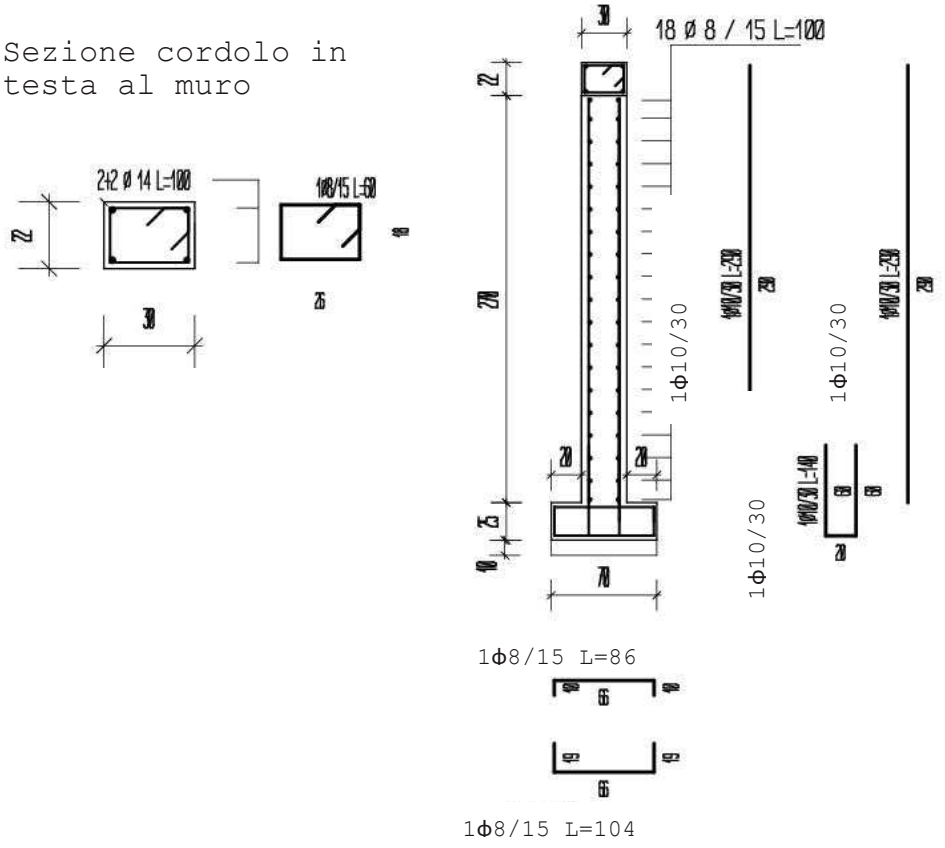


FIG. C.64 Progetto NTC 2008 – Muro perimetrale (Scala 1:50)

C.6 Il setto della Scala A

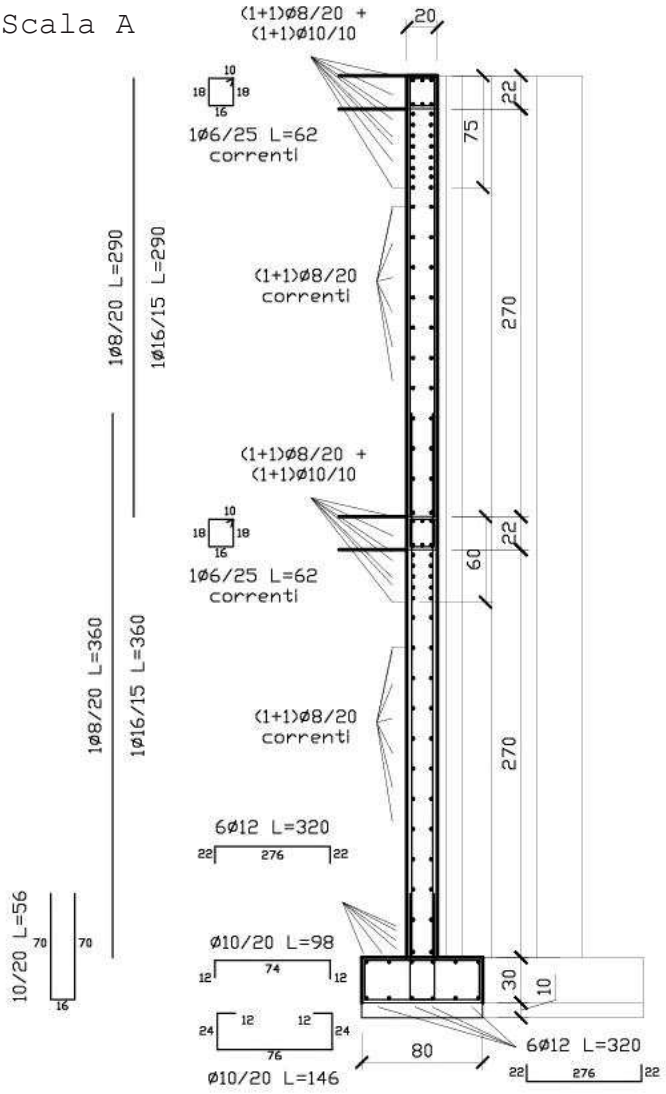


FIG. C.65 Progetto NTC 2008 – Setto Scala A (Scala 1:50)

Bibliografia e sitografia

[1] http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx

[2] LEGGE N. 373 DEL 30 APRILE 1976, *Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici.*

[3] DM 14 GENNAIO 2008, *Norme Tecniche per le Costruzioni*

[4] http://webtool.building-typology.eu/#bm

[5] MANUALE PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA DI 1° LIVELLO PER LA CARATTERIZZAZIONE TIPOLOGICO-STRUTTURALE DEI COMPARTI URBANI COSTITUITI DA EDIFICI ORDINARI (CARTIS 2014); ReLUIS, Dipartimento della Protezione Civile.

[6] PIANO REGOLATORE GENERALE COMUNALE - VARIANTE STRUTTURALE 1/2013, *Relazione Tecnica Urbanistica*; Comune di Sant'Antonino di Susa.

[7] http://www.cittametropolitana.torino.it/cartoview/

[8] QUADERNO N. 3, 18 OTTOBRE 1998, *Affrancamento della Comunità di Sant'Antonino verso il Sig. Conte Pullini Feudatario delle medesima in data 18 8bre 1798*; Università della Terza Età, Sezione di Sant'Antonino.

[9] CARTA IGM DELL'IMPIANTO STORICO DELLA PROVINCIA DI TORINO 1880-1882, http://www.cittametropolitana.torino.it/cartoview/

[10] CARTA DEGLI STATI SABAUDI 1852, http://www.cittametropolitana.torino.it/cartoview/

[11] PIANO REGOLATORE GENERALE COMUNALE - VARIANTE STRUTTURALE 1/2013, *Tavola di Piano P4/b Sviluppo del Progetto di Variante –Aree di Piano,* Comune di Sant'Antonino di Susa.

[12] DM DEL 4 FEBBRAIO 1982, *Aggiornamento delle zone sismiche della Regione Piemonte*; GU 64 del 6/03/1982.

[13] DGR N. 11-13058 DEL 19 GENNAIO 2010, *Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (OPCM n. 3274/2003 e OPCM 3519/2006);* Bollettino Ufficiale 18/02/2010; Regione Piemonte.

[14] DOLMEN *versione 17 - codice chiave hardware: x7NeR8xJXnWO;* CDM DOLMEN.

[15] DM 58 DEL 28 FEBBRAIO 2017, *Sisma bonus – Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni nonché le modalità per l'attestazione, da parte di professionisti abilitati, dell'efficacia degli interventi effettuati.*

[16] VALUTAZIONE SEMPLIFICATA DELLA VULNERABILITÀ SISMICA: GLI EDIFICI IN CA DEL COMUNE DI IVREA; Alessandro P. Fantilli, Bernardino Chiaia, Sean Ollearo, Giseuppe Stivala; Ingenio; 2017.

[17] LEGGE N. 10 DEL 9 GENNAIO 1991, *Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.*

[18] FASCICOLO SULLA TIPOLOGIA EDILIZIA ITALIANA – NUOVA EDIZIONE; Corrado Vincenzo, Ballarini Ilaria, Stefano Paolo Corgnati – Progetto TABULA; Luglio 2014.

[19] UNI/TS 11300 PRESTAZIONI ENERGETICHE DEGLI EDIFICI; Parte 1 – *Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*; Parte 2 – *Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali*.

[20] https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_it

[21] RELAZIONE ANNUALE SULL'EFFICIENZA ENERGETICA. *Risultati conseguiti e obiettivi al 2020*; Ministero dello Sviluppo Economico; Aprile 2018.

[22] PROGETTAZIONE E ANALISI INTEGRATA DI INTERVENTI DI RAFFORZAMENTO SISMICO E TERMICO DI EDIFICI ESISTENTI IN CA: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO; Angelo Masi, Vincenzo Manfredi, Antonio D'Angola, Alessandro Laguardia; ANIDIS 2017.

[23] LIFE CYCLE THINKING E PERFORMANCE BASED DESIGN PER LA RIQUALIFICAZIONE INTEGRATA DEL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE; Chiara Passoni, Simone Labò, Alessandra Marini, Andrea Belleri, Paolo Riva; ANIDIS 2017.

[24] AN INTEGRATE APPROCH TO ASSESS THE INFLUENCE OF SEISMIC RISK INTO ENERGY RETROFIT OPTIMIZATION PROCEDURES; U. Vitiello, C. Menna, G. M. Mauro, D. Asprone, F. Ascione, N. Bianco, A. Prota, G. P, Vanoli; ANIDIS 2017

[25] EFFETTI DEL RISCHIO SISMICO SULLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DEGLI INTERVENTI DI RECUPERO ENERGETICO; Andrea Belleri, Alessandra Marini, Marco Santicoli, Nicola Bettini.

[26] DICHIARAZIONE AMBIENTALE DI PRODOTTO PER TONDO IN ACCIAIO IN BARRE E ROTOLI PER CALCESTRUZZO ARMATO; EDP di Acciaierie di Sicilia, 2011.

[27] DICHIARAZIONE AMBIENTALE DI PRODOTTO PER TONDO IN ACCIAIO IN BARRE E ROTOLI PER CALCESTRUZZO ARMATO; EDP di Acciaierie di Sicilia, 2011.

[28] A SYSTEM APPROACH TO THE ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF INDUSTRIAL BUILDINGS; San-José, JT, Garrucho; Building and Environment 45(3), 673-683; 2010.

[29] MATERIALS AND THE ENVIROMENT, *Eco-informed Material choice*; Michael F. Ashby; BH; 2009.

[30] PROFILO AMBIENTALE DI TEGOLE IN LATERIZIO, *Rapporto finale di Ricerca Gruppo LCA*; Dipartimento TAeD, Università degli Studi di Firenze; Febbraio 2011.

[31] https://www.reteclima.it/calcolo-delle-emissioni-di-co2-carbon-footprint-impronta-di-carbonio/

[32] https://www.eea.europa.eu/it/pressroom/infografica/emissioni-di-anidride-carbonica-prodotte/view