



**POLITECNICO DI MILANO**  
Facoltà di Architettura e Società  
Corso di Laurea Specialistica TS6

# UN VELARIUM AL POLITECNICO

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Relatrice: Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore: Ing. Paolo Beccarelli

Studente: Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Anno Accademico 2009/2010





# **POLITECNICO DI MILANO**

FACOLTA' DI ARCHITETTURA E SOCIETA'

Corso di laurea specialistica TS6

A.A. 2009/2010

## **UN VELARIUM AL POLITECNICO**

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Relatrice: Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore: Ing. Paolo Beccarelli

Studente: Pierfederico Ferrario di Tor Vajana

Matricola: 709095



# Indice

Introduzione	6
--------------	---

Capitolo 1: Area di progetto	10
Fruizione dello spazio	21
Problematiche e potenzialità	23
Tavole Capitolo 1	28

Capitolo 2: Riferimenti progettuali	32
L'esempio dei toldos	33
Coperture retrattili moderne	36

Capitolo 3: Ipotesi progettuali	40
Ipotesi Ia	41
Ipotesi Ib	42
Ipotesi II	43
Ipotesi III	44
Nuovo corso della progettazione	45
Ipotesi IV	47
Ipotesi V	48

Capitolo 4: Progetto finale	50
Scelte progettuali	59
Tavole Capitolo 4	66

Capitolo 5: Calcolo della struttura	70
Calcolo bacchetta tenda	71
Peso effettivo delle tende	73
Carico gravante su cavo binario	74
Calcolo cavetto traente singolo span	75
Calcolo struttura dei cavi di acciaio	76
Calcolo pilastri del fronte est	79
Selezione lamiera grecata della nuova copertura della passerella	83
Trave laterale (541 cm)	84
Travi centrali	85
Trave cavalletto (campata interna)	90

Azione assiale su colonna passerella	91
Ancoraggio cavi trasversali e tiranti Jawerth su pilastri edifici est e ovest	95
Tavole Capitolo 5	96

Capitolo 6: Subsistemi struttura	100
Tende	101
Struttura dei cavi di acciaio	105
Pilastri del fronte est	109
Reticolo travi di acciaio	110
Nuova copertura della passerella	112
Tavole Capitolo 6	116

Conclusione	120
-------------	-----

Bibliografia	122
--------------	-----



## INTRODUZIONE

Al termine del mio percorso formativo presso la Facoltà di Architettura e Società del Politecnico di Milano ho avuto modo di riflettere sul valore che hanno avuto gli anni trascorsi all'Università e quale eredità essi mi abbiano lasciato in dote. Tralasciando quelle che sono state le vicende personali

ed il giudizio complessivo della mia carriera universitaria, quello che mi preme affermare in principio di quest'opera è che, con il trascorrere degli anni, si è sempre più rafforzata la convinzione che l'aspetto che nutre in me più interesse nei confronti dell'architettura è quello relativo alla sua componente più tangibile e concreta, ovvero la struttura o, meglio ancora, la tettonica. In essa individuo quello che è l'autentica essenza di un progetto architettonico, libera da qualsiasi orpello o simulacro superfluo. Inoltre, come suggerisce anche l'accezione geologica della parola, questo concetto rappresenta il basamento e fondazione di ogni opera architettonica. Assecondando questa opinione, concluso il Corso di Laurea triennale, ho scelto di intraprendere la specializzazione con indirizzo tecnologico strutturale, in modo tale da alimentare questa mia convinzione. Conclusa la specialistica, ho voluto mettere alla prova le capacità acquisite negli ultimi anni, affrontando il progetto di una struttura di dimensioni contenute, ma dotata di un certo grado di complessità. Questa si distingue per una indiscutibile utilità nei confronti dell'area entro la quale sorge e per uno studio approfondito dei suoi elementi costitutivi, che ha come presupposto il pensiero che un progetto di architettura che non sia stato verificato nei suoi aspetti tecnologici e strutturali non abbia una completa legittimità e manca della sua componente più essenziale e, aggiungerei, interessante.

Fatta questa premessa, si rende ora necessaria la distinzione tra gli obiettivi della presente tesi, relativi al modo di operare seguito lungo tutto lo svolgimento del lavoro, al fine di ottenere un determinato risultato conclusivo, e gli obiettivi del progetto argomento della tesi. Quest'ultimo consiste nella ideazione di un sistema di tende retrattili per l'ombreggiamento della piazza soprastante la sala lettura Gardella del Campus Leonardo del Politecnico di Milano. L'intervento ha come dato di partenza quello di fornire una valida risposta alle richieste degli studenti, che da tempo hanno espresso il desiderio di dotare la piazza di elementi con la capacità di riparare la sua superficie dai raggi solari durante i mesi estivi. Il progetto non vuole risolversi in un mero soddisfacimento di un fabbisogno relativo al comfort climatico dei frequentatori della piazza, ma ha, inoltre, il fine di aumentare il grado di fruizione di questa area del Campus universitario, facendone risaltare gli aspetti positivi già presenti e risolvendo le principali problematiche, contribuendo così ad una valorizzazione di tutto lo spazio circostante. Avendo il progetto una forte componente tecnica, è stato perseguito anche l'obiettivo di approfondire tematiche tecnologiche relative al funzionamento ed alla fattibilità dei vari subsistemi che formano la struttura finale.

Individuati gli obiettivi del progetto, oggetto di questo lavoro, indichiamo ora quali siano i propositi della tesi. Considerando che questa opera rappresenta il risultato finale della mia carriera universitaria, il suo svolgimento è stato contraddistinto da un procedimento che ha avuto come

presupposto quello di raggiungere un esito finale con il più alto grado di completezza e coerenza possibile. L'obiettivo è stato quello di portare alla luce un lavoro curato sotto i molteplici aspetti che concorrono alla realizzazione e comunicazione del progetto architettonico. Mi riferisco a varie attività appartenenti a diversi campi e fasi della progettazione come l'analisi dell'area di progetto, la consultazione di normative, il calcolo e verifica degli elementi strutturali, il confronto con diversi professionisti al fine di risolvere problematiche di ambiti diversi, la consultazione delle aziende fornitrici dei prodotti nonché la selezione dai cataloghi delle aziende degli elementi con i requisiti idonei. A queste operazioni si aggiunge la redazione degli elaborati grafici, dei quali questo volume fa parte, grazie ai quali è possibile esporre in modo chiaro tutto il lavoro svolto. Gli elaborati sono stati impostati tramite diversi software che fanno parte di quel bagaglio di conoscenze informatiche ormai imprescindibili dalla nostra professione e si distinguono in disegni tecnici, schemi ed immagini atti alla comprensione dei vari aspetti che costituiscono il progetto.

Il volume di presentazione della tesi si articola in sei capitoli. L'ordine con la quale questi si susseguono rispecchia le fasi di avanzamento della progettazione. Di conseguenza, il Capitolo 1 è concentrato sull'area di progetto e sulle peculiarità che la caratterizzano. Dopo una descrizione oggettiva dell'area, vengono esposti i risultati degli studi effettuati su di essa, evidenziando quali siano gli aspetti efficienti e non e quali siano le necessità che devono essere soddisfatte con priorità. Alla fine del capitolo, sono inserite le tavole dello stato di fatto dell'area di progetto. Il Capitolo 2 è dedicato ai riferimenti progettuali e mostra progetti e realizzazioni particolarmente significative che hanno influenzato la fase di ideazione del progetto e che si sono rivelati utili durante lo studio dei dettagli della struttura, suggerendo la soluzione di alcuni aspetti tecnologici. Segue il Capitolo 3, relativo alle prime ipotesi progettuali, nel quale vengono esposte le cinque opzioni che si sono succedute prima del progetto finale e che ne costituiscono le configurazioni primordiali. Infatti, nonostante alcune di queste possano apparire ben lontane dalla fisionomia del progetto finale, alcune delle loro caratteristiche si sono trasmesse ipotesi per ipotesi, raffinandosi sempre di più, risolvendosi in conclusione nella configurazione finale. Nel Capitolo 4 viene presentato il progetto finale tramite la descrizione delle sue caratteristiche compositive e funzionali. Particolare attenzione è rivolta alla modalità con la quale l'intervento si inserisce all'interno dell'area di progetto, esaminando e giustificando le scelte progettuali. A conclusione del capitolo, sono inserite le tavole del progetto finale. Il Capitolo 5 costituisce un primo approfondimento del progetto di natura tecnica. Al suo interno sono riportati tutti i calcoli realizzati per dimensionare gli elementi della struttura e relativi diagrammi. Concludono il capitolo le tavole degli schemi strutturali e gli output dei software di calcolo utilizzati. In fine, il Capitolo 6 espone in maniera dettagliata ogni elemento del quale si compone la struttura, allo scopo di consentire una comprensione esaustiva del proprio funzionamento e del ruolo che ricopre all'interno dell'intero sistema. Oltre ai dettagli costruttivi, compresi nelle tavole poste alla fine del capitolo, quotati e disegnati ad una scala appropriata, sono presentati i dati tecnici dei vari



elementi forniti dalle aziende produttrici. Conclude l'opera la bibliografia nella quale non vengono solamente riportati i testi e le norme consultate durante l'intero arco della progettazione, ma anche i siti internet delle aziende che producono gli elementi utilizzati nella realizzazione della struttura.

A fronte di questa sintetica presentazione dei contenuti della tesi, desidero ringraziare tutti coloro che hanno reso un contributo, diretto e indiretto, alla realizzazione di questo lavoro. Ringrazio in modo particolare la Prof.ssa Zanelli e l'Ing. Beccarelli, che mi hanno assistito durante il percorso della progettazione, fornendomi informazioni e scambi di idee preziosi. Sono grato anche al Prof. Novati, per l'aiuto offerto nella concezione della parte strutturale del progetto. Infine, solo il paziente sostegno dei miei genitori mi ha permesso di portare a termine il presente lavoro.

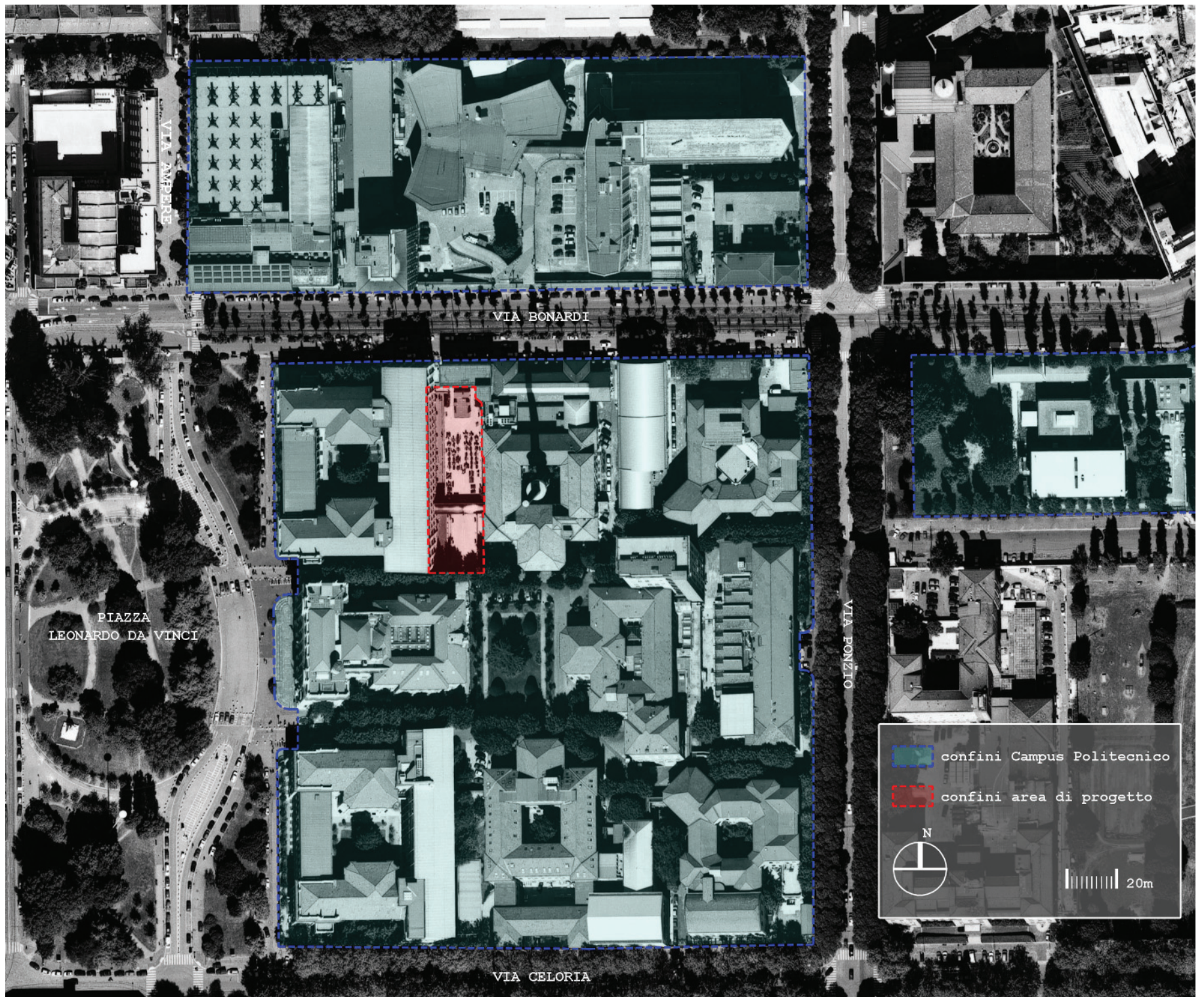


Come abbiamo già accennato nell'introduzione, l'area di progetto va ad interessare una specifica zona all'interno del Campus Leonardo del Politecnico di Milano, ovvero la piazza soprastante l'edificio della sala lettura dedicata all'architetto Ignazio

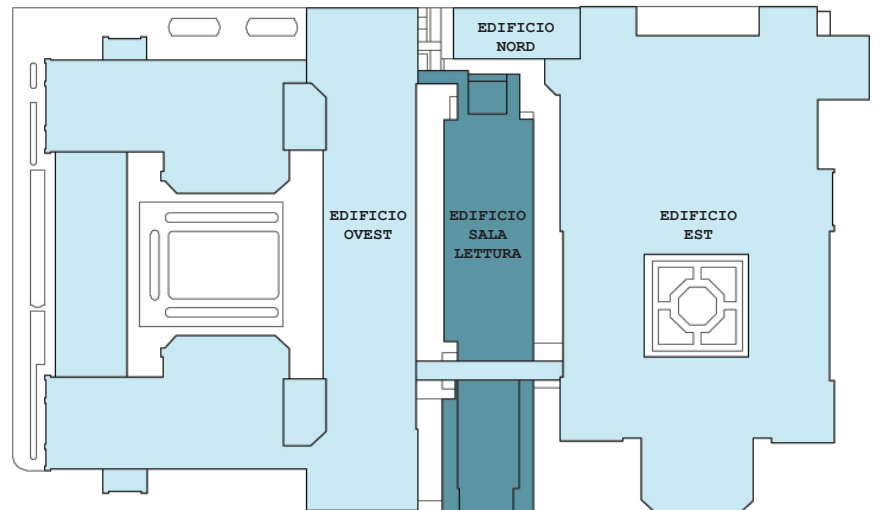
Gardella, che più comunemente è conosciuta come l' "acquario". Questo edificio, ubicato nell'area settentrionale del Campus di piazza Leonardo, fa parte di un intervento recente, avvenuto alla fine degli anni '90, realizzato da Jacopo Gardella, figlio di Ignazio. Esso si innalza in uno stretto lotto rettangolare, posto ad un livello inferiore di circa tre metri rispetto alla quota di via Bonardi e del Campus Leonardo. Questo spazio era in precedenza occupato da un terrapieno sotto il quale erano collocati i serbatoi di nafta che alimentavano, tramite condotti sotterranei, la limitrofa ciminiera. Il lotto si sviluppa prevalentemente da nord a sud, delimitato ad ovest dall'alto edificio delle aule di disegno intitolato a Bruno Finzi, rettore del Politecnico durante la fine degli anni '60, ed a est dall'edificio delle aule di ingegneria idraulica, intitolato al noto ingegnere Giulio De Marchi. Quest'ultimo padiglione comprende un'appendice che conclude il lotto sul lato nord. Questa è affiancata, alla quota del lotto, dalla parte conclusiva del sottopassaggio che collega il Campus Bonardi al Campus Leonardo. Il lato sud, invece, si affaccia sul viale interno e verso il giardino che sorge nel centro del Campus Leonardo, alle spalle dell'edificio del rettorato. Nella prosecuzione di questo lavoro i sopraccitati edifici verranno rispettivamente denominati, per comodità, prendendo in considerazione la loro posizione rispetto all'area di progetto: avremo quindi l'edificio ovest (Bruno Finzi), l'edificio est e l'edificio nord (Giulio De Marchi).

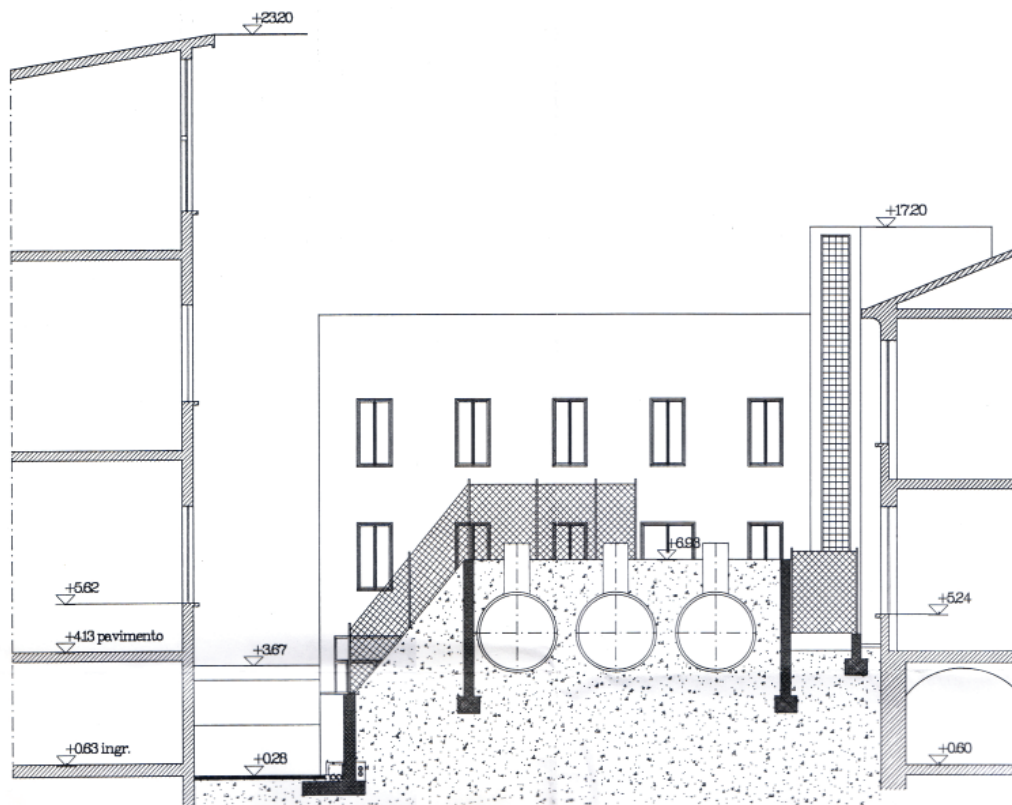
Le caratteristiche morfologiche del lotto entro il quale sorge l'edificio della sala lettura si rispecchiano nella sua pianta. Questa infatti, si adegua alla forma stretta e allungata dell'area rettangolare estendendosi in lunghezza di circa 70m e misurando in larghezza solamente poco più di 12m. Le pareti dell'edificio sono, per la maggior parte della loro superficie, rivestite con blocchi di conglomerato cementizio non intonacato lasciati a vista. Sono invece realizzati in pietra grigia di Sarnico gli elementi decorativi esterni: zoccolo di base, cornici marcapiano, davanzali di finestre, i gradini delle scale esterne e le copertine dei parapetti. La copertura è costituita da una grande terrazza praticabile, divisa in due parti da una passerella con una copertura sorretta da colonne, che collega l'edificio est all'edificio ovest. Quest'area, sorgendo al di sopra della sala lettura, è stata denominata piazza Gardella.

La sala lettura non occupa l'intero volume dell'edificio: questo è diviso in due parti da un corridoio, posto al di sotto della passerella che attraversa la piazza al livello soprastante, che collega il piano seminterrato dell'edificio ovest al piano seminterrato dell'edificio est. La parte settentrionale del fabbricato ospita il cosiddetto acquario e un locale tecnico situato all'estremo nord dell'edificio, mentre quella meridionale comprende dei servizi collettivi (servizi igienicie infermeria) e delle scale che conducono al piano interrato che ospita alcuni vani tecnici.



In alto: Contestualizzazione dell'area di progetto all'interno del Campus Leonardo Da Vinci del Politecnico di Milano. — In basso a destra: Schematizzazione degli edifici prospicienti l'area di progetto. — In basso a sinistra: Fronte ovest della sala lettura.





In alto: Immagine tratta dalle tavole del progetto definitivo del 1997 rappresentate il prospetto sud dello stato di fatto. Fonte: Archivio del Politecnico di Milano

Il fronte ovest dell'edificio risulta essere il più rilevante. La sua base si mantiene per tutta la zona settentrionale ad uno piano di quota costante (+0.28 m) ed è prospiciente il percorso, lungo il quale si affaccia anche l'edificio ovest, che costituisce la continuazione del sottopassaggio di via Bonardi, che conduce verso l'edificio del rettorato. Su questa parte del fronte sono disposte ampie finestre, che illuminano e permettono di vedere l'interno della sala lettura (da qui il nome acquario), sotto le quali sono presenti delle panche in pietra congiunte alla parete della facciata stessa. Agli estremi della fascia delle finestre sono collocate le due entrate che permettono l'accesso alla sala lettura. L'area di fronte alla facciata della sala lettura è coperta da uno sbalzo della piazza soprastante, che si estende per 2.2 m, avente l'effetto positivo di proteggere questo spazio dal sole e dalla pioggia.

Procedendo oltre il sottopassaggio della passerella, si approda ad una rampa che porta alla quota dell'area dell'edificio del rettorato e del giardino adiacente (+2.5 m ca.). La parte meridionale del fronte dell'edificio della sala lettura si presenta più semplice e comprende una porta, attraverso la quale si accede ai locali interni, e delle piccole finestre quadrate. Questa porta è raggiungibile tramite una rampa, se si proviene da nord, dal sottopassaggio della passerella, o da delle scale, se si proviene invece da sud, dalla quota principale del Campus Leonardo. La rampa e le scale che servono questa porta sono separate dalla rampa principale da un muro a gradoni che segue il dislivello di quest'ultima.

I fronti dell'edificio della sala lettura rivolti a nord e ad est hanno un aspetto molto più marginale rispetto al precedente. Lungo questi due fronti, la distanza tra le mura dell'edificio dell'acquario e gli edifici nord ed est è molto contenuta e va da un minimo di 1.9 m ad un massimo di 3 m. Affiancata al fronte nord si sviluppa una scala che dalla quota dell'entrata della sala lettura (+0.28 m) porta al livello della piazza (+4.25 m). Sempre su questo fronte è presente una porta che dà accesso al vano tecnico, che conclude la pianta dell'edificio a nord. Il fronte est

settentrionale è posto ad una quota leggermente superiore rispetto al fronte ovest e si affaccia su di un corridoio avente una lunghezza di circa 42 m. Questo scorre tra i fronti dell'edificio est e quello dell'acquario e si conclude a sud con un muro oltre il quale è posta una grande fioriera dalla quale si sviluppa una delle piante rampicanti che caratterizzano la superficie della piazza. Questo fronte è caratterizzato dalla presenza delle stesse tipologie di finestre che compaiono sul fronte ovest, ma su questo lato dell'edificio non ci sono possibilità di accedere all'interno della sala lettura. Sul fronte dell'edificio est, sono collocate, lungo tutto il corridoio precedentemente descritto, numerose porte che costituiscono le entrate di alcuni locali tecnici. Nella zona meridionale, oltre la fioriera e la passerella, il fronte est dell'edificio della sala lettura è completamente cieco. Tra esso e la parete dell'edificio est è adagiato del ghiaietto. Il livello di questa superficie è superiore rispetto a quello della parte settentrionale del corridoio (+2.9 m).

Il fronte rivolto a sud è costituito, di fatto, da una grande scala che determina il principale punto d'accesso della piazza. Con i suoi undici gradini permette di superare il dislivello esistente tra la quota principale del Campus Leonardo (+2.30 m) e la quota della superficie della piazza (+4.10 m). La scala è affiancata ad est da una rampa che permette di superare questo dislivello in maniera più lieve facendo approdare, chi la percorre, sul fianco del colonnato sud della passerella. Tra la scala e la rampa si innalza la torre di presa d'aria dei servizi igienici. Questa presenta sulla facciata rivolta a mezzogiorno una meridiana solare.

È possibile raggiungere la superficie della piazza da altri quattro ingressi. Uno di questi è già stato menzionato ed è la scala che affianca l'edificio della sala lettura a nord, che provvede a far congiungere il livello del sottopassaggio di via Bonardi e dell'area della sala lettura (+0.28m) con la quota della piazza (+4.25m). Percorrendo questa scala si giunge presso il lato est dell'edificio bar, che conclude la piazza sul lato nord. Altri due ingressi sono localizzati agli estremi della pensilina che collega il piano terra dell'edificio ovest a quello dell'edificio est. Questi sono gli unici ingressi che permettono l'approdo sulla superficie della piazza senza dover superare dei dislivelli e permette di accedere nel centro di questa. L'ultimo accesso è il solo a collegare la piazza ad un'area esterna al Campus universitario. Ci riferiamo all'ingresso su via Bonardi, fiancheggiato dall'entrata della Banca collocata nell'edificio ovest, che tramite una serie di piattaforme e lievi rampe, permette l'arrivo sulla piazza fiancheggiando il lato ovest dell'edificio bar.

Dopo aver brevemente descritto l'intorno dove è collocata la piazza, che rappresenta l'area di progetto, andremo di seguito a delineare quali siano le principali peculiarità di questo spazio.

Come già sappiamo, tre dei lati della piazza, l'ovest, l'est ed il sud, sono fronteggiati da alcuni edifici. Il fronte sud è l'unico libero e si affaccia direttamente sul giardino presente al centro del Campus Leonardo. Sul lato ovest della piazza si erge l'edificio ovest che supera di 19m la quota del piano di calpestio della piazza. La sua facciata ha una composizione regolare e presenta i classici elementi che è possibile riscontrare in un tipico edificio istituzionale progettato a cavallo dei secoli XIX e XX, come il bugnato dei primi due piani, le finestre ad



In alto: Vista del sottopassaggio della passerella e della rampa che dalla quota della sala lettura porta al livello del Campus Leonardo. Sulla destra sono visibili le finestre quadrate dei servizi collettivi. \_\_\_ In basso a destra: Corridoio est e facciata est della sala lettura. \_\_\_ In basso a sinistra: Scala nord, che dalla quota della sala lettura porta al livello di piazza Gardella.



arco, le paraste ed i marcapiani. Dalla piazza sono visibili tre dei quattro piani che lo compongono. Infatti il piano seminterrato non è visibile, a meno che non ci si affacci dal lato ovest, poiché è alla stessa quota della sala lettura (+0.28 m). L'ultimo piano è il più alto ed è un sopralzo realizzato negli anni '60. L'intera facciata dell'edificio ovest è scandita da numerose finestre che si affacciano sulla piazza; in totale queste sono 78. La muratura dell'edificio è molto spessa ed i pilastri hanno dimensioni ragguardevoli. Quest'ala dell'edificio accoglie, al proprio interno, principalmente classi per l'insegnamento. Su tutto il piano terra (quello corrispondente al livello della piazza) e sulla parte meridionale dei piani superiori sono ospitati uffici dell'Università.

Caratterizzata dagli stessi lineamenti, ma con dimensioni più contenute e finimenti più poveri, è la facciata dell'edificio est antistante il lato est della piazza. Questo si innalza di 10 m rispetto alla quota della piazza ed è concluso da un tetto a falda. I due piani visibili dalla piazza contengono al loro interno degli uffici, mentre al piano seminterrato sono localizzati gli accessi a locali tecnici. La parte più settentrionale della facciata dell'edificio est è completamente ricoperta da un'edera purtroppo ormai morta. Lungo il confine tra piano terra e piano seminterrato scorrono delle tubazioni dell'impianto di riscaldamento e condizionamento che servono quest'area del Politecnico. Procedendo verso nord, l'edificio est cambia aspetto proponendo una facciata più spoglia e con lineamenti più moderni. Sulla copertura piana di questo settore della facciata dell'edificio est sono collocate le macchine impianti dalle quali si diramano le tubazioni.

La continuità tra l'edificio est e l'edificio nord è garantita da una torre ascensore munita di finestra in vetrocemento. La facciata dell'edificio nord che è possibile mirare dalla piazza ha tratti semplici e lineari: si compone di cinque finestre rettangolari disposte in eguale numero su due piani, conclusi da una copertura piana praticabile, circondata da un'alta ringhiera. Al suo interno vi sono uffici ed aule informatiche.

Come abbiamo più volte ricordato, la piazza è separata dalla passerella in due aree, la più grande rivolta a nord e la più piccola rivolta a sud. L'estensione della superficie della piazza rispecchia quella che è la pianta dell'edificio sottostante, eccezion fatta per quanto concerne lo sbalzo di 2.2 m che copre lo spazio antistante la sala lettura, che caratterizza quasi tutto il lato occidentale dell'area nord. La passerella è lunga 22m, esattamente la distanza che separa l'edificio est dall'edificio ovest, ed è costituita da due file di undici colonne alte 2 m che si appoggiano su delle balaustre che si elevano dal piano di calpestio di circa 70 cm. Le colonne reggono un tetto a due falde leggermente inclinate, provvisto di una grondaia e di doccioni a forma di testa di leone. Su entrambi i lati della passerella, il colonnato si interrompe pressappoco a metà della sua estensione, generando un passaggio della larghezza di 2.7 m, che consente di transitare da un'area all'altra della piazza e permette l'ingresso a coloro che arrivano dal piano terra dei due edifici che l'affiancano.

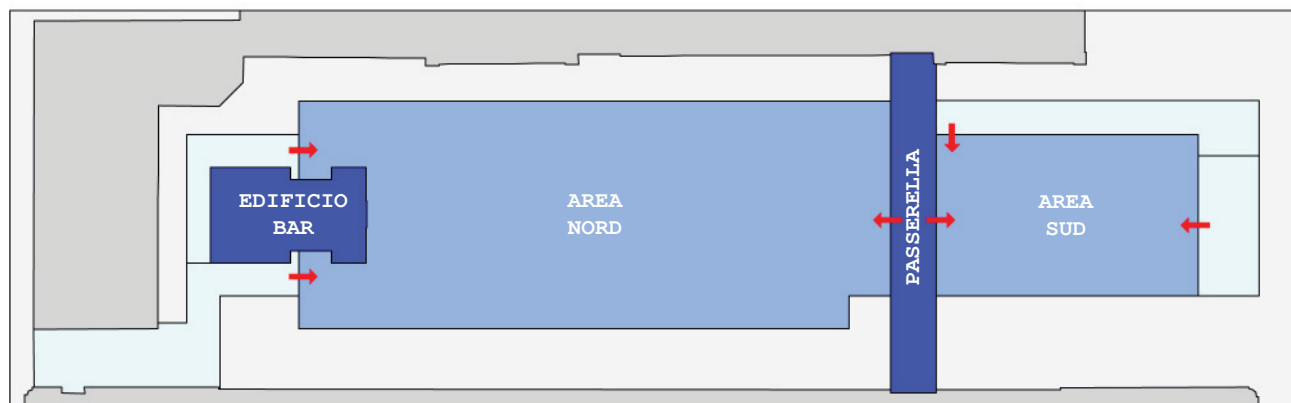
Oltre alla passerella, vi è solo un altro elemento di rilievo nella piazza: l'edificio bar che conclude il lato nord. Questo si presenta come un elemento monolitico simmetrico di 3 metri di altezza rivestito degli stessi blocchi cementizi utilizzati per i fronti dell'edificio



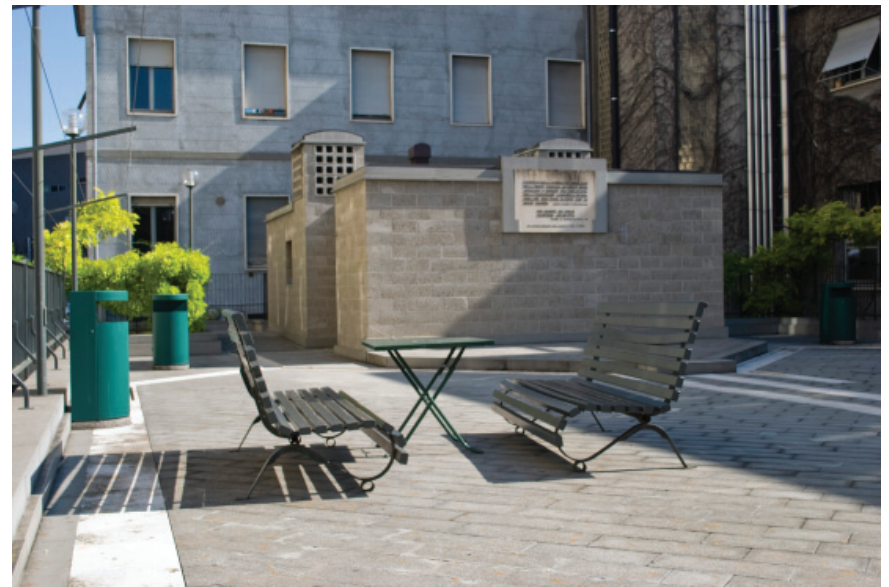
sopra il quale si eleva. Il fronte rivolto verso la piazza è preceduto da un podio di forma triangolare rialzato di 20 cm. Su questo fronte è posta una lapide celebrativa. Sui entrambi i fianchi dell'edificio sono situate una porta di entrata ed una finestrella. Il tetto è ricoperto con lamiera metallica e su di esso si ergono le due torri dell'impianto di condizionamento della sala lettura, rispettivamente una di presa d'aria e l'altra di espulsione.

La superficie totale della piazza è di 878 m<sup>2</sup>. Di questi 38.8 m<sup>2</sup> sono coperti dal tetto della passerella, mentre 58.7 m<sup>2</sup> sono occupati dall'edificio bar. L'area nord si estende per 590 m<sup>2</sup> (sottraendo la superficie dell'edificio bar), l'area sud è invece di 190 m<sup>2</sup>. La pavimentazione è costituita da lastre di pietra grigia di Sarnico, alternata con lastre di pietra chiara di Vicenza, secondo un disegno geometrico decorativo. Si viene così a delineare su tutta la superficie un disegno composto da lastre di pietra chiara, parallele all'asse longitudinale della piazza, che scorrono sia nel mezzo di questa, che costeggiando i lati lunghi. Nei pressi della passerella queste strisce si concludono incontrando una grata, sempre di pietra chiara, che ha la funzione di smaltire le acque meteoriche e che si estende trasversalmente alla piazza in adiacenza con il colonnato nord della passerella. In corrispondenza dell'edificio bar, sul lato nord, e delle scale, sul lato sud, le strisce in pietra chiara cessano di essere rettilinee e le lastre che scorrono al centro si ricongiungono con quelle che si sviluppano sui lati est e ovest. Quando ciò avviene, le lastre in marmo sono scavate di pochi centimetri. Una volta che le coppie di strisce sono congiunte, il disegno in marmo continua il proprio percorso raggiungendo degli elementi per lo smaltimento dell'acqua. A nord queste sono delle grate in pietra chiara, uguali a quelle presenti nei pressi della passerella e si trovano in corrispondenza delle entrate dell'edificio bar. A sud, l'acqua, prima di confluire in una grata metallica posta al di sotto del primo gradino della scala principale, viene condotta sopra gli scivoli posizionati sotto i corrimano.

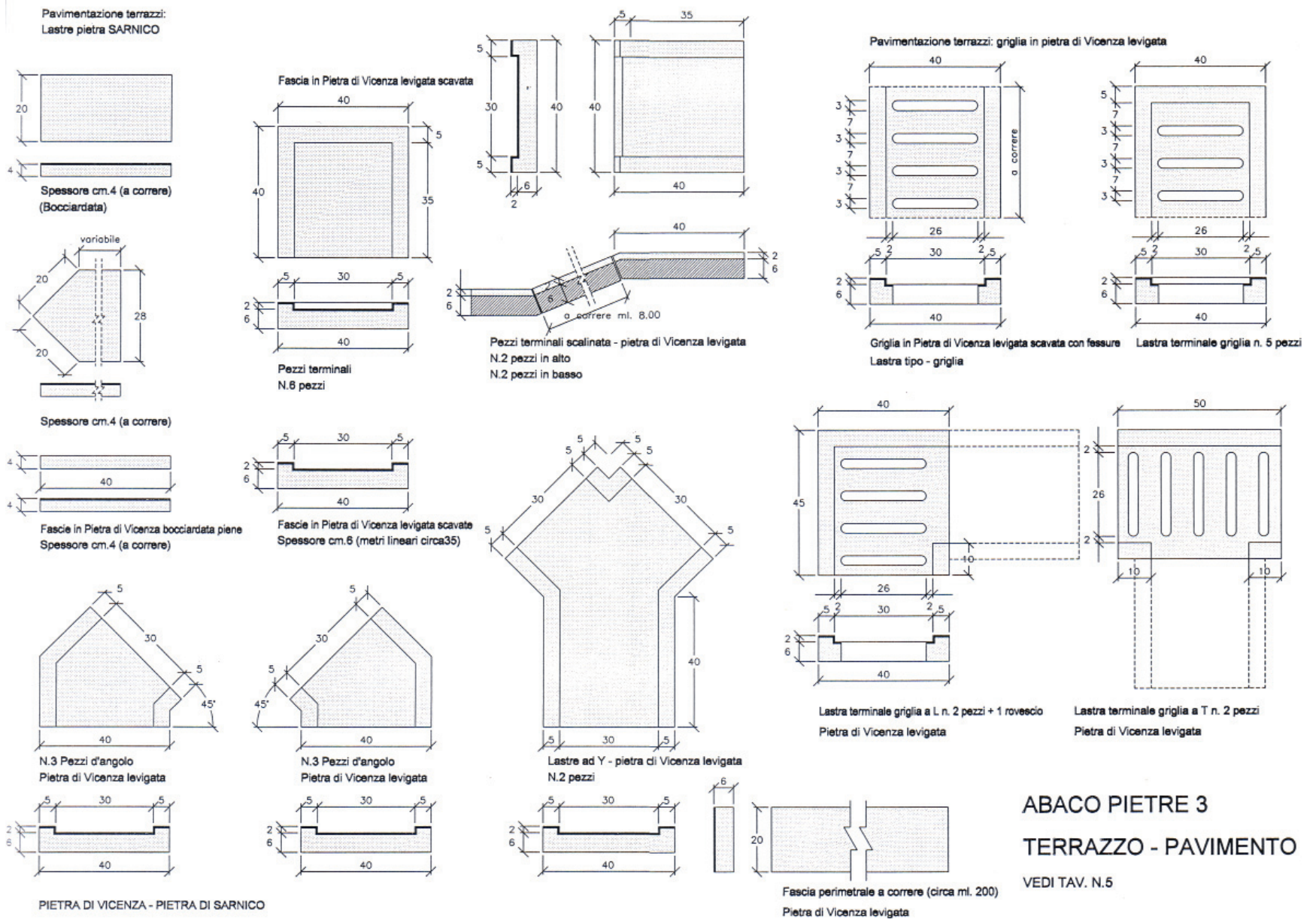
Mentre la superficie della pavimentazione coperta dalla passerella è logicamente piana, sia nell'area nord che in quella sud, la pavimentazione della piazza ha una doppia pendenza con delle linee di colmo che scorrono in direzione trasversale per favorire lo smaltimento delle acque meteoriche e convogliare queste verso le grate presenti presso le estremità dei lati corti.



In alto: Schema dove sono evidenziate le aree tramite le quali è possibile suddividere la piazza e gli accessi disponibili.



In alto a sinistra: Particolare della pavimentazione della piazza nei pressi del podio posto di fronte l'edificio bar. \_\_\_ In alto a destra: Vista dell'edificio bar che sorge sul lato nord della piazza. \_\_\_ In basso: Tavola tratta dall'abaco degli elementi della pavimentazione della piazza. Fonte: archivio del Politecnico di Milano



**ABACO PIETRE 3**  
**TERRAZZO - PAVIMENTO**  
 VEDI TAV. N.5

Nell'area sud la pavimentazione ha una quota massima di +4.30 m che viene raggiunta ad una distanza di 6.3 m dalla passerella, dove la quota è di 10 cm inferiore. Sul lato opposto, la quota in corrispondenza del punto di arrivo della scala, distante oltre 11 m dalla quota massima, è di +4.10 m. L'area nord raggiunge una quota massima di +4.45 m, che è anche la quota del podio posto di fronte all'edificio bar. La linea di colmo scorre all'incirca a metà dell'area nord e verso i suoi estremi la quota scende fino a +4.20 m. I lati lunghi della piazza sono delimitati da un cordolo, rivestito della stessa pietra della pavimentazione, che, a causa della inclinazione di quest'ultima, si eleva dal piano di calpestio con un'altezza che varia da 20 cm a 40 cm. Lungo questi bordi scorre un parapetto in ferro alto 112 cm. A questi sono stati applicati, sui lati est e ovest, dei sostegni che reggono delle tralicciature, composte ciascuna da tre fila di cavetti metallici, sopra le quali sono in fase di crescita delle piante rampicanti. Attualmente queste piante si sono sviluppate e ancorate ai tralicci, principalmente nei pressi delle fioriere dove queste sono state piantate. Tutte queste fioriere si trovano a livelli di quota inferiori rispetto alla superficie della piazza. Sul lato ovest vi sono tre fioriere congiunte alla facciata dell'edificio della sala lettura. Due di queste si trovano in corrispondenza di entrambi i lati del sottopassaggio della passerella, mentre un'altra è posta di fianco alla scala che serve la piazza a nord. Ad est, una prima fioriera è collocata all'inizio del corridoio tra l'edificio est e la sala lettura, mentre più a sud, altre due affiancano la passerella su ambo i lati.

Sopra i bordi rialzati della piazza sono collocati anche 16 lampioni per illuminarla durante le ore notturne. Questi sono alti 342 cm e sono dotati di una sfera di vetro che protegge il corpo illuminante. Sulla superficie della piazza sono sistemati, inoltre, dei cestini di plastica di colore verde scuro con un basamento in pietra.

Da parecchi anni gli unici arredi di rilievo disponibili sulla piazza sono state le grandi panchine in legno verniciato di verde con i sostegni in ferro. A queste erano

**In basso a destra: Pianta rampicante su tralicciatura del parapetto nei pressi dell'edificio bar.**

**\_\_\_ In basso a sinistra: Fioriera posta di fianco all'entrata della sala lettura dalla quale si dirama una delle piante rampicanti che caratterizzano la piazza.**



abbinati alcuni leggeri tavolini metallici, anch'essi verniciati di verde. Dall'inizio del mese di settembre 2009 la piazza è stata interessata dall'introduzione, sulla sua superficie, di nuovi elementi di arredo che hanno determinato cambiamenti della sua fisionomia. Sono state posate, solamente nell'area nord, nuove sedute e tavolini. I tavolini hanno un ripiano di colore nero e sono costituiti da materiale metallico al di fuori del basamento conico che è in pietra. Le nuove sedute sono di due tipi. Le più semplici erano degli elementi di plastica di forma cubica o a podio di colore bianco o rosso e sono state rimosse all'inizio del 2010. Le altre sono delle sedie che riprendono nei lineamenti lo stile dei nuovi tavolini sopra descritti. Queste hanno uno schienale con un profilo non pieno, ma a reticolo di colore rosso o bianco, dello stesso materiale con il quale sono realizzati i ripiani dei tavolini ed hanno anche esse un basamento di pietra conico.

Nell'ottobre 2009 sono stati installati quattro elementi di copertura con pianta rettangolare nell'area nord. Questi sono stati collocati vicino all'edificio bar, su due file parallele alle lastre di pietra chiara di Vicenza che scorrono nel mezzo della piazza, distanti tra loro poco più di un metro e costituite di due elementi ciascuna. La distanza tra un elemento e l'altro della stessa fila risulta essere di 2 m. Queste coperture hanno un'altezza di 3.3 m e coprono un'area equivalente ad un rettangolo di 3mX5m. Esse si appoggiano sulla pavimentazione della piazza per mezzo di quattro esili pilastri, fissati tramite imbullonatura. La copertura di questi elementi è particolare e consiste essenzialmente in cinque falde con la concavità rivolta verso il basso alternate a quattro falde con la concavità verso l'alto. Questi elementi, di colore nero, sono realizzati con lo stesso materiale metallico delle nuove sedute e tavolini. Per quanto concerne tutte queste nuove forniture introdotte recentemente, è un'ipotesi molto probabile che non sia solamente il produttore ad essere comune, ma, date le molte affinità che si possono riscontrare nelle loro caratteristiche di disegno e materiali, è possibile pensare che anche il progettista sia condiviso.

È necessario fare una considerazione sottolineando che dal momento dell'inizio della fase di progettazione, fino al raggiungimento del progetto finale, non era ancora avvenuto l'inserimento dei nuovi elementi di copertura nella piazza. È quindi naturale affermare che l'intero progetto di tesi prende in considerazione lo stato dell'arte in cui si trovava la piazza nel settembre 2009, quando le coperture non erano ancora state posate, anche perché queste non possono sussistere e non avrebbero un senso all'interno della sfera del nostro progetto. Poiché la loro presenza è di carattere reversibile, le coperture metalliche non alterano in maniera irrevocabile i connotati della piazza e potremmo affermare che una possibile realizzazione del nostro progetto prevedrebbe una loro rimozione. Tuttavia ci è sembrato utile comprendere questi nuovi elementi nell'analisi dell'area di progetto, poiché essi sono entrati a far parte dell'insieme di questa ed incidono sui meccanismi con i quali le persone fruiscono di questo spazio.



In alto: Vista delle nuove coperture metalliche installate nell'ottobre 2009. La foto è stata scattata nel dicembre 2009. \_\_\_\_ In basso a destra: Vista raffigurante le nuove sedute cubiche bianche e rosse e le panchine verdi. Sullo sfondo sono visibili le quattro nuove coperture. \_\_\_\_ In basso a sinistra: Vista dei nuovi arredi dotati di basamento conico in pietra.



## FRUIZIONE DELLO SPAZIO

Durante la fase di analisi dell'area di progetto, si è rivelato utile effettuare dei sopralluoghi, nell'arco di una intera giornata, per osservare sul campo le dinamiche che si sviluppano, nella piazza e nel suo intorno, dalle prime ore della giornata universitaria, fino alla serata, e comprendere le modalità con le quali questo spazio venga utilizzato dalle persone che vi transitano e sostano.

Chiaramente, i principali frequentatori della piazza sono gli studenti delle Facoltà di architettura e di ingegneria, anche se, durante l'anno, può avvenire che siano allestite per conto dell'Università alcune tende informative, solitamente posizionate nell'angolo sud-ovest dell'area nord, nei pressi della passerella.

Gli studenti si servono della piazza in diverse maniere, ma, senza dubbio, la più alta affluenza giornaliera di persone sulla superficie della piazza viene raggiunta nel periodo che va tra mezzogiorno e le due del pomeriggio, orario durante il quale avviene, per la maggior parte degli studenti, la pausa pranzo. Di conseguenza, il principale orario di utilizzazione della piazza, data anche la vicinanza del ristorante presente al piano seminterrato dell'edificio ovest e dell'edificio bar, è relativa alla fascia di tempo che separa le ore di lezione del mattino da quelle del pomeriggio, quando molti studenti sostano sulle sedute presenti sulla piazza o accomodati lungo i bordi di questa, per ristorarsi e consumare il pranzo.

Naturalmente, anche durante le altre ore del giorno è possibile incontrare nella piazza studenti che si riposano e rilassano, prima dell'inizio delle lezioni od alla fine di queste, svolgendo differenti attività come ascoltare musica, leggere giornali o semplicemente parlare con gli amici. La piazza si rivela anche un luogo ideale per lo studio, soprattutto durante le ore del mattino o del pomeriggio, quando non c'è l'affollamento di persone che si può verificare durante la pausa pranzo. L'attività di studio è facilitata dalla presenza dei tavolini e delle sedute. A questo si aggiunge il piacere di stare all'aria aperta.

Non bisogna dimenticare che la piazza è un'importante via di transito. Infatti, nel corso dell'intera giornata, molte persone accedono al suo interno per poi raggiungere altre aree interne ed esterne al Campus. Il traffico di persone è continuo ed interessa questo spazio per tutto il giorno. Ciò è facilmente spiegabile dal fatto che la piazza è ubicata in un'area dalla quale sono velocemente raggiungibili vari settori del Campus universitario.

È necessario sottolineare come vi sia una sostanziale discordanza tra il modo con il quale viene vissuta la piazza nei mesi estivi, rispetto alla stagione invernale. Questa differenza è dovuta dalle diverse implicazioni che possono avere, in distinti periodi dell'anno, gli effetti del calore del sole. Infatti, se d'estate questi hanno un aspetto negativo, di inverno i raggi solari, nonostante il sole sia molto basso, riescono a raggiungere la piazza nelle ore a cavallo di mezzogiorno e recano con sé l'effetto positivo di migliorare, riscaldandole, il benessere delle persone presenti sulla sua superficie. Ne risulta che, nei mesi invernali, la gran parte delle sedute e dei tavolini vengono disposti, dagli stessi studenti, lungo il centro della piazza, che costituisce

l'area più riscaldata dal sole, mentre la sosta nelle aree in ombra più fredde viene evitata. D'estate la situazione è ribaltata. Poche sono le persone che si siedono nel centro della piazza, l'area più colpita dai raggi solari, a meno che sia loro proposito esporsi al sole per rilassarsi o persino abbronzarsi. La maggior parte delle persone è solita, invece, rimanere il più vicino possibile al lato est della piazza durante il mattino, quando l'ombra dell'edificio est si proietta sopra quest'area della piazza, per spostarsi poi sul lato opposto nel pomeriggio, quando il riparo dai raggi solari è fornito dall'ombra dell'edificio ovest. Quindi, nel periodo estivo, è consueto trovare quasi tutte le sedute ed i tavolini addossati lungo i lati lunghi della piazza. Un'altra conseguenza, relativa alla ricerca di aree riparate dai raggi solari nei mesi estivi, consiste nel grande affollamento che si genera, specialmente durante gli orari di maggior frequentazione della piazza, al di sotto della passerella, essendo questo spazio totalmente protetto dal sole.

Con l'introduzione delle nuove sedute e dei quattro elementi di copertura, non crediamo vi saranno notevoli cambiamenti nelle modalità tramite le quali gli studenti utilizzano questo spazio. Resta tuttora da verificare quanto i nuovi inserimenti siano efficaci nel migliorare la fruibilità della piazza.

## PROBLEMATICHE E POTENZIALITA'

L'identificazione delle problematiche e delle potenzialità che caratterizzano la piazza è il risultato delle analisi precedentemente esposte. Questo paragrafo esporrà di seguito quali aspetti dell'area di progetto possano essere migliorati e quali siano quelli già efficienti e che la valorizzano. Tutti questi aspetti, siano essi di effetto negativo o positivo, hanno costituito i dati di partenza per le prime ipotesi progettuali, che si sono poi sintetizzate nella proposta finale.

La piazza costituisce uno dei luoghi di aggregazione all'aperto più frequentati dagli studenti del Politecnico, essendo collocata all'interno del Campus e presso un'importante area di transito dalla quale è possibile raggiungere diverse aree ed aule delle Facoltà di ingegneria e di architettura, la sala lettura nonché vari servizi utilizzati dagli studenti, come le segreterie delle Facoltà, il ristorante posizionato al piano seminterrato dell'edificio ovest e l'edificio bar. Quindi, la posizione che la piazza viene ad occupare all'interno del Campus universitario, è un aspetto che fortemente contribuisce ad attirare al suo interno gli studenti e le permette, inoltre, di essere ben illuminata dal sole, non essendo presente sul lato sud alcuna barriera che schermi i suoi raggi.

Anche le caratteristiche architettoniche che contraddistinguono questo spazio costituiscono un incentivo a renderlo un luogo ideale per ospitare un gran numero di persone, essendo la sua superficie libera da ostacoli di qualsiasi genere. Un grande contributo nel migliorare l'accoglienza delle persone all'interno della piazza è dovuto soprattutto alle numerose sedute posizionate sulla sua superficie. Queste determinano al tempo stesso sia delle problematiche che delle potenzialità. Infatti, tutte le sedute permettono una migliore fruizione della piazza offrendo agli studenti un modo per sostare all'aria aperta e riposare, ma bisogna ammettere che non tutte le tipologie presenti nella piazza sembrano essere adatte a questo scopo. Il principale difetto riscontrabile è relativo al peso considerevole della maggior parte di questi elementi, che rende faticoso il loro spostamento costringendo gli studenti, che si aggregano in diversi gruppi sulla superficie della piazza e che hanno quindi l'intenzione di muovere sedie e tavoli in diverse aree, a trascinare gli arredi sulla pavimentazione comportando non solo una difficoltà per gli studenti, ma anche un possibile danno al rivestimento in pietra della pavimentazione. Le panchine verdi sono le sedute che da più tempo sono presenti nella piazza. Esse hanno grandi dimensioni ed è necessario essere almeno in due persone per poterle spostare, a meno che non si voglia trascinarle. Le nuove sedie con il basamento in pietra hanno naturalmente dimensioni più contenute, ma presentano lo stesso problema della panchine: invece di essere alzate e spostate, queste, il più delle volte, vengono trascinate. Le altre sedute di plastica di forma cubica, pur non essendo comode, risultano sicuramente più facili da muovere anche se il più delle volte non vengono utilizzate come sedute, ma su di esse vengono appoggiati oggetti e sono utilizzate come veri e propri tavolini o addirittura come poggiatesta. I cubi di plastica, tuttavia, sono stati rimossi all'inizio del 2010 e quindi al momento non sono presenti su piazza Gardella arredi leggeri facili da spostare.



Considerando quanto detto sopra, sembrerebbe opportuno ipotizzare di fissare almeno le panchine e di posizionare queste presso i lati lunghi della piazza. Queste sedute fanno ormai parte della fisionomia di questo luogo e sarebbe quindi corretto mantenerle, mentre crediamo che i nuovi arredi, posti in settembre, non siano adeguati e si potrebbe anche pensare che siano stati ideati per un altro luogo e poi successivamente dirottati su piazza Gardella. A nostro avviso, se si volesse davvero migliorare la fruibilità della piazza, le nuove sedute e tavolini dovrebbero essere spostati in un'altra area dell'università come il patio della Facoltà di architettura (il colore rosso, bianco e nero di questi elementi si conformerebbero bene con l'edificio della Facoltà). In piazza Gardella, invece, converrebbe introdurre degli arredi, i più leggeri e comodi possibili, che possano essere agevolmente spostati dagli studenti.

Le piante rampicanti, che si stanno sviluppando su entrambi i lati lunghi della piazza, sono a nostro parere una delle peculiarità più interessanti dell'area di progetto, in particolar modo se si pensa in ottica futura. Infatti, è logico prevedere che l'aspetto della piazza avrà dei notevoli miglioramenti quando queste piante saranno cresciute arrivando a fiancheggiare, per tutta la loro lunghezza, i lati est e ovest. Esse forniranno anche un piacevole riparo dai raggi solari durante le stagioni estive. È dunque opportuno tenere in grande considerazione, durante la fase di progettazione, queste piante ed il loro futuro sviluppo e fare in modo che le scelte progettuali le valorizzino e ne agevolino la crescita lungo i tralicci.

Un altro elemento rilevante della piazza è, come abbiamo già affermato, la passerella che scorre tra l'edificio est e l'edificio ovest, che, oltre a collegare questi due edifici, permette il passaggio tra l'area nord e l'area sud della piazza. Questo elemento è osservabile da qualsiasi punto ci si trovi sulla superficie della piazza. La sua architettura non è di certo esaltante, ma si può indubbiamente affermare che le balaustre, le colonne, gli architravi ed i frontoni decorati con i dozzoni a forma di testa di leone, costituiscono un insieme semplice e grazioso da vedere. Un aspetto poco pregevole che interessa questo elemento riguarda la non perfetta manutenzione della sua copertura. Infatti, in caso di pioggia, una grande quantità d'acqua ristagna sopra di essa. Questo, oltre a poter generare dei seri danni alla copertura della passerella, determina anche un notevole elemento antiestetico, soprattutto per chi si trova nei piani alti degli edifici che costeggiano la piazza. Questo problema è causato dalla mancanza di pendenza necessaria delle falde della copertura e dalla conseguente impossibilità di scaricare a dovere le acque meteoriche.

La passerella, nonostante la permeabilità visiva che la distingue e la possibilità di transitare da un'area all'altra della piazza, attraversandola, sembra costituire una barriera invisibile che isola l'area sud rispetto a quella nord. Quest'ultima è senza dubbio la più frequentata ed ha avuto sempre una maggior concentrazione di sedute sulla sua superficie alla quale si aggiunge la presenza dell'edificio bar, le quattro nuove coperture e i nuovi arredi, i quali sono stati posizionati solamente su quest'area. L'area sud, pur essendo di dimensioni minori, ha le medesime caratteristiche di quella nord, sia per quanto riguarda l'esposizione al sole che le qualità

architettoniche e occorre, a nostro avviso, sfruttarla meglio ed alle stesse potenzialità dell'area nord. Le due aree e la passerella stessa dovrebbero essere considerate come facenti parte di un unico spazio che offre le medesime caratteristiche su tutta la sua superficie.

La problematica che da noi è ritenuta più rilevante riguarda le condizioni che determina il sole durante i mesi estivi, quando il calore dei suoi raggi influisce negativamente sul benessere delle persone accolte nella piazza. Questo ha come effetto l'affollamento delle persone sui lati lunghi della piazza, essendo queste le zone più riparate dai raggi solari. Le uniche protezioni che al momento la piazza dispone sono i due edifici che l'affiancano, che distendono rispettivamente di mattina e di pomeriggio le loro ombre su di essa, le piante rampicanti, che nonostante siano ancora in fase di crescita riescono a riparare in parte i lati est e ovest, e l'ombra proiettata dalla pensilina lungo il lato sud dell'area nord. Le quattro nuove coperture, ultimamente installate nei pressi dell'edificio bar, offriranno senza dubbio quattro ulteriori aree protette dai raggi solari, ma, quello che ci si domanda, è quanto saranno efficaci, tenendo conto del particolare disegno delle coperture e del fatto che queste sono totalmente dipinte di nero. Lo stesso problema potrebbe verificarsi per i piani metallici dei nuovi tavolini, anche essi di colore nero, e non è irrealistico pensare che, se colpiti dal sole, questi possano diventare talmente roventi da divenire così inutilizzabili. Informazioni sull'efficacia nella protezione dal calore del sole di questi elementi non sono ancora disponibili, poichè al momento le nuove coperture non hanno avuto modo di essere viste all'opera nei mesi estivi.

Un altro aspetto che rende l'inserimento delle nuove coperture alquanto discutibile è la loro completa incapacità di fornire un riparo effettivo in caso di precipitazioni atmosferiche, andando anzi a generare, a causa della conformazione particolare del loro piano di copertura a falde alternate, un effetto doccia con grandi quantitativi di acqua che si riversano intorno all'area da loro occupata, rendendo poco agevole l'attraversamento della piazza.

Le quattro nuove coperture riprendono come stile i nuovi arredi con i blocchi conici in pietra come base e, come questi, non sembrano ambientarsi in maniera adeguata nella piazza e sono, in definitiva, degli elementi estranei. Oltre a ciò, si aggiunge il fatto che i quattro elementi di copertura sono stati installati in maniera ravvicinata tra loro, andando a determinare con i loro pilastri un ostacolo sia al passaggio delle persone che alla visione dell'intera piazza. Da questi particolari ci si accorge come l'introduzione dei nuovi elementi di arredo, verificatasi tra il settembre e l'ottobre del 2009, sia stata una scelta avvenuta in maniera a dir poco approssimativa.

Un'ultima problematica, che interessa tutta l'area nord ed è conseguente soprattutto all'inserimento dei nuovi elementi, si identifica con la condizione di disordine che caratterizza la piazza. Questa è determinata dalla maniera disordinata con la quale gli studenti dispongono le sedute ed i tavolini sulla superficie della piazza. Di conseguenza, l'aspetto di piazza Gardella può risultare molto caotico, specialmente di inverno, quando le sedute coprono anche le zone centrali. Questa condizione, a volte, può costringere le persone che attraversano la piazza a ricorrere ad un vero e proprio 'slalom' per evitare le persone sedute, i tavolini ed i pilastri delle coperture metalliche. Oltre



In alto: Foto scattata nell'estate 2009 dalla quale si può notare come il centro della superficie della piazza sia pressochè sgombro, mentre la maggior parte degli avventori siano sistemati lungo i lati est e ovest. \_\_\_\_ In basso: Stato di disordine nella quale versa la piazza oggigiorno a causa dell'impiego dei nuovi elementi di arredo.



a causare questo tipo di disagio, lo sparpagliamento disordinato di sedie e tavolini contribuisce a rendere una sgradevole immagine della piazza. Un altro aspetto poco comprensibile, relativo allo stato di disordine in cui oggi versa l'area di progetto, è il gran numero di cestini presenti su tutta la sua superficie. Nonostante questo sia uno spazio dove molti studenti si fermano a pranzare, pare singolare che vi siano ben 16 cestini, per di più di grande capienza. Siamo certi che un numero più esiguo soddisferebbe le necessità relative ai rifiuti prodotti dai fruitori di questo luogo.

Le questioni relative agli arredi della piazza esulano dagli obiettivi di questo lavoro, tuttavia, a nostro parere, sarebbe necessario prendere dei provvedimenti per conferire alla piazza un aspetto più ordinato. Oltre a bilanciare il numero degli arredi presenti nell'area nord e nell'area sud, si dovrebbe concepire una distribuzione ordinata di questi su tutta la superficie della piazza, magari prevedendo anche il posizionamento fisso di alcuni elementi (come i tavoli per esempio). Tutto ciò contribuirebbe a rendere la piazza un luogo ancor più accogliente nei confronti degli studenti del Politecnico.

Il riconoscimento di queste potenzialità e problematiche, offerte dall'area di progetto, è stato il punto di arrivo dell'analisi dell'intorno di piazza Gardella. Le informazioni raccolte sono state i presupposti fondamentali per la concezione di tutte le ipotesi progettuali, dalle prime opzioni, fino al progetto finale.

# TAVOLE

## CAPITOLO 1

- Tavola 1.0: Stato di fatto\_Pianta scala 1:100
- Tavola 1.1: Stato di fatto\_Prospetto sud scala 1:100
- Tavola 1.2: Stato di fatto\_Sezione A-A scala 1:100
- Tavola 1.3: Stato di fatto\_Sezione B-B scala 1:100
- Tavola 1.4: Stato di fatto\_Sezione C-C scala 1:100
- Tavola 1.5: Stato di fatto\_Sezione D-D scala 1:100





POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

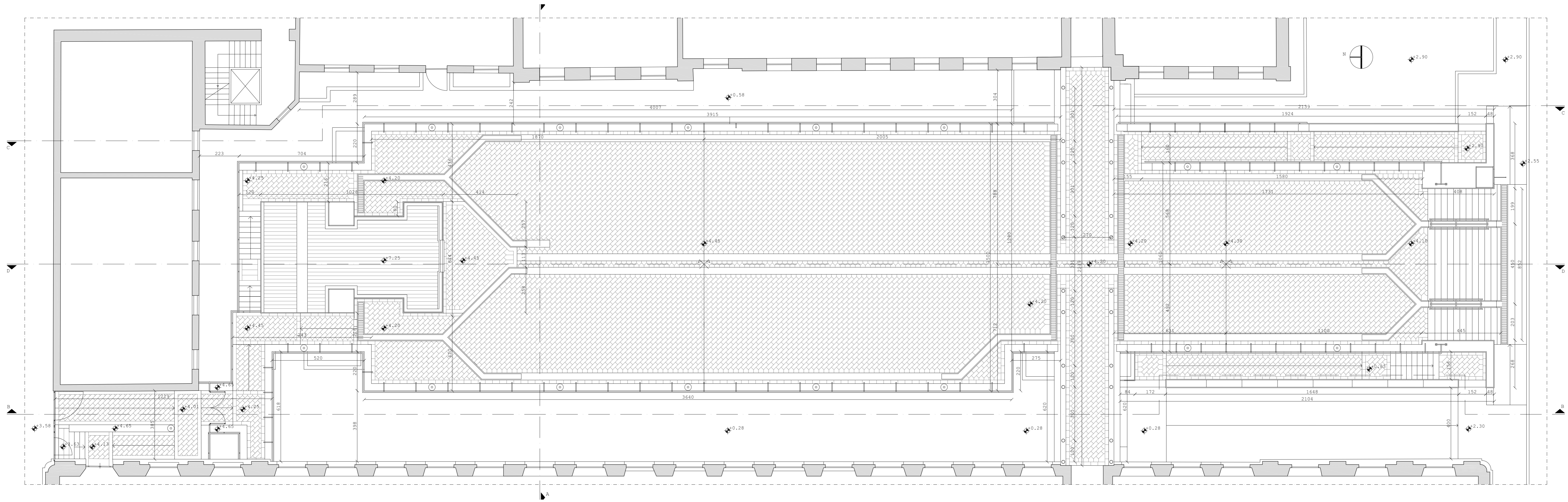
Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### STATO DI FATTO

PIANTA  
SCALA 1:100

TAVOLA

# 1.0





POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di  
ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

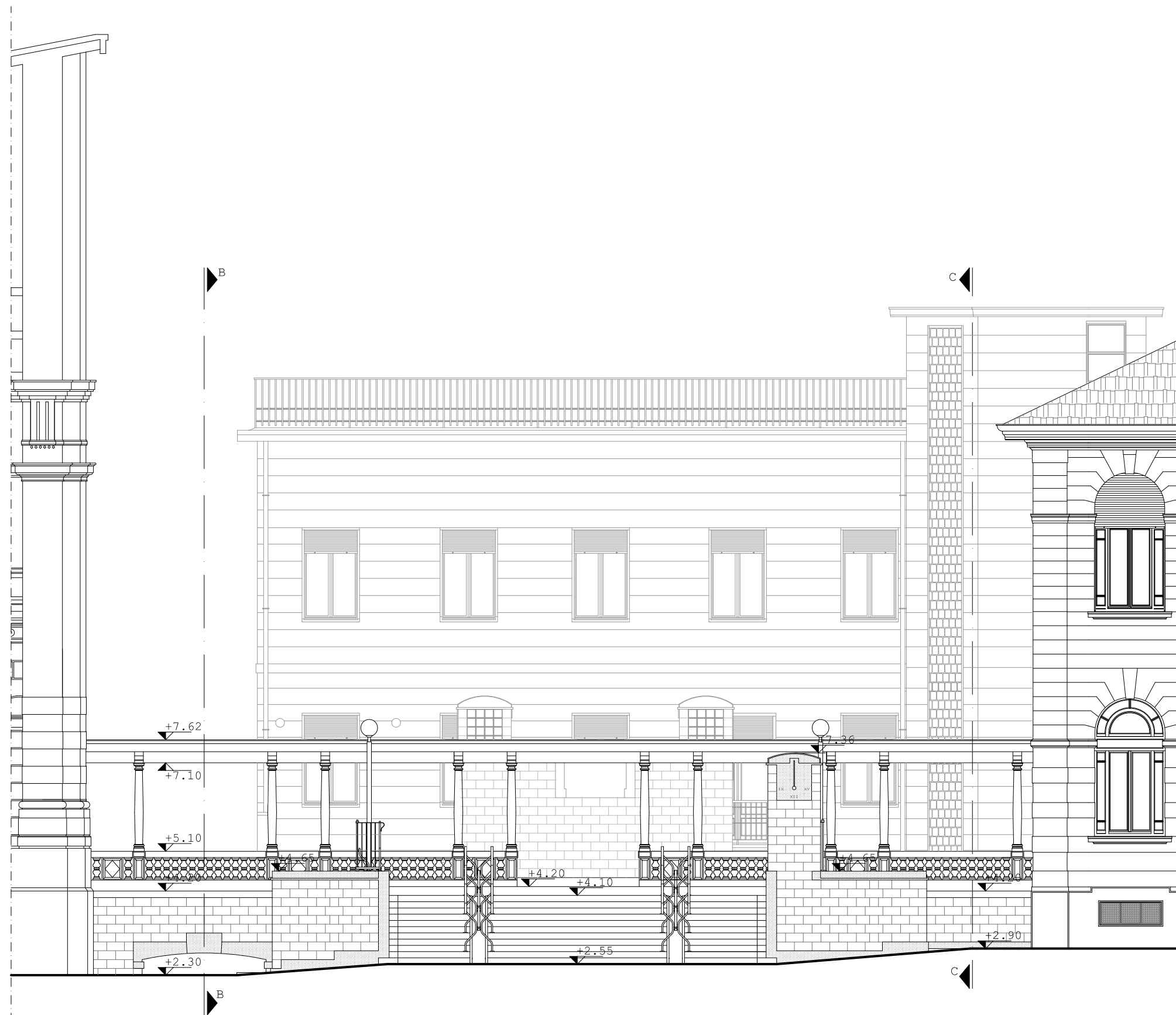
Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### STATO DI FATTO

PROSPETTO SUD  
SCALA 1:100

TAVOLA

# 1.1







POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di  
ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

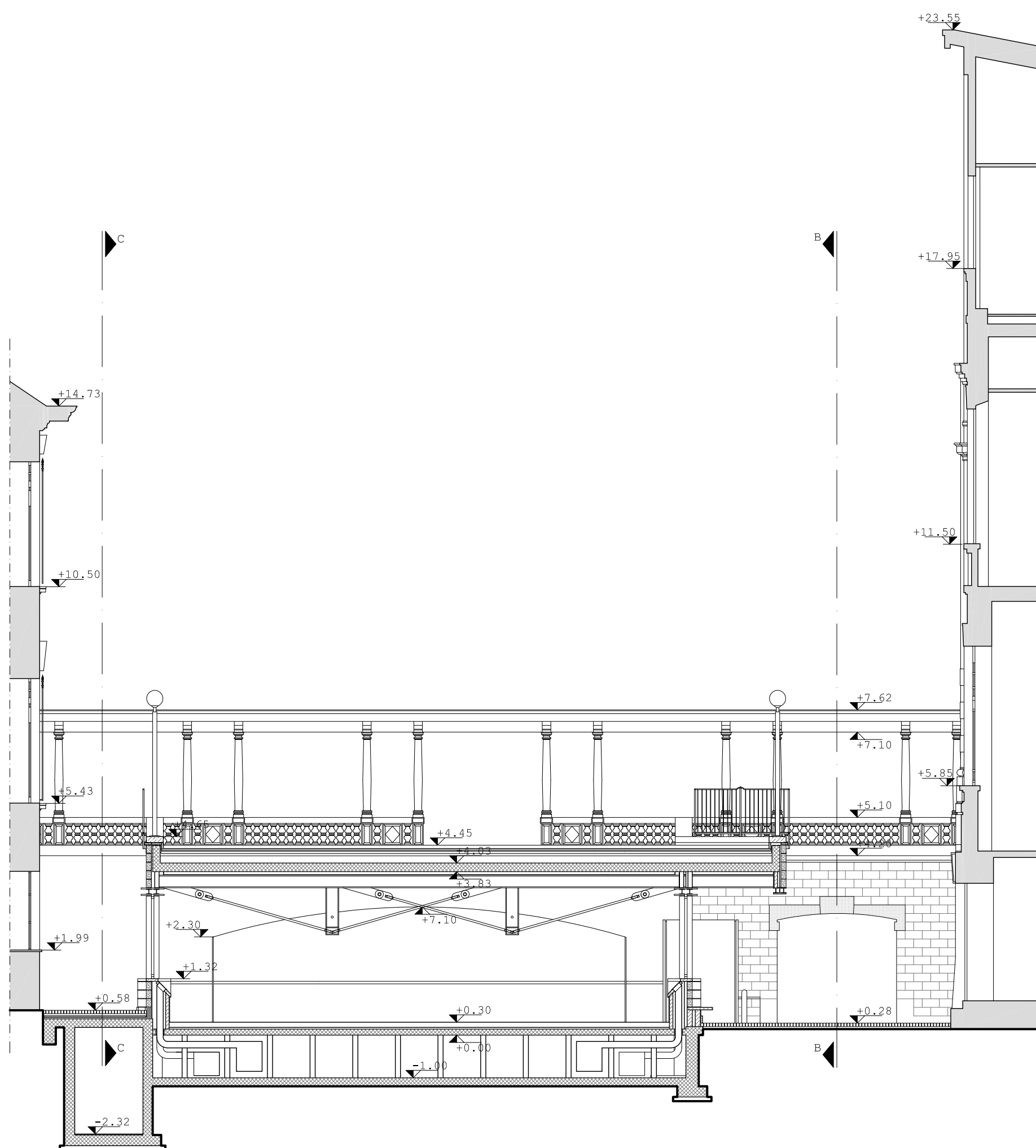
Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### STATO DI FATTO

SEZIONE A-A  
SCALA 1:100

TAVOLA

# 1.2





**POLITECNICO DI MILANO**  
 Facoltà di Architettura  
 e Società  
 Corso di Laurea Specialistica  
 TS6  
 A.A. 2009/2010

**Un Velarium al  
 Politecnico**  
 Progetto di un sistema di  
 ombreggiamento retrattile  
 per piazza Gardella

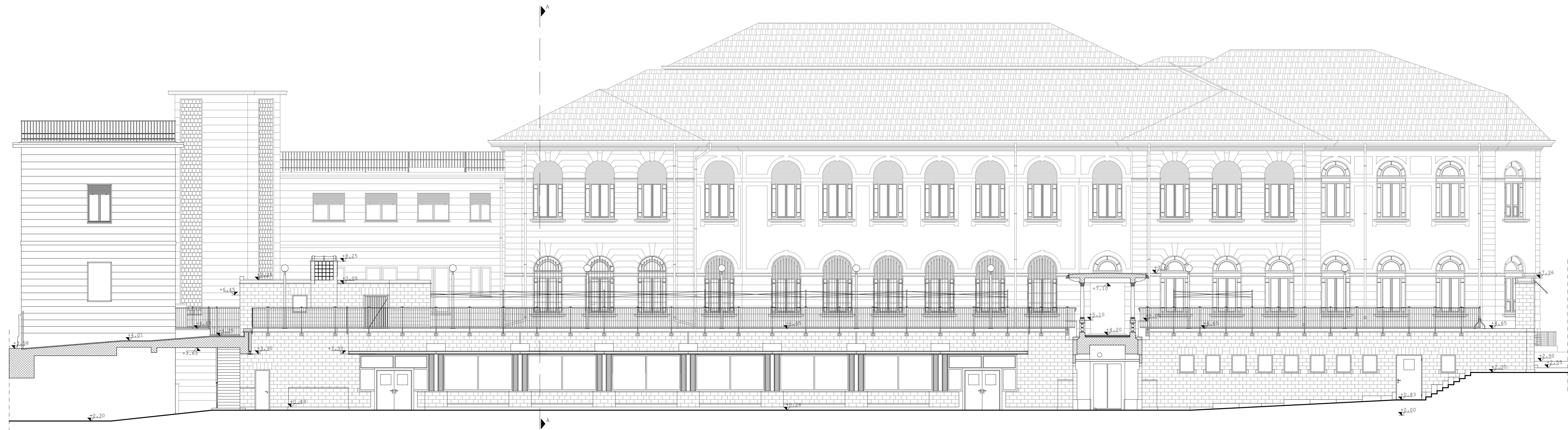
Studente:  
 Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
 Matricola: 709095

Relatrice:  
 Prof.ssa Alessandra Zanelli  
 Correlatore:  
 Ing. Paolo Beccarelli

**STATO DI FATTO**  
 SEZIONE B-B  
 SCALA 1:100

TAVOLA

**1.3**





**POLITECNICO DI MILANO**  
 Facoltà di Architettura  
 e Società  
 Corso di Laurea Specialistica  
 TS6  
 A.A. 2009/2010

**Un Velarium al  
 Politecnico**

Progetto di un sistema di  
 ombreggiamento retrattile  
 per piazza Gardella

Studente:  
 Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
 Matricola: 709095

Relatrice:  
 Prof.ssa Alessandra Zanelli

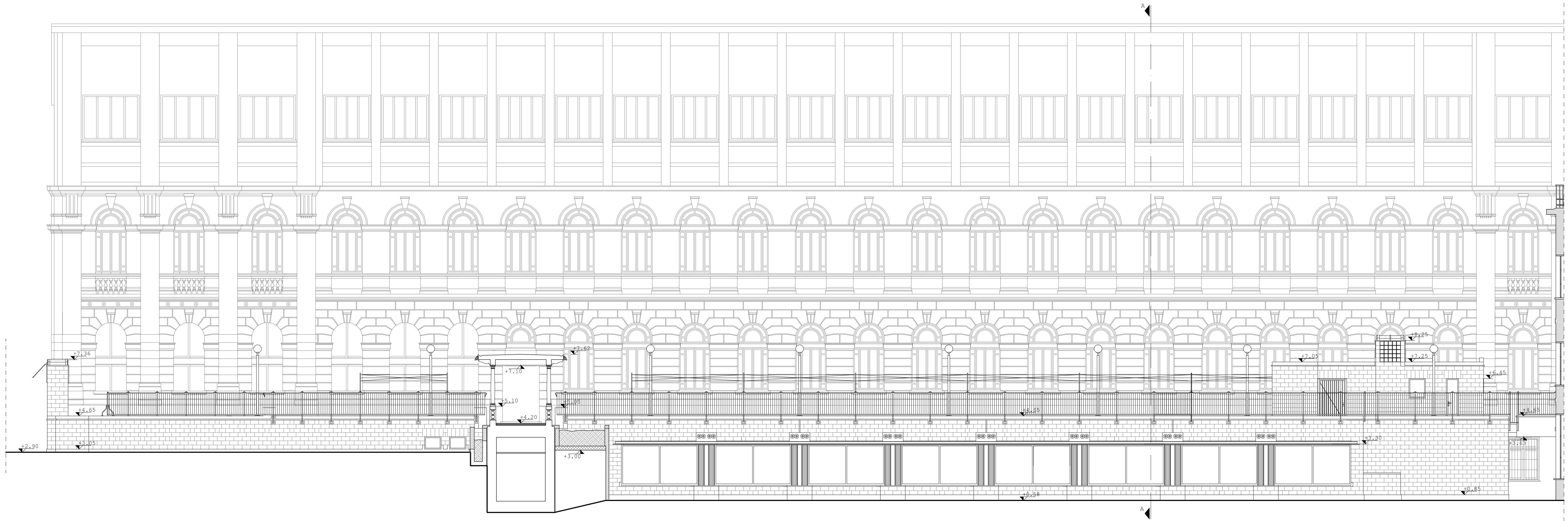
Correlatore:  
 Ing. Paolo Beccarelli

**STATO DI FATTO**

SEZIONE C-C  
 SCALA 1:100

TAVOLA

**1.4**





**POLITECNICO DI MILANO**  
 Facoltà di Architettura  
 e Società  
 Corso di Laurea Specialistica  
 TS6  
 A.A. 2009/2010

**Un Velarium al  
 Politecnico**

Progetto di un sistema di  
 ombreggiamento retrattile  
 per piazza Gardella

Studente:  
 Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
 Matricola: 709095

Relatrice:  
 Prof.ssa Alessandra Zanelli

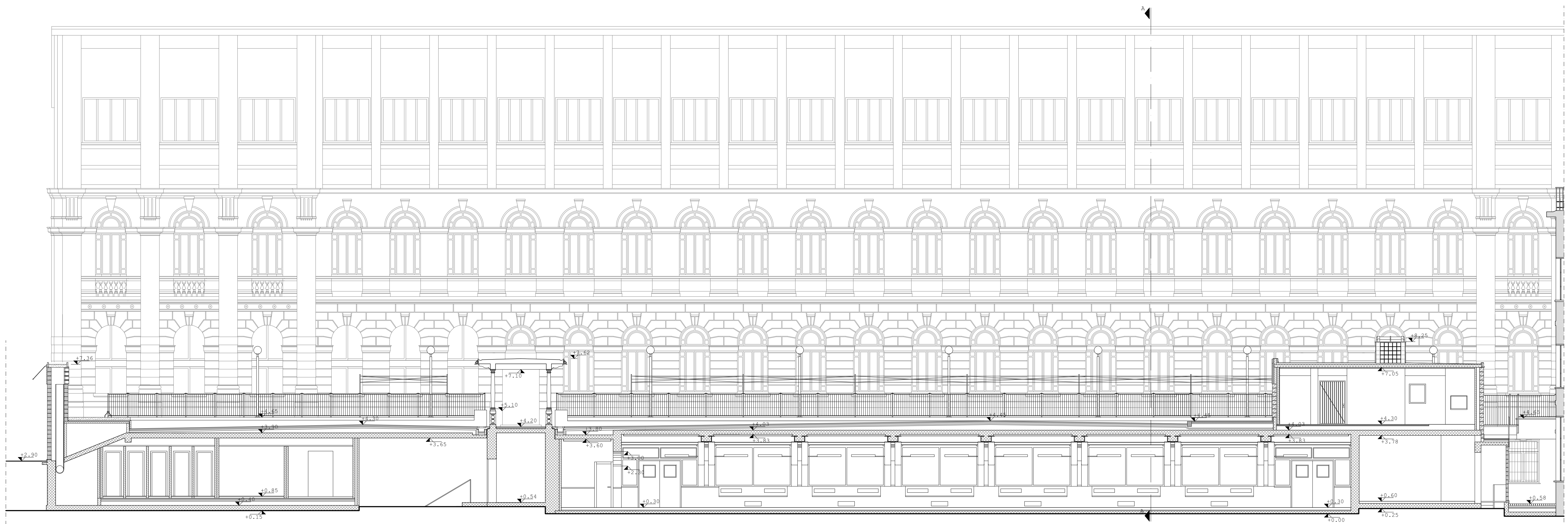
Correlatore:  
 Ing. Paolo Beccarelli

**STATO DI FATTO**

SEZIONE D-D  
 SCALA 1:100

TAVOLA

**1.5**







Durante l'intera fase di progettazione, è stata effettuata una ricerca di progetti realizzati, che avessero caratteristiche e peculiarità tali da renderli un interessante oggetto di studio al fine di cogliere riflessioni

utili per l'elaborazione progettuale. Per quanto riguarda le prime ipotesi, sono state visionate soprattutto classiche tensostrutture a membrana destinate alla copertura di spazi all'aperto. Di esempi del genere ve ne sono in gran quantità e quindi sono stati presi in considerazione le realizzazioni che prevedono la copertura di spazi di dimensioni contenute. Questo era dovuto come conseguenza del desiderio di non ricoprire la piazza con un'unica grande copertura, ma dotarla di una serie di membrane che riparassero solo alcune aree della superficie.

Dopodiché, la necessità di concepire una struttura con la facoltà di trasformare il proprio assetto, per fornire diverse risposte a seconda delle esigenze che possono verificarsi nell'intero arco di un anno, ha condotto verso la ricerca di qualcosa che andasse oltre la classica tensostruttura. Dunque, si è rilevato utile analizzare tipologie di coperture leggere per l'ombreggiatura, tipiche di alcune culture localizzate in zone dove la protezione dai raggi solari è stata, da sempre, una necessità. Una delle tipologie più significative è quella dei toldos andalusi.

## L'ESEMPIO DEI TOLDOS

I toldos rappresentano elementi di architettura vernacolare che non hanno mutato di molto la loro fisionomia nel tempo e, solo ultimamente, sono stati rivisitati impiegando tecnologie più evolute. I toldos fanno della loro semplicità, di realizzazione ed applicazione, un aspetto molto importante. Queste caratteristiche facilitano la loro messa in opera e il loro smantellamento, dato che essi sono posti solo durante il periodo estivo e vengono rimossi alla fine della bella stagione.

Questa tipologia di tenda è molto comune nel sud della Spagna, in particolar modo in Andalusia, ed il suo impiego è riscontrato già durante i secoli di dominazione romana. I toldos, anticamente, venivano realizzati tramite materiali recuperati da imbarcazioni dismesse, utilizzando prevalentemente il tessuto delle vele. Ancora oggi, i toldos sono distesi nelle città andaluse con il fine di rinfrescare le vie e le piazze schermandole dal sole. I singoli elementi consistono solitamente in tende di cotone, sorrette da funi o cavetti metallici ancorati alle facciate o alle coperture degli edifici che si affacciano sulla strada che vanno ad ombreggiare. Queste possono essere messe in movimento dai tetti degli edifici tramite dei semplici meccanismi composti da funi.

Le tende si distendono tra gli edifici contrapposti in maniera del tutto naturale, ovvero nessun elemento che le compone è messo in tensione, dotando l'intera struttura di un carattere di leggerezza e mostrando che strutture leggere e solide interagiscono tra loro in piena armonia.

Quello che i toldos possono provocare all'interno di uno spazio urbano è l'esperienza di una grande vibrazione spaziale, la percepibile coerenza con l'intorno e la sensazione che debba esserci qualcos'altro al di là di una tenda distesa a fare ombra. Inoltre, la capacità di compiacere, dal punto di vista tecnico ed emotivo l'utente, è parte dell'incondizionata immediatezza di questi elementi urbani, dotati tanto di un significato potenziale rappresentativo, quanto di una specifica valenza tecnica di riparo dal clima che ne fa rivalutare la loro attualità, proprio in un periodo nel quale l'attenzione dei progettisti è particolarmente rivolta alla gestione bioclimatica degli spazi urbani.

Avendo come origine la funzione di coprire gli spazi interni delle abitazioni, i toldos conservano la capacità di ricreare nello spazio pubblico, come la piazza e la via, un senso di intimità molto simile a quella del patio privato, suscitando, al fruitore della strada, una sensazione familiare. Questa caratteristica asseconda una predisposizione alla socialità ed alla aggregazione delle persone frequentanti lo spazio sottostante le tende, le quali sono tipiche del temperamento andaluso.

Queste tende non risultano essere delle semplici coperture atte a fornire una difesa contro il calore dei raggi solari, ma sono anche un elemento architettonico che comunica a livello plurisensoriale, permettendo allo spazio circostante di divenire, allo stesso tempo, accessibile, confortevole ed attraente. Infatti, "I toldos sono strumenti oggettivi di orientamento, generano significative sensazioni di colore, forma e movimento direzionato, polarizzano la luce ed alterano la percezione igrometrica dell'intorno e il bilancio del comporsi di tante alterazioni ambientali, fisicamente sensibili e stimolanti ad una percezione plurisensoriale dello spazio, è indubbiamente positivo"<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> L. Muratore, *I toldos: permanenze attive dell'elemento vernacolo nella città di Siviglia*, rel. M. Bottero, correl. P. Vincenzo, Politecnico, Milano, 2001/02.





In alto a sinistra: Calle Larios nella città andalusa di Malaga. \_\_\_ In alto a destra: Strade coperte da toldos a Siviglia. \_\_\_ In basso a destra: Toldos nella Calle Mayor a Villanueva de los Infantes ne La Mancha. \_\_\_ In basso a sinistra: Operazioni di montaggio di una tenda in una calle di Siviglia.



Questa tipologia di schermatura solare, come abbiamo esposto precedentemente, genera un forte legame con l'ambiente urbano sopra la quale si distende. Questa peculiarità è sembrata molto interessante, per quanto riguarda il progetto di tesi, dal momento che l'area di progetto ha la conformazione di un vero e proprio spazio urbano, essendo la piazza circondata da alti edifici e presentandosi sulla sua superficie un grande traffico di persone che sostano o semplicemente transitano su di essa.



In alto a sinistra: Calle Sierpes a Siviglia. \_\_\_\_ In alto a destra: Avenida de los Reyes Católicos a Granada.

## COPERTURE RETRATTILI MODERNE

Nel paragrafo precedente abbiamo visto come l'idea di coperture mobili, che si adattano ai cambiamenti climatici, è molto antica. Dalla seconda metà del secolo scorso, grazie allo sviluppo di nuove strutture leggere che possono essere utilizzate per coprire luci estese con il più piccolo sforzo possibile in termini di materiali e massa, hanno fatto la loro comparsa le prime coperture retrattili a membrana di grandi dimensioni. Queste evoluzioni hanno permesso di realizzare coperture che hanno la peculiarità di poter essere distese solo in caso di necessità. Queste, il più delle volte, sono tende di grandi dimensioni manovrate automaticamente, che hanno la possibilità di svolgersi in pochi minuti al fine di fornire protezione.

Esempi di questa tipologia di struttura sono la copertura delle rovine della Stiftskirche (1968) a Bad Hersfeld, in Germania, di Frei Otto, e la copertura del teatro all'aperto del castello di Wiltz (1988), Lussenburgo, realizzata da Bodo Rasch. Quest'ultimo progettista, ha rivisitato la tipologia dei toldos e l'ha riproposta per la corte interna della Moschea Quba (1987) a Medina, Arabia Saudita. La copertura è divisa in due parti che sono sospese su un sistema di cavi. Queste possono essere mosse lateralmente e ripiegate. Il sistema di supporto vero e proprio è fornito da due travi reticolari che si sviluppano sui lati lunghi della corte. La membrana traslucida è composta da due strati che si sviluppano longitudinalmente e che sono tenuti assieme da elementi tubolari in alluminio. Questi ultimi si trovano sospesi su dei cavi e sono uniti ad essi tramite carrelli che possono essere messi in moto da dispositivi elettrici. Sempre di Rasch è la copertura retrattile a membrana di un teatro all'aperto sulle isole Canarie (1990). La membrana che ricopre 350 m<sup>2</sup> è sorretta da una serie di cavi in acciaio ai quali aderisce tramite delle carrucole, che permettono alla copertura di distendersi e ripiegarsi, a seconda delle esigenze. Anche in questo caso il movimento è controllato da un sistema elettrico centrale. Un esempio recente di copertura retrattile in materiale tessile è quella realizzata da Kugel + Rein all'interno della fortezza di Kufstein in Austria (2006). In questo caso, l'area ricoperta è a pianta circolare e di conseguenza la membrana si distende irradiandosi dal centro della struttura fino alla circonferenza esterna. Quando la membrana in PTFE è a riposo e non è distesa rimane ripiegata e protetta da una tettoia trasparente in policarbonato posta nel centro della struttura, mentre durante i mesi invernali l'intera membrana viene ricoverata all'interno di una sacca. Tramite carrelli scorrevoli la membrana è sorretta da 15 cavi disposti a raggiera. La membrana è collegata ad ogni cavo in più punti. I carrelli posti nei punti estremi della membrana sono fissati ad altri cavi che scorrono su bobine. Quest'ultime sono azionate da quindici motori, posizionati nella circonferenza esterna della struttura, che funzionano in sincronia e sono controllati automaticamente da un'unità centrale. Infine, la membrana è messa in tensione da 15 cilindri idraulici, che premono i carrelli più esterni in posizione.

I progetti descritti nelle ultime righe si riferiscono tutti a coperture di grandi dimensioni, alcune delle quali con il tessuto della membrana posto in tensione. Vi sono esempi di realizzazioni



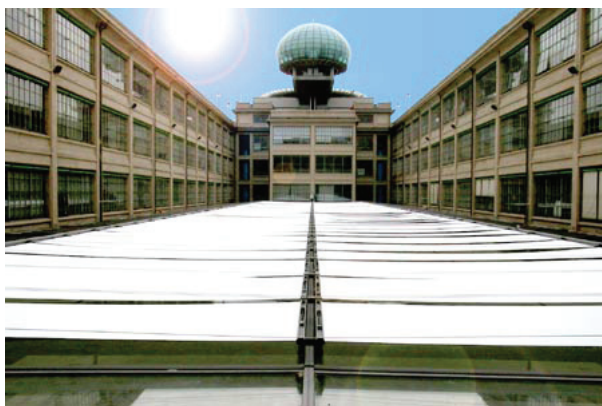
In alto a sinistra: Bodo Rasch, Copertura della moschea Quba a Medina, Arabia Saudita, 1987 . \_\_\_\_ In alto a destra: Kugel + Rein, Copertura retrattile della fortezza di Kufstein, Austria, 2006. \_\_\_\_ In basso: Duvall Design, tende retrattili in un mall sulle isole Cayman, 2005.



di coperture retrattili di dimensioni minori, aventi strutture più semplici che reggono tende in tessuto non in tensione. Lo studio americano Duvall Design, specializzato nella progettazione e nell'installazione di strutture tessili, ha realizzato nelle isole Cayman delle tende retrattili che coprono la strada di un mall all'aperto. Vi sono 6 file composte da 2 tende ciascuna che si sviluppano trasversalmente alla strada. Le tende sono tenute sospese a 7 m di altezza dalla superficie della strada da un set di cavi in acciaio che si agganciano da un capo alle facciate degli edifici prospicienti la strada, dall'altro ad un elemento tubolare in acciaio posto al centro del sistema. Il materiale tessile molto leggero che compone le tende è sorretto da bacchette di legno. Quest'ultime sono collegate ad entrambe le loro estremità a cavi in acciaio. Paralleli a questi cavi sono presenti dei loop cable ovvero dei cavi ad anello che hanno la capacità di scorrere avanti e indietro grazie ad un sistema di carrucole posizionate presso il tubo in acciaio e presso l'approdo dei cavi sulle facciate degli edifici. I loop cable sono collegati alle tende solo tramite le bacchette di testa, ovvero quelle poste più vicine ai tubi in acciaio, e tramite il loro movimento permettono l'apertura delle tende o il ricovero sotto i tetti degli edifici adiacenti alla strada. In questo modo solo una bacchetta si muove, mentre le altre vengono trascinate lungo i cavi di sostegno, che svolgono quindi anche la funzione di cavo binario.

Questo sistema di funzionamento è simile a quello adoperato dall'azienda produttrice di tende e sistemi di oscuramento Model System Italia all'interno dei progetti di Renzo Piano per l'Hotel Meridien e per la Gallery 8 del Lingotto (2002), entrambi a Torino. Infatti, in tutti e due i casi le tende sono sospese su file di cavi in acciaio inossidabile che garantiscono sia il supporto che il loro movimento, coadiuvandosi con un sistema di carrucole.

Grazie alla ricerca e lo studio delle recenti e più significative realizzazioni per contenuto tecnico e aspetto estetico riguardanti sistemi di schermatura solare, è stato possibile definire, nell'ultima fase di elaborazione, l'effettiva funzionalità e fattibilità del progetto finale, che verrà presentato nelle prossime pagine.



In alto a sinistra: Renzo Piano, Gallery 8 del Lingotto di Torino, 2002. Tende di copertura del cortile dell'edificio interno. \_\_\_ In alto a destra: Renzo Piano, coperture interne della hall dell'Hotel Meridien, Torino, 2002.



In questo capitolo verranno esposte le varie ipotesi progettuali che si sono succedute nella prima fase di ideazione. Nonostante alcune di queste possano apparire molto difformi, se paragonate al risultato finale, in esse sono già presenti aspetti e

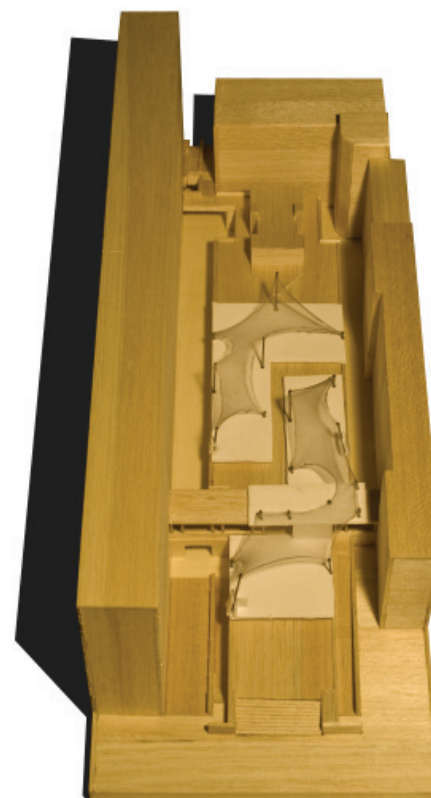
decisioni che si sono ripetute e raffinate, man mano che lo studio di progettazione avanzava, fino a consolidarsi nella scelta progettuale definitiva. Questa è la ragione per la quale si è creduto interessante includere gli studi preliminari all'interno di quest'opera.

In un primo momento si è cercato di soddisfare gli obiettivi del progetto concependo una copertura, o meglio una serie di coperture, utilizzando strutture a membrane con superficie anticlastica ovvero a doppia curvatura. Spesso questo tipo di strutture sono utilizzate come copertura di spazi di varie dimensioni. Grazie alle loro particolarità tecniche riescono a raggiungere questo scopo con il minimo sforzo, risultando alla fine delle strutture molto leggere sia a livello strutturale che visivo. A causa dell'intrinseca tridimensionalità di questa tipologia di struttura, si è rivelata opportuna l'esecuzione di modelli di studio in scala realizzati con materiale flessibile come il nylon, il quale ha la capacità di simulare in maniera realistica la tensione presente nelle membrane e quindi la loro forma finale. I punti fissi delle strutture sono rappresentati da bastoncini in legno che si ancorano ad un supporto di poliplat bianco che facilita l'inserimento delle varie opzioni progettuali all'interno del modello in balsa in scala 1:100 dell'area di progetto. Inoltre, lo studio di queste prime ipotesi è stato supportato da un programma di formfinding (Formfinder) per controllare in modo accurato la curvatura delle membrane, in modo da evitare aree troppo piatte che possano generare delle problematiche per quanto riguarda il deflusso delle acque meteoriche.

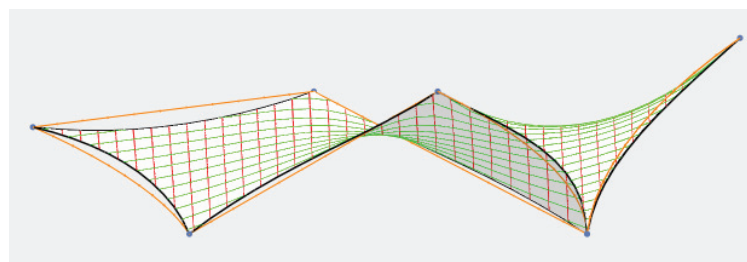
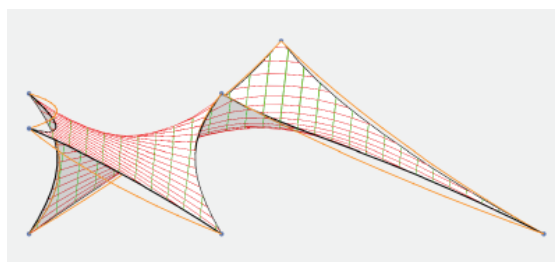
Di seguito verranno presentate brevemente le prime ipotesi progettuali e saranno sottolineati gli aspetti che maggiormente contraddistinguono ognuno di questi concept, mettendo in evidenza quali caratteristiche si sono trasmesse lungo l'intera fase di progettazione.

## IPOTESI Ia

La volontà di non coprire l'intera piazza con un'unica grande copertura, ma di riparare dal sole solo determinate aree della sua superficie, è un'invariante presente in tutte le opzioni. La disposizione delle membrane di questa ipotesi va a comporre una forma dinamica che si distende sulla piazza in direzione longitudinale. Questa disposizione privilegia la copertura degli spazi sui lati lunghi della piazza, mentre il centro di questa rimane praticamente scoperto. Un altro aspetto interessante è l'unione che avviene, grazie ad un artificio formale, tra le aree sud e nord della piazza. Questo si realizza tramite il sormonto della passerella da parte della membrana posizionata più a sud, andando così a generare un continuum della narrazione progettuale. Per quanto riguarda l'ancoraggio dei punti fissi, l'idea è stata quella di adoperare il minor numero di pilastri possibili. Si prevedeva infatti di collegare i punti alti della struttura rivolti verso gli edifici est e ovest alle facciate degli edifici stessi tramite dei cavi di acciaio, al fine di liberare la piazza da elementi di supporto. Le tematiche di questa ipotesi sono state sviluppate ulteriormente dalla successiva opzione progettuale.



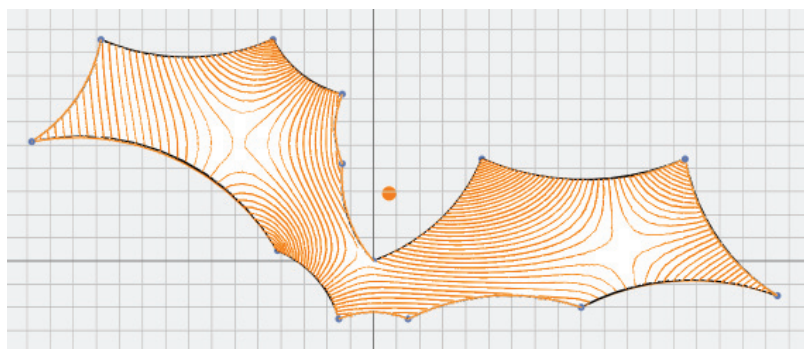
Sopra: Modello fisico delle membrane dell'ipotesi Ia inserite all'interno della maquette dell'area di progetto. \_\_\_ In basso: Modelli virtuali delle membrane realizzati tramite il software Formfinder.



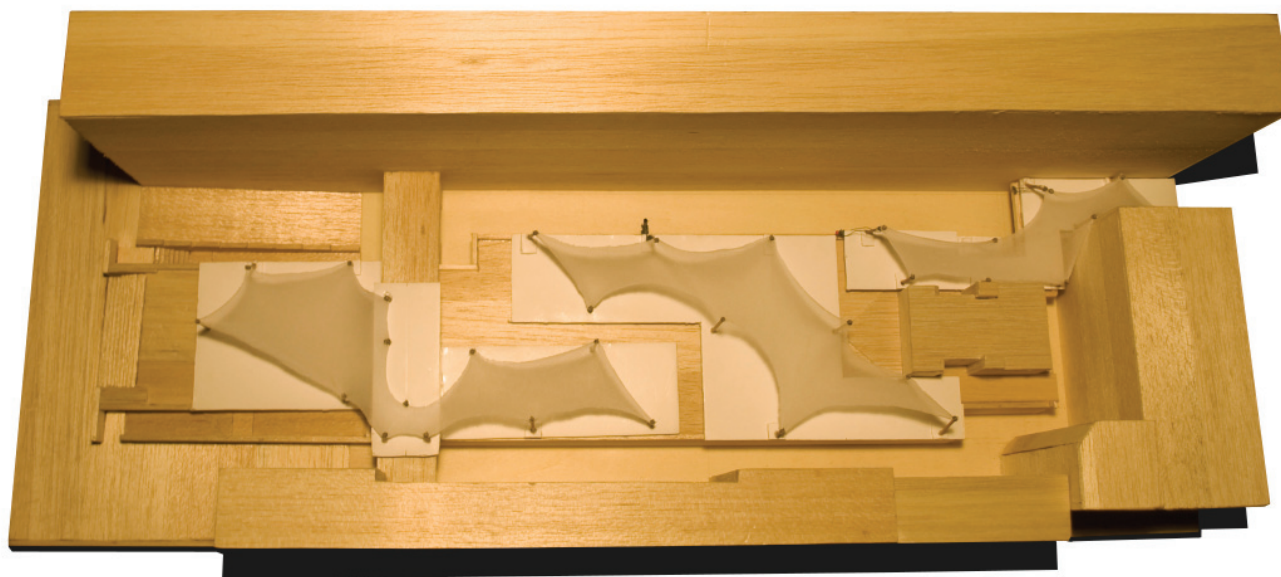


## IPOTESI Ib

Questa opzione consiste nell'evoluzione dell'ipotesi precedente e ne amplifica gli aspetti. Essa approfondisce l'argomento relativo l'adagiarsi sulla superficie della piazza di una disposizione delle membrane fluida e dinamica, che si dirama dalle scale principali, a sud, fino all'entrata al Campus, di fianco alla Banca, su via Bonardi, a nord. Le membrane già presenti nella opzione I vengono ampliate. Alla tensostruttura nord viene aggiunto un nuovo lembo che la sviluppa ulteriormente in direzione nord-est. Una nuova membrana fa la sua comparsa nell'area dell'entrata alla piazza da via Bonardi.

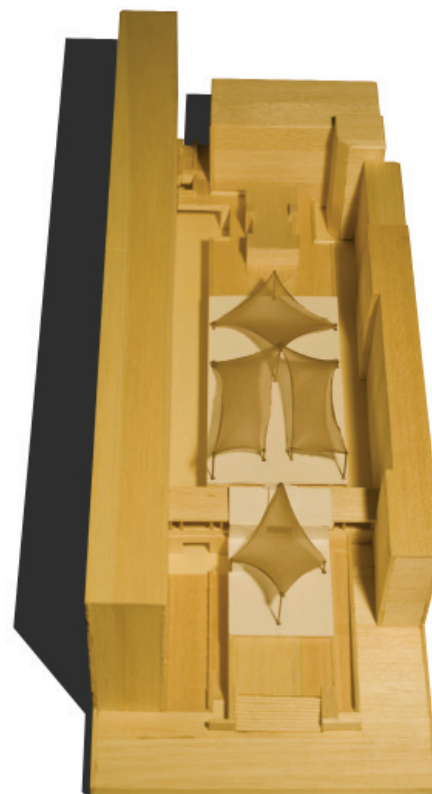


In alto a sinistra: Visualizzazione, tramite Formfinder, delle linee di livello del tessuto che costituisce la membrana sud, utile per comprendere dove il tessuto sia troppo piatto. \_\_\_ In alto a destra: Modello fisico dell'ipotesi Ib. \_\_\_ In basso: Vista ortogonale del modello fisico dell'ipotesi Ib.

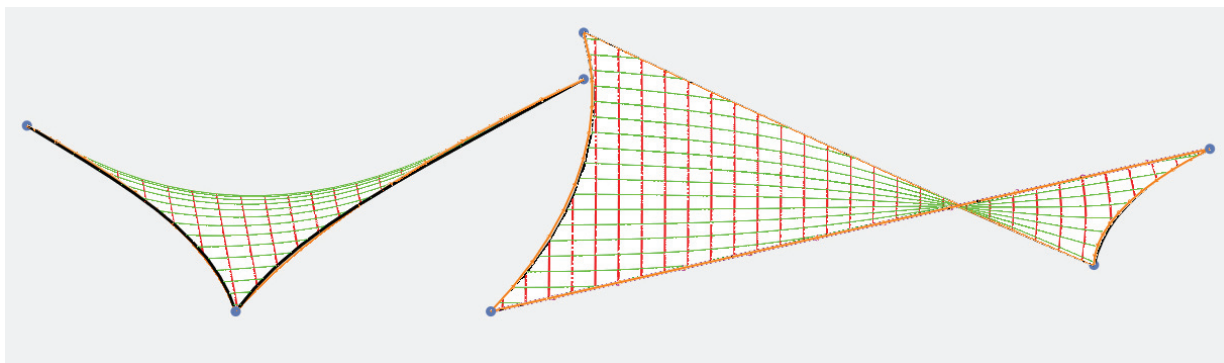


## IPOTESI II

L'opzione II è una soluzione meno articolata, composta da quattro membrane di forma semplice a hyperbolico. La disposizione delle coperture è longitudinalmente simmetrica alla piazza e si compone di tre membrane nella area nord delle quali due, poste adiacenti ai lati lunghi della piazza, sono di uguale forma e sono tra loro contrapposte, mentre una terza membrana è posizionata centralmente di fronte all'edificio bar. Nell'area sud, invece, è presente un'unica membrana che ricopre lo spazio di fronte all'accesso della passerella. L'elemento più rilevante di questa opzione è il pilastro centrale sopra il quale approdano le tre membrane dell'area nord. Questo, infatti, avrebbe dovuto raggiungere un'altezza superiore ai 7m. La membrana presente nell'area sud ha un punto fisso che si ancora sulla copertura della passerella riprendendo così il tema già affrontato nelle ipotesi precedenti di un collegamento formale tra le due piazze, ma il risultato è sicuramente meno convincente. Questa opzione è caratterizzata da una regolarità e semplicità delle forme che determinano un esiguo numero di punti di appoggio necessari alle tensostrutture. Ancora una volta, è possibile notare come siano presenti membrane dalla superficie allungata presso i lati lunghi della piazza, mentre è inedita la grande membrana che copre la zona centrale dell'area nord della piazza. Da questa ipotesi non è proseguito alcuno studio più approfondito.



**Sopra: Modello fisico dell'ipotesi II. — In basso: Vista frontale del modello virtuale delle membrane dell'area nord dell'ipotesi II.**

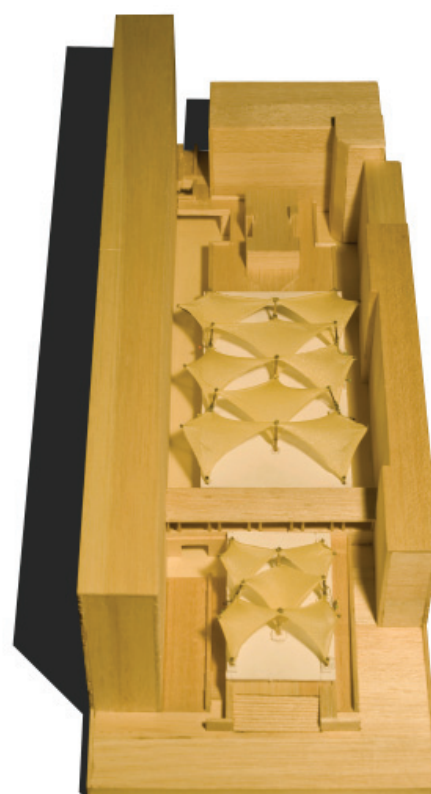


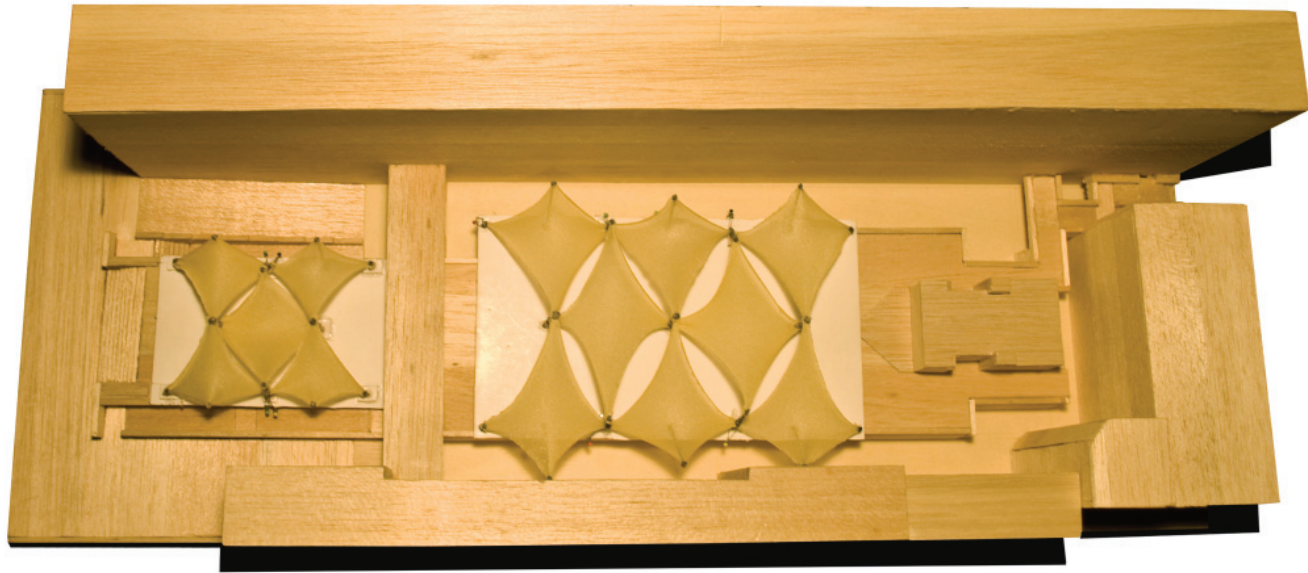
### IPOTESI III

Una disposizione di elementi simili per forma e alternati secondo uno schema regolare contraddistingue l'opzione III. Sono adoperate solo due tipologie di membrane. Entrambe hanno quattro punti di appoggio, due alti e due bassi, che ne determinano la tipica forma a hyperbolico. La prima tipologia di membrana si distende presso i bordi della piazza e si alterna ad un'altra tipologia che ricopre le zone centrali. La soluzione adottata per l'area sud non è molto convincente e si tratta meramente di una riproposizione dello schema dell'area nord con dimensioni più contenute. Difatti, non c'è traccia in questa opzione di quel tentativo di unione tra le due aree della piazza tramite un artificio formale che invece caratterizza le altre ipotesi. Il solo riproporre la stessa disposizione dell'area nord, composta però da membrane meno estese, non sembra essere sufficiente per creare una connessione. L'opzione prevedeva il collocamento lungo l'asse longitudinale della piazza di una serie di pilastri, sopra i quali sarebbero appodate alcune delle estremità delle membrane. Dei cavi di acciaio avrebbero invece ancorato i punti fissi rivolti verso gli edifici est e ovest alle loro facciate. L'ipotesi III ha un carattere più razionale rispetto alle prime due ipotesi, si distingue per una disposizione delle coperture più regolare, impiegando solo due tipologie di membrane, tende a coprire più superficie, ma proprio per questo motivo implica il posizionamento sulla piazza di una moltitudine di elementi strutturali.

Le prossime due ipotesi possono essere considerate come una ulteriore razionalizzazione dell'opzione III che hanno avuto come principale obiettivo quello di ricercare uno schema strutturale di sostegno per le coperture che fosse il più discreto e soddisfacente possibile. Questa circostanza ha comportato un cambio di prospettiva e l'abbandono della pista delle tensostrutture.

**Sopra: Modello fisico dell'ipotesi III.**





Sopra: Vista ortogonale del modello fisico dell'ipotesi III

#### NUOVO CORSO DELLA PROGETTAZIONE

Vi sono diversi motivi per i quali è stata presa la decisione di scartare l'idea di ricorrere a tensostrutture a membrana che ha contraddistinto le prime opzioni progettuali. Come verrà mostrato nella prosecuzione di questo paragrafo, una parte degli obiettivi della progettazione che si sono voluti perseguire si trovano in conflitto con alcune caratteristiche proprie di queste tipologie di strutture.

Un primo aspetto svantaggioso è relativo alla necessità di sistemare nell'area di progetto un buon numero di punti di ancoraggio degli estremi delle tensostrutture, siano questi punti alti, supportati quindi da pilastri, o punti bassi, fissati al terreno. Questo avrebbe portato alla presenza di un'eccessiva quantità di elementi strutturali come piloni, tiranti, cavi e sistemi di ancoraggio che avrebbero arrecato problemi sia a livello visivo, che a livello strutturale. Infatti, si sarebbe creata una selva di piloni e cavi, posti al livello della pavimentazione, che non avrebbero giovato alla fruibilità della piazza. Inoltre, costituendo la piazza una terrazza che svolge la funzione di copertura della sala lettura, sarebbe stato un problema statico il collocamento di carichi concentrati su questa superficie, considerando anche le particolarità della struttura portante che sorregge la soletta della piazza che varia tra l'area nord e l'area sud.

Le forme che definiscono la superficie anticlastica delle membrane delle tensostrutture possono, a volte, non essere efficaci al fine di riparare aree di dimensioni contenute a causa del loro particolare profilo irregolare costituito da bordi perimetrali curvi. Infatti, spesso, per garantire un assetto corretto alla membrana che permetta un normale deflusso delle acque meteoriche ed eviti una concentrazione eccessiva di neve, è necessario che la differenza di quota tra i punti fissi delle estremità adiacenti della membrana siano di grande entità. In questa maniera potrebbe capitare che la membrana sia posizionata troppo in alto in alcune punti e che i raggi solari possano penetrare all'interno di essa. Un'altra riflessione, relativa alla forma con la quale solitamente si configurano le tensostrutture, riguarda le modalità con le quali si inserirebbero all'interno del sito di progettazione. Tenendo conto che tutti i fabbricati presenti nell'area di progetto si distinguono per lineamenti architettonici regolari ed uniformi, le forme di una serie di tensostrutture, come quelle delle precedenti opzioni, sono in pieno contrasto con l'intorno. A nostro parere questo

aspetto non è del tutto negativo, forse contribuirebbe, facendo vibrare lo spazio circostante, a rivitalizzare un'area caratterizzata, al momento, da un'atmosfera grigia e monotona come gli edifici che su di essa sorgono. Ma crediamo, inoltre, che il progetto si risolverebbe così in un gesto enfatico che appagherebbe superficialmente i sensi, ma che in realtà celerebbe la mancanza di una progettazione seria che abbia come fine quello di fornire una risposta idonea a concrete esigenze da soddisfare.

Le strutture a membrana a doppia curvatura sono, nella maggior parte dei casi, delle strutture fisse e non trasformabili. Nel capitolo dei riferimenti progettuali abbiamo visto che vi sono degli esempi di coperture retrattili composte da membrane pretensionate. In tutte queste circostanze la superficie ricoperta è sempre di grande estensione, mentre i macchinari addetti al dispiegamento della membrana sono di dimensioni importanti e sono dotati di una certa complessità di funzionamento, poiché, oltre a far scorrere la membrana, la devono anche sottoporre alla giusta pretensione. È ovvio che strutture simili hanno senso solo se utilizzate per progetti di grandi coperture, ma è nostro proposto coprire solo determinate aree della piazza e non tutta la sua estensione.

Naturalmente il principio di trasformabilità è di fondamentale importanza per quanto riguarda il soddisfacimento, da parte del progetto, dei requisiti di adattabilità alle varie situazioni che possono occorrere durante l'arco di un anno e non vi si può rinunciare. Questo è vero soprattutto se si pensa a quanto è stato detto nel capitolo dell'area di progetto relativamente al differente impatto che ha il calore del sole nelle diverse stagioni. Inoltre, le coperture convertibili sono concepite in una maniera grazie alla quale la loro forma e disposizione può essere modificata ogni volta che ve ne sia bisogno, ed in un tempo relativamente breve. Hanno la capacità di risolvere problemi che non possono essere affrontati da coperture tradizionali, senza ingenti sforzi a livello tecnico e strutturale. Si pensi ad esempio come la struttura portante ed i materiali possano essere alleggeriti grazie alla possibilità di trascurare il carico dovuto dalla neve, quando la copertura ha la capacità di ritirarsi e posizionarsi al di sotto di un ambiente protetto. In definitiva, possiamo affermare che un sistema trasformabile è chiaramente più conveniente di uno fisso in tutti quei casi nei quali le condizioni climatiche possano variare da stagione a stagione, andando a determinare dei periodi durante i quali l'utilizzo della copertura stessa sarebbe superfluo se non addirittura rischioso, come nel caso di precipitazioni di carattere nevoso o in presenza di forte vento.

La scelta di abbandonare la strada delle tensostrutture a membrana non ha comportato la cancellazione delle tematiche e degli aspetti che erano stati sviluppati dalle prime opzioni progettuali. È stata anzi una antologia di tutte queste tematiche affrontate ad essere tradotta in una disposizione schematica delle coperture di ombreggiamento che ha dato inizio alla nuova fase di progettazione.

## IPOTESI IV

L'opzione IV è da considerarsi più come una schematizzazione delle principali idee progettuali che una struttura compiuta. Questa è costituita da sette tende di pianta rettangolare, delle quali cinque sono sospese sopra l'area nord e due sull'area sud. Le tende sono sorrette da cavi che si sviluppano trasversalmente alla piazza, distendendosi dalla facciata dell'edificio est alla facciata dell'edificio ovest. Grazie a questo semplice schema strutturale è possibile evitare l'inserimento di elementi strutturali che gravino sull'estradosso della soletta della sala lettura. In questa fase dello studio, la reale composizione delle tende è ancora incognita. Esse sono schematicamente rappresentate da strisce parallele di tessuto che si appendono alle loro estremità ai cavi portanti. Le tende avrebbero avuto la capacità di essere sganciate dai cavi permettendo la loro rimozione all'inizio della stagione invernale. Anche lo schema strutturale è un embrione che necessita un'ulteriore elaborazione. Infatti, oltre alle difficoltà che si potrebbero incontrare nel fornire il giusto equilibrio statico ad un simile struttura, si aggiunge il fatto che la posizione delle aperture presenti sulle facciate degli edifici est e ovest non corrispondono. Ciò costituisce un problema in quanto i cavi non avrebbero la possibilità di appodare esattamente nella mezzera dei pilastri degli edifici e, considerando che questi elementi sono solitamente sottoposti ad una forza di tensione di notevole entità, un carico concentrato troppo eccentrico potrebbe destabilizzare la struttura portante degli edifici sopra i quali i cavi si ancorano.

Nonostante le evidenti carenze a livello di progettazione, questa opzione fissa definitivamente la disposizione delle tende che rimarrà pressoché immutata fino all'assetto finale del progetto definitivo. Mentre altri aspetti, come la sospensione delle tende tramite un sistema di cavi e la procedura di rimozione delle coperture quando non necessarie, esigono uno studio più approfondito.



**Sopra: Modello fisico dell'ipotesi IV.**

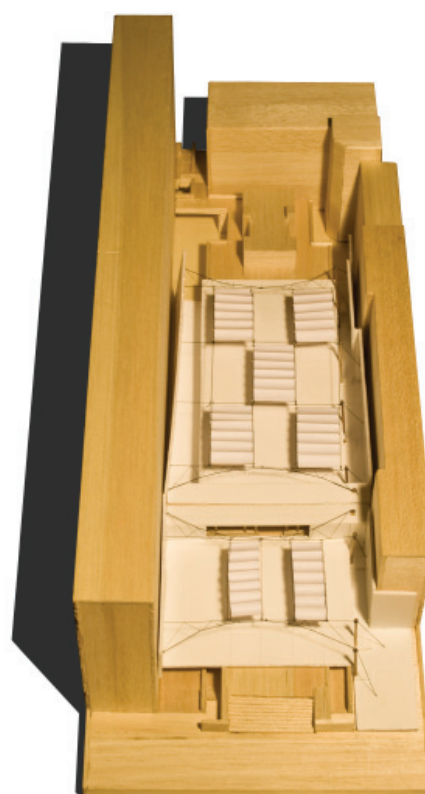
## IPOTESI V

Tramite questa opzione si è cercato di concretizzare le tematiche dell'ipotesi precedente. Il sistema strutturale che sorregge le tende è ben definito negli elementi che lo compongono. Sono sempre presenti cavi portanti che attraversano la piazza distendendosi dalla facciata dell'edificio ovest fino ad una serie di piloni antistanti l'edificio est. In questa maniera si è risolto il problema già accennato della divergenza dei prospetti dei due edifici. Ogni cavo trasversale posto agli estremi dello schema strutturale è collegato ad un tirante che ha la funzione di contrastare lo spanciamento del cavo verso le tende che sorregge. Le stesse tende hanno un grado di definizione maggiore rispetto alle precedenti. Queste sono composte da aste sopra le quali si adagia il tessuto che è caratterizzato da una configurazione ad onda. Tra i cavi trasversali si distendono dei cavi di dimensioni minori che reggono le tende. Affiancati a questi cavi vi sono dei cavi traenti ad anello che permettono di ripiegare le tende quando queste debbano essere rimosse.

Lo schema strutturale di questa opzione è sicuramente più valido di quello dell'opzione IV, ma risulta ancora incerto e troppo complicato. Inoltre, l'aspetto relativo alla dismissione delle coperture durante la stagione invernale non è molto convincente.

Di conseguenza, come ultimo passo verso il raggiungimento di una conformazione finale del progetto, si sono rese necessarie una semplificazione dello schema strutturale ed uno studio più approfondito di tutti quegli aspetti tecnologici che non risultano chiari relativamente al loro funzionamento e lineamento.

**Sopra: Modello fisico dell'ipotesi V. \_\_\_ In basso: Vista ortogonale del modello fisico dell'ipotesi V.**







In questo capitolo descriveremo gli aspetti generali del progetto finale, indicando quali siano gli elementi principali che lo costituiscono ed esponendo le scelte progettuali che si sono ritenute opportune perseguire.

La composizione del progetto riprende i tratti salienti delle ultime due opzioni progettuali, presentate nel Capitolo 3, e ne razionalizza i contenuti determinando una struttura valida e completa curata in modo approfondito per quanto concerne i suoi aspetti tecnologico strutturali.

Il progetto finale consiste in una struttura di cavi di acciaio che si estende su gran parte della superficie di piazza Gardella, la quale sorregge sette tende che hanno la capacità di ripiegarsi e ritirarsi sotto una nuova copertura soprastante l'esistente passerella. Ciò è reso possibile grazie a delle coppie di cavi che si sviluppano longitudinalmente alla piazza, in direzione nord-sud, e che fiancheggiano entrambi i lati lunghi di ciascuna tenda. Ogni coppia è composta da un cavo binario, che ha il compito di reggere il peso delle tende e di farle scorrere in fase di apertura e chiusura, e un cavo traente ad anello, messo in moto per mezzo di un sistema di pulegge azionato da un motore, il quale, tramite un collegamento con la bacchetta di testa di ogni singola tenda, traina queste lungo il cavo binario per raggiungere la posizione desiderata. In tutto sono presenti cinque sistemi guida per le tende, aventi la larghezza di circa 3.5 m, composti da due coppie di cavi ciascuno. Tre di questi sistemi sono posizionati nell'area nord, dove raggiungono l'estensione di quasi 30m. Gli altri due, lunghi meno della metà dei precedenti, si estendono al di sopra dell'area sud.

Come detto all'inizio del capitolo, gli elementi di oscuramento sono sette tende di pianta rettangolare, cinque delle quali si distendono lungo l'area nord, mentre altre due interessano l'area sud. Queste sono composte da una serie di bacchette, trasversali ai cavi guida, che reggono un tessuto caratterizzato da un drappeggio avente un tipico andamento ondulare. Il collegamento tra le tende e i cavi binario avviene alle due estremità di ogni singola bacchetta, mentre i cavi traenti sono collegati solamente all'estremità delle bacchette di testa. A seconda del numero degli span e delle caratteristiche del drappeggio del tessuto, si possono individuare tre tipologie di tende. Una prima tipologia di tenda è quella a 9 span con una superficie di 25.2 m<sup>2</sup>. Queste sono presenti nell'area nord ed operano al di sopra dei sistemi guida posizionati adiacenti ai lati lunghi della piazza. Una volta distese, le tende 9 span si posizionano alle due estremità, settentrionale e meridionale, del sistema guida. La conformazione del loro tessuto è caratterizzata da un maggiore spanciamento del drappeggio in direzione dei bordi della piazza che permette un migliore deflusso delle acque meteoriche. Questa caratteristica è comune alla seconda tipologia di tenda che si differenzia dalla prima solo per il fatto di avere 10 span ed una superficie di 28 m<sup>2</sup>. Sono presenti due tende con tali proprietà che coprono gran parte della superficie dell'area sud in prossimità della passerella, lasciando scoperto solo un piccolo spazio al centro, corrispondente alle strisce della pavimentazione in pietra bianca. Un'ultima tipologia è relativa alla tenda



In alto: Vista di piazza Gardella, con le tende in configurazione aperta, dalle finestre dell'ultimo piano dell'edificio ovest. \_\_\_\_ Pagina a fianco, in alto: Vista dell'area settentrionale della piazza dal basamento dell'edificio bar. Sono visibili le cinque tende che si distendono sulla sua superficie. \_\_\_\_ Pagina a fianco, in basso: Vista dell'area nord, con tutte le tende distese, dall'ingresso della passerella.



10 span che va a ricoprire il centro dell'area nord. Questa è caratterizzata da un andamento del tessuto particolare che consente il deflusso delle acque piovane sui lati lunghi della tenda. Complessivamente le sette tende coprono una superficie di 185 m<sup>2</sup>, pari al 23% della superficie della piazza.

Alle estremità dei sistemi guida delle tende, si dispongono degli elementi che garantiscono la stabilità e la funzionalità dell'intera struttura del progetto finale. L'estremo comune tra i cavi delle tende nord e sud è costituito da un reticolo di travi di acciaio sopra il quale approdano i cavi guida delle tende. Questo elemento si eleva dall'estradosso della copertura della passerella ed i suoi componenti principali sono le tre travi centrali, che si sviluppano trasversalmente alla piazza, sulle quali si agganciano i cavi binario e traenti dei sistemi guida e due cavi tiranti, elementi paralleli ai cavi guida dell'area sud, che svolgono un'importante azione di bilanciamento delle forze tra la struttura nord e quella sud. Le travi centrali sono appoggiate a quattro cavalletti composti da una trave e due pilastri, posti in corrispondenza delle coppie di colonne della passerella sottostante.

In basso: Vista dell'area nord, con le tende in configurazione chiusa, dalle finestre delle aule del piano primo dell'edificio ovest. \_\_\_\_ Pagina a fianco, in alto: Vista dell'area sud e delle sue due tende 10 span in configurazione aperta. \_\_\_\_ Pagina a fianco, in basso: Vista dell'area sud e della nuova copertura della passerella con le tende ripiegate.







In alto: Vista dell'area nord e delle tende sospese sulla sua superficie dalle finestre delle aule del piano primo dell'edificio ovest.

All'estremità dei cavalletti si appoggiano dei travetti, paralleli alla trave centrale, che hanno la funzione di sorreggere la nuova copertura in lamiera metallica che fornisce protezione sia al reticolo di travi di acciaio che alle tende, quando sono ripiegate e non in esercizio. Al di sopra della nuova copertura, sono installati dei pannelli fotovoltaici che forniscono l'energia necessaria ai motori elettrici per mettere in moto il cavo traente.

Gli estremi nord e sud del progetto sono costituiti da due strutture di cavi che hanno forma e meccanismo di funzionamento del tutto simile, ma dimensioni differenti determinate dalla differenza di passo dei pilastri che le sorreggono. Questi elementi, oltre a garantire l'equilibrio della struttura, agendo in contrapposizione al tiro dei cavi guida delle tende, garantiscono a quest'ultimi un approdo in un'area dove non vi sono elementi rigidi su cui ancorarsi. I due tiranti ricordano nella forma una trave di cavi di acciaio Jawerth che solitamente lavora sul piano verticale. Nel nostro caso, essendo i carichi da supportare quelli relativi ai cavi delle tende, lo schema della trave Jawerth è ribaltato sul piano orizzontale. Il tirante Jawerth è composto da tre tipologie di cavi. Quello lungo il quale approdano i cavi delle tende viene nominato cavo trasversale, poiché si estende perpendicolarmente alla piazza e ai cavi guida. Vi sono poi dei cavi di sezione più piccola, denominati cavetti Jawerth, che costituiscono un reticolo che assicura il cavo trasversale al cavo esterno, denominato cavo Jawerth, che è l'elemento preposto ad evitare che il cavo trasversale si spanci verso l'interno della struttura a causa delle forze dei cavi guida. Le estremità del cavo Jawerth sono poste ad una quota di livello inferiore rispetto a quella delle estremità del cavo trasversale che costituisce anche la quota sulla quale giacciono gli assi di tutti gli altri cavi, in configurazione indeformata ovviamente. I due tiranti risultano essere così inclinati di 5° rispetto all'asse del cavo trasversale. In questa maniera essi forniscono un irrigidimento lungo il piano verticale della struttura di cavi preposto a contrastare le azioni destabilizzanti generate dal vento. I due tiranti Jawerth si assicurano ad ovest sulla muratura dell'edificio ovest, mentre, ad est, una coppia di pilastri di acciaio regge ciascun tirante. A causa della differenza che esiste tra il livello di quota dello spazio compreso tra l'edificio della sala lettura e l'edificio est, a seconda che ci si trovi a nord o a sud della passerella, risulta che i pilastri hanno altezze differenti, poiché le loro estremità superiori sono su uno stesso piano, corrispondente al piano di giacitura dell'asse della maggior parte dei cavi componenti la struttura, mentre le loro basi si appoggiano su livelli differenti.

In questo paragrafo abbiamo descritto il progetto finale secondo i lineamenti generali che lo caratterizzano. Per una più approfondita comprensione dei subsistemi che lo compongono e del funzionamento delle sue parti si rimanda al Capitolo 6 ed alla sue relative tavole di progetto.







In alto: Vista dall'area sud della nuova copertura della passerella con le tende ricoverate all'interno. \_\_\_ In basso a destra: Vista dell'area sud da sotto la passerella. \_\_\_ In basso a sinistra: Vista dell'area nord da sotto la passerella. Si può notare lo sbalzo che copre l'entrata della sala lettura. \_\_\_ Pagina a fianco, in alto: Vista della nuova copertura della passerella dalle finestre del piano primo dell'edificio ovest. Tende configurazione chiusa. \_\_\_ Pagina a fianco, in alto: Medesima vista con le tende distese.

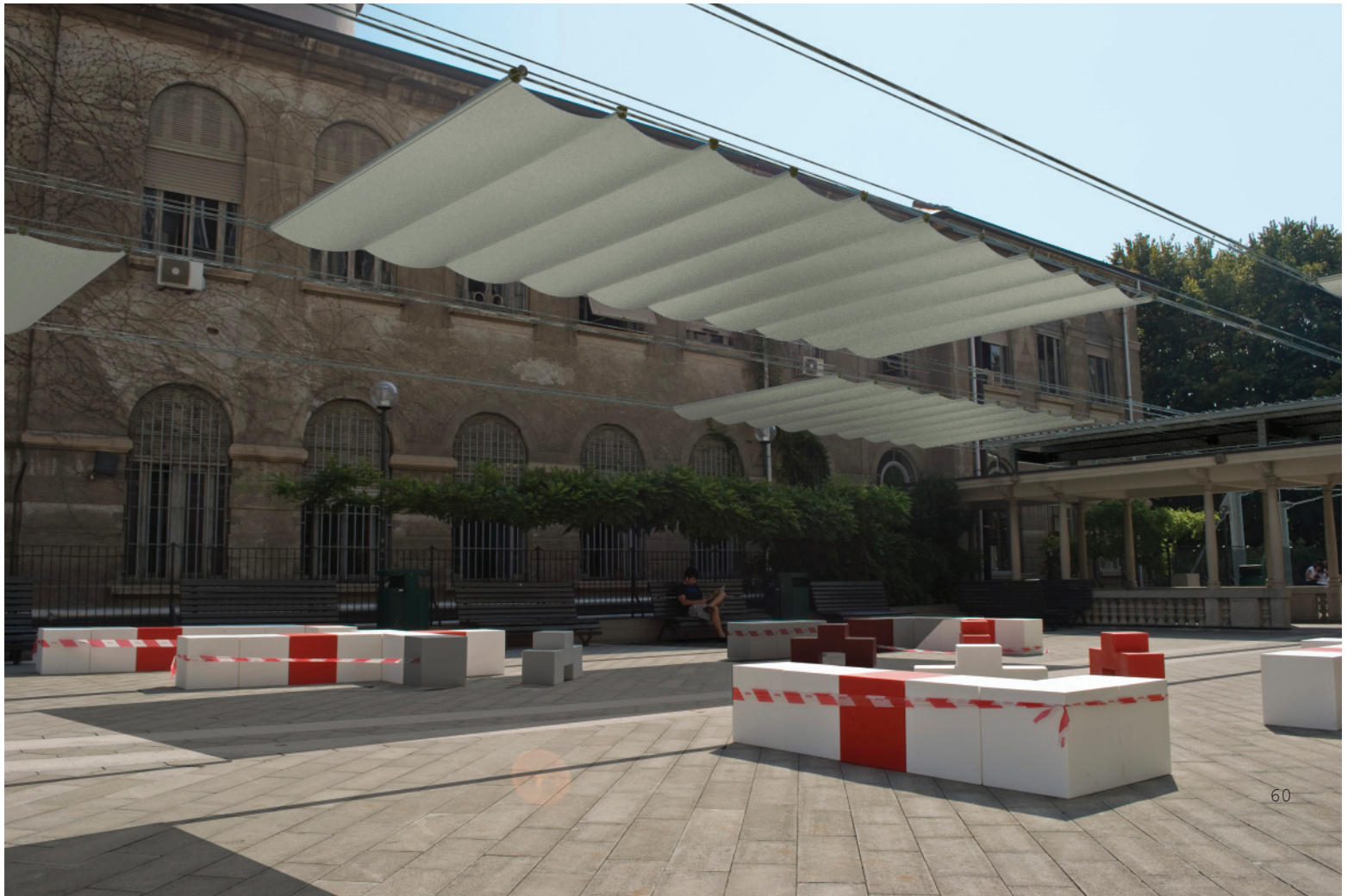


## SCELTE PROGETTUALI

Di seguito prendiamo in considerazione ed esaminiamo alcune tra le scelte progettuali più significative. La più importante tra queste è sicuramente la decisione di ideare una struttura capace di conformarsi alle esigenze determinate dal variare delle condizioni climatiche durante il susseguirsi delle stagioni. Questo obiettivo è stato perseguito tenendo in considerazione che la necessità di predisporre degli elementi di oscuramento su piazza Gardella può essere localizzata con il periodo che intercorre tra metà maggio e fine settembre. Quindi, per la maggior parte dell'anno, non sarebbero necessari dispositivi di oscuramento, ma anzi, durante la stagione invernale, le tende non avrebbero alcuna utilità e potrebbero persino innescare delle problematiche. Infatti, il calore dei raggi solari determinano un tepore positivo quando le temperature sono basse e conviene che vi sia la minor superficie in ombra possibile. Inoltre, le peggiori condizioni atmosferiche riscontrabili nella stagione invernale causerebbero non pochi problemi sia all'utilizzo che alla struttura delle tende.

È necessario ora parlare dello schema con il quale le tende si dispongono sulla superficie della piazza. Un obiettivo da sempre perseguito di questo progetto è stato quello di alternare aree coperte ed aree scoperte, in modo da far mantenere alla piazza i tratti di un luogo all'aperto anche quando le tende sono tutte distese. Inoltre, non è da escludere che una parte degli avventori di piazza Gardella voglia sostare di proposito in aree completamente esposte al sole. Gli elementi oscuranti sono posti ad un'altezza di circa 3.5 m dalla pavimentazione della piazza. Tale altezza risulta essere appropriata al fine di far giacere per la maggior parte della giornata le ombre proiettate dalle tende sulla superficie della piazza. Per quanto riguarda la disposizione in pianta, le sette tende sono collocate seguendo l'asse longitudinale della piazza nord-sud. Questa è una disposizione ottimale poiché oltre a seguire l'asse lungo il quale la piazza si estende maggiormente, coincide anche con la direzione di coloro che transitano per attraversarla. Le aree adiacenti ai lati lunghi della piazza sono quelle più opportune da coprire, considerando alcuni fattori. In primo luogo, coprendo le aree più esterne e lasciando libere quelle centrali, potrebbe suggerire agli studenti di posizionarsi con le sedute a ridosso dei bordi della piazza, lasciando così l'area centrale sgombra per il normale transito delle persone. Inoltre, posizionando le tende presso i lati lunghi della piazza, queste sarebbero coadiuvate nell'ombreggiamento dalle piante rampicanti che stanno crescendo ai margini della piazza. Si creerebbe così un bel connubio tra il nuovo progetto e l'esistente, immaginandosi anche il risultato finale che si potrebbe raggiungere una volta che le piante rampicanti saranno cresciute, rendendo verdi i lati lunghi della piazza.

L'unica tenda posta in posizione centrale, ovvero quella da 10 span nell'area nord, è posizionata ad una buona distanza rispetto all'entrata su piazza Gardella del lato nord e dalla passerella e anche nel caso in cui molte persone sostassero al di sotto di questa non darebbero alcun fastidio, poiché la tenda è lontana dalle zone di maggior transito. L'inserimento di una tenda centrale ha come effetto l'equilibrio della composizione del progetto fornendo un ulteriore





In alto a sinistra: Vista del corridoio est e dei pilastri nord dalla fioriera adiacente alla passerella. \_\_\_ In alto a destra: Vista del corridoio est e dei pilastri nord. \_\_\_ In basso: Vista della piazza dal livello della sala lettura e del ristorante. \_\_\_ Pagina precedente, in alto: Vista della tenda 10 span centrale dell'area nord. \_\_\_ Pagina precedente, in basso: Vista delle tende 10 span centrale e 9 span dell'area nord.



spazio coperto al centro dell'area nord, fiancheggiato dalle due uniche aree scoperte poste presso bordi della piazza. Essendo questa l'unica tenda presente sul proprio sistema di guida e collocandosi in zona centrale, riesce perfettamente ad ombreggiare la sua fascia di competenza durante tutto il giorno. Infatti, la sua ombra si proietta verso i bordi della piazza nel mattino e nel pomeriggio ed è coadiuvata dall'ombra generata dagli edifici est ed ovest.

Nell'area nord le coperture sono sospese da una distanza di 2 m dal basamento dell'edificio bar fino a 2.5m dalla pensilina. Questa distanza è equivalente a quella coperta dall'ombra proiettata dalla pensilina sulla piazza che oggigiorno determina una delle aree della piazza più riparate dal sole. Mentre la distanza dai punti di ingresso a nord sembra ragionevole per evitare l'affollamento di sedute e avventori vicino all'edificio bar, che comporterebbe fastidi alle persone che giungono sulla piazza da via Bonardi o dalla scala nord.

Un altro presupposto del progetto è stato quello di evitare qualsiasi posizionamento di elementi strutturali sopra la superficie della piazza, lasciando sospese le tende su di essa, perseguendo anche l'obiettivo di far risultare l'intervento il più leggero possibile, andandolo ad inserire all'interno dell'area di progetto senza forzature. In questa maniera, oltre ad evitare di caricare la soletta della sala lettura con dei nuovi carichi ed intaccare anche la pavimentazione, che ha un certo pregio come abbiamo visto precedentemente, non vi sarebbe sull'intera superficie della piazza alcun elemento di disturbo che possa compromettere una visione unitaria dell'area. Escludendo la copertura in lamiera metallica posizionata sopra la passerella, gli unici elementi di un certo ingombro sono i quattro pilastri di acciaio del fronte est. Questi elementi risultano necessari, in quanto c'è una mancanza di concordanza tra i prospetti degli edifici est e ovest. Dovendo distendere dei cavi in direzione trasversale alla piazza, caratterizzati da una notevole forza di tensione interna, è doveroso ancorare questi elementi in maniera tale da far collaborare più materiale possibile della sezione del pilastro dell'edificio in muratura, al fine di contrastare il tiro del cavo. Per questa ragione, è stato previsto l'inserimento dei quattro pilastri del fronte ovest. Questi hanno cavi bilanciatori che si scaricano a terra nell'area sud, mentre si ancorano all'edificio est, nell'area nord. A sud i pilastri si ancorano a terra, a nord questi elementi hanno le fondazioni poste a livello -2.32 m, in corrispondenza del corridoio impianti che fianeggia l'edificio est, poiché solamente a questa quota si incontra uno strato resistente capace di sostenere il carico trasmesso dal pilastro. Pur essendo degli elementi tubolari in acciaio con una sezione dal diametro di oltre 35 cm, questi elementi non sono chiaramente percepibili dalla superficie della piazza, poiché, come abbiamo visto, si elevano dalle quote dei corridoi est e dalla piazza è possibile vedere solamente le loro cime, tra l'altro nascoste dalle piante rampicanti e dai parapetti.

La struttura dei cavi è dotata di grande leggerezza sia perché le sezioni dei cavi sono di dimensioni contenute, sia perché questa ha un aspetto ordinato con elementi riconoscibili come i sistemi guida ed i tiranti Jawerth. Questi sono certamente gli elementi di spicco della struttura di cavi sia per il ruolo che ricoprono per l'equilibrio della struttura, sia per la loro singolare

conformazione. La forma dei due tiranti, che non è dettata a priori, è apprezzabile poichè è diretta conseguenza della funzione strutturale che è stata loro assegnata. Questi elementi costituiscono una sorta di porta di ingresso alla piazza per le persone che arrivano da sud o da nord.

L'elemento più importante di tutta la struttura è la nuova copertura della passerella che costituisce il fulcro attorno al quale gravita il progetto. Questa si estende per 14 m e aggetta in larghezza di 35 cm oltre la copertura originale. Essa svolge due importanti compiti, determinanti per il funzionamento dell'intera struttura. La copertura, grazie al suo reticolo di travi di acciaio, fornisce un punto di appoggio fondamentale per la struttura, poiché è lungo le travi centrali del reticolo che i cavi delle tende nord e sud si incontrano. Allo stesso tempo, la nuova copertura provvede alla protezione delle tende, nei periodi quando queste sono ripiegate. Alle sue già importanti caratteristiche, si aggiungono i pannelli solari che permettono un funzionamento autonomo dell'intero sistema di apertura e chiusura delle tende. È interessante notare come la nuova copertura fornisca una soluzione finale al tentativo di trovare un'unione tra l'area nord e l'area sud, idea progettuale perseguita anche dalle prime ipotesi presentate nello scorso capitolo. Ma le idee precedenti si risolvono tutte unicamente in un artificio formale. Invece, l'unione definita dalla nuova copertura si risolve non solamente a livello formale, ma va oltre la forma ed è determinata dalla vera funzionalità dell'intera struttura.

È nostra convinzione che la nuova struttura non abbia altro effetto che quello di arricchire e rendere più attraente un'area del Politecnico che già oggi gode di una indiscutibile considerazione tra gli studenti dell'Università, nonostante le varie problematiche presenti. Il nostro progetto risolve gli aspetti che non concorrono a migliorare la fruibilità del luogo e valorizza le proprietà migliori che caratterizzano l'area di progetto. Inoltre, la nuova struttura rappresenterebbe un elemento di pregio all'interno del Campus Universitario il quale, fino ad oggi, non presenta uno spazio caratterizzato da qualche singolarità che lo elevi a punto di riferimento per tutti gli studenti del Politecnico.

Pagina a fianco, in alto: Vista della tenda 9 span dell'area nord e del collegamento del tirante Jawerth alla muratura dell'edificio ovest — Pagina a fianco, in basso: Vista dall'entrata di via Bonardi dell'area nord con le tende in configurazione chiusa.





In alto: Vista dell'area nord dall'angolo sud-est adiacente il colonnato della passerella.

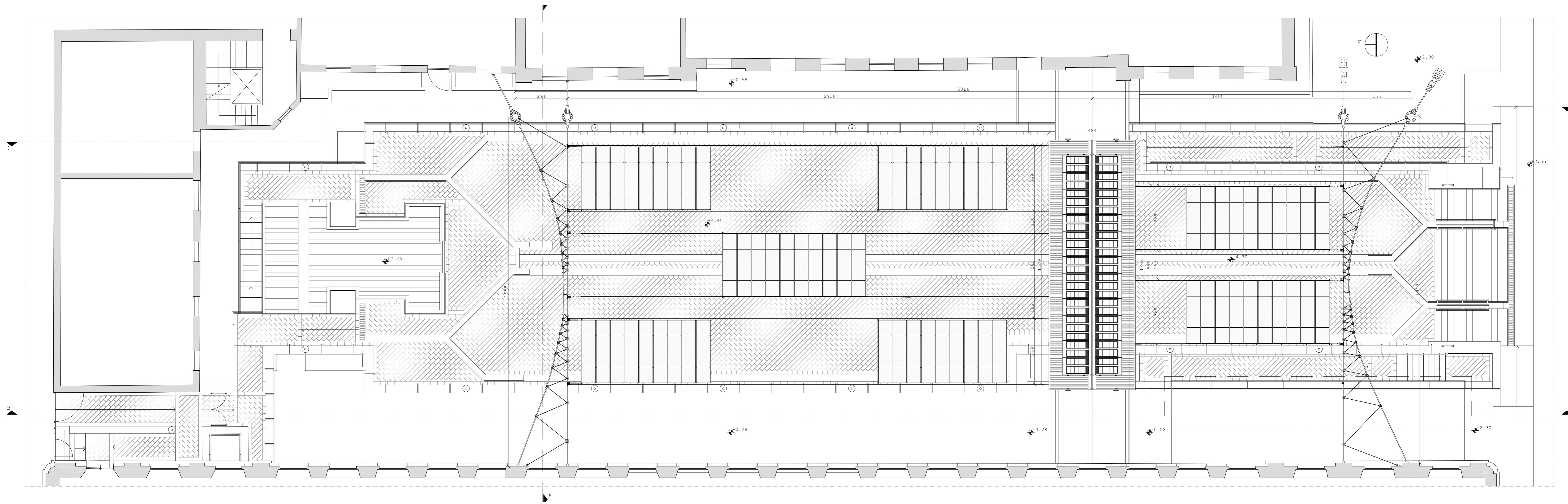


# TAVOLE

## CAPITOLO 4

- Tavola 4.0: Progetto finale\_Pianta configurazione tende aperte scala 1:100
- Tavola 4.1: Progetto finale\_Prospetto sud configurazione tende aperte scala 1:100
- Tavola 4.2: Progetto finale\_Sezione A-A configurazione tende aperte scala 1:100
- Tavola 4.3: Progetto finale\_Sezione B-B configurazione tende aperte scala 1:100
- Tavola 4.4: Progetto finale\_Sezione C-C configurazione tende aperte scala 1:100
- Tavola 4.5: Progetto finale\_Pianta configurazione tende chiuse scala 1:100
- Tavola 4.6: Progetto finale\_Prospetto sud configurazione tende chiuse scala 1:100
- Tavola 4.7: Progetto finale\_Sezione A-A configurazione tende chiuse scala 1:100
- Tavola 4.8: Progetto finale\_Sezione D-D configurazione tende chiuse scala 1:100





**POLITECNICO DI MILANO**  
 Facoltà di Architettura  
 e Società  
 Corso di Laurea Specialistica  
 TS6  
 A.A. 2009/2010

**Un Velarium al  
 Politecnico**  
 Progetto di un sistema  
 di ombreggiamento retrattile  
 per piazza Gardella

Studente:  
 Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
 Matricola: 709095

Relatrice:  
 Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
 Ing. Paolo Beccarelli

**PROGETTO  
 FINALE**  
 PIANTA  
 CONFIGURAZIONE  
 TENDE APERTE  
 SCALA 1:100

TAVOLA

**4.0**



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

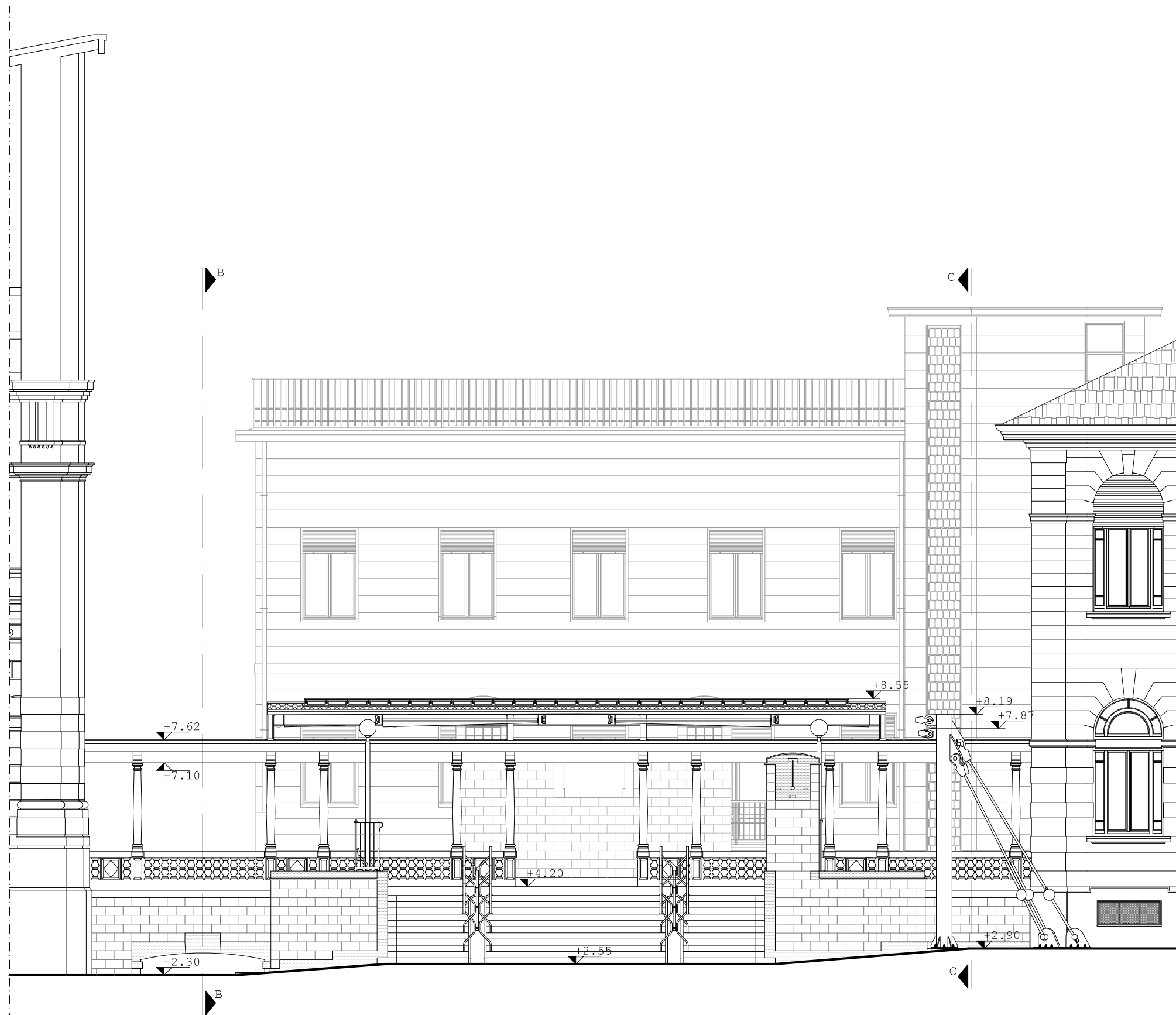
### PROGETTO FINALE

PROSPETTO SUD  
CONFIGURAZIONE  
TENDE APERTE

SCALA 1:100

TAVOLA

# 4.1





POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

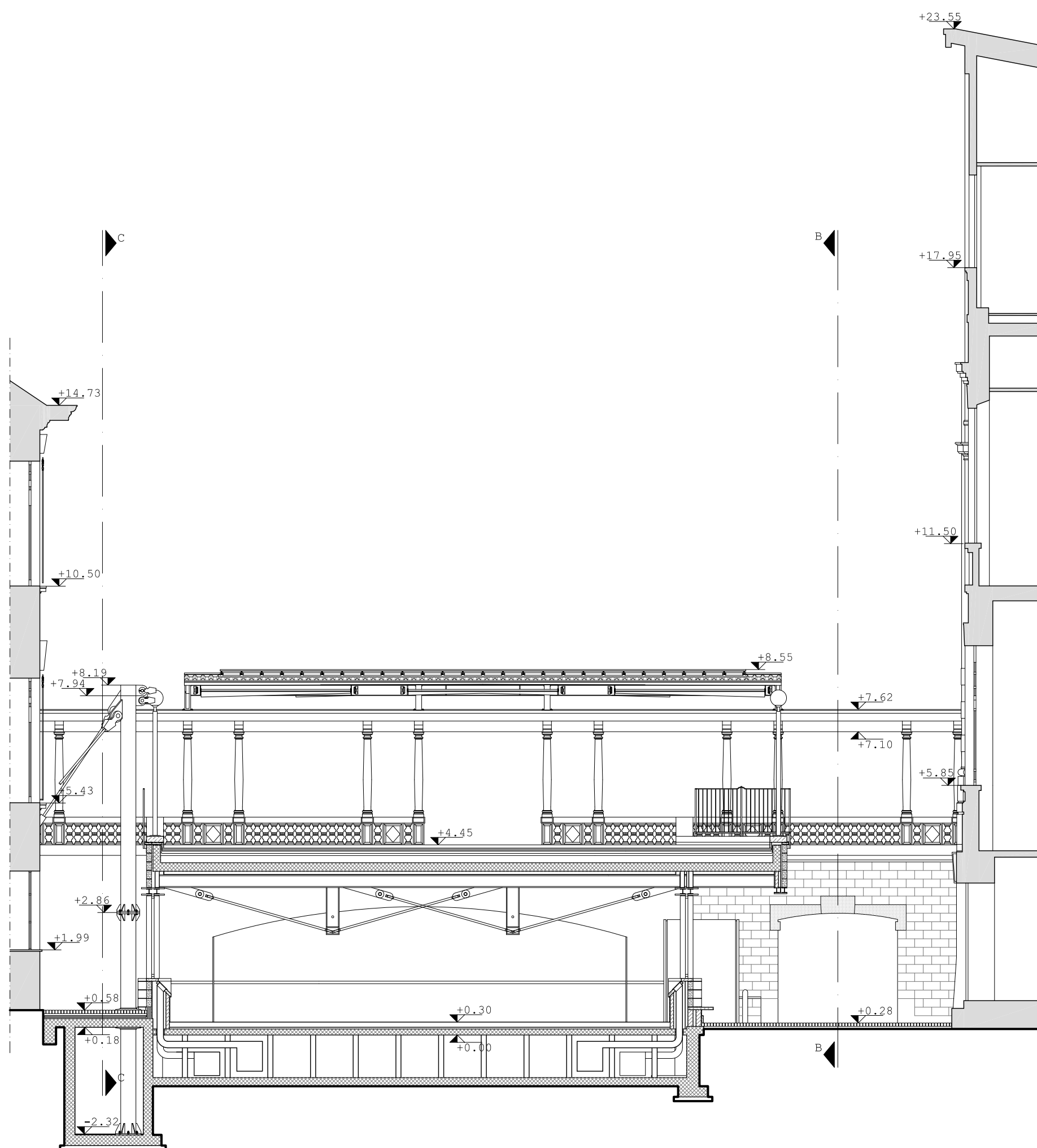
### PROGETTO FINALE

SEZIONE A-A  
CONFIGURAZIONE  
TENDE APERTE

SCALA 1:100

TAVOLA

# 4.2





**POLITECNICO DI MILANO**  
 Facoltà di Architettura  
 e Società  
 Corso di Laurea Specialistica  
 TS6  
 A.A. 2009/2010

**Un Velarium al  
 Politecnico**

Progetto di un sistema  
 di ombreggiamento retrattile  
 per piazza Gardella

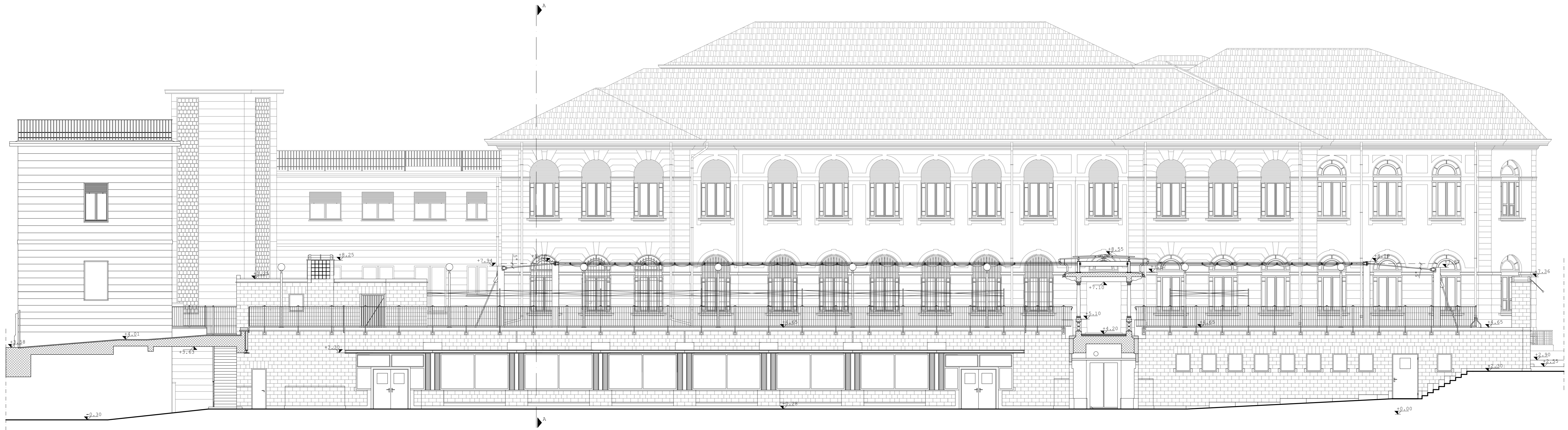
Studente:  
 Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
 Matricola: 709095

Relatrice:  
 Prof.ssa Alessandra Zanelli  
 Correlatore:  
 Ing. Paolo Beccarelli

**PROGETTO  
 FINALE**  
 SEZIONE B-B  
 CONFIGURAZIONE  
 TENDE APERTE  
 SCALA 1:100

TAVOLA

**4.3**





**POLITECNICO DI MILANO**  
 Facoltà di Architettura  
 e Società  
 Corso di Laurea Specialistica  
 TS6  
 A.A. 2009/2010

**Un Velarium al  
 Politecnico**

Progetto di un sistema  
 di ombreggiamento retrattile  
 per piazza Gardella

Studente:  
 Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
 Matricola: 709095

Relatrice:  
 Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
 Ing. Paolo Beccarelli

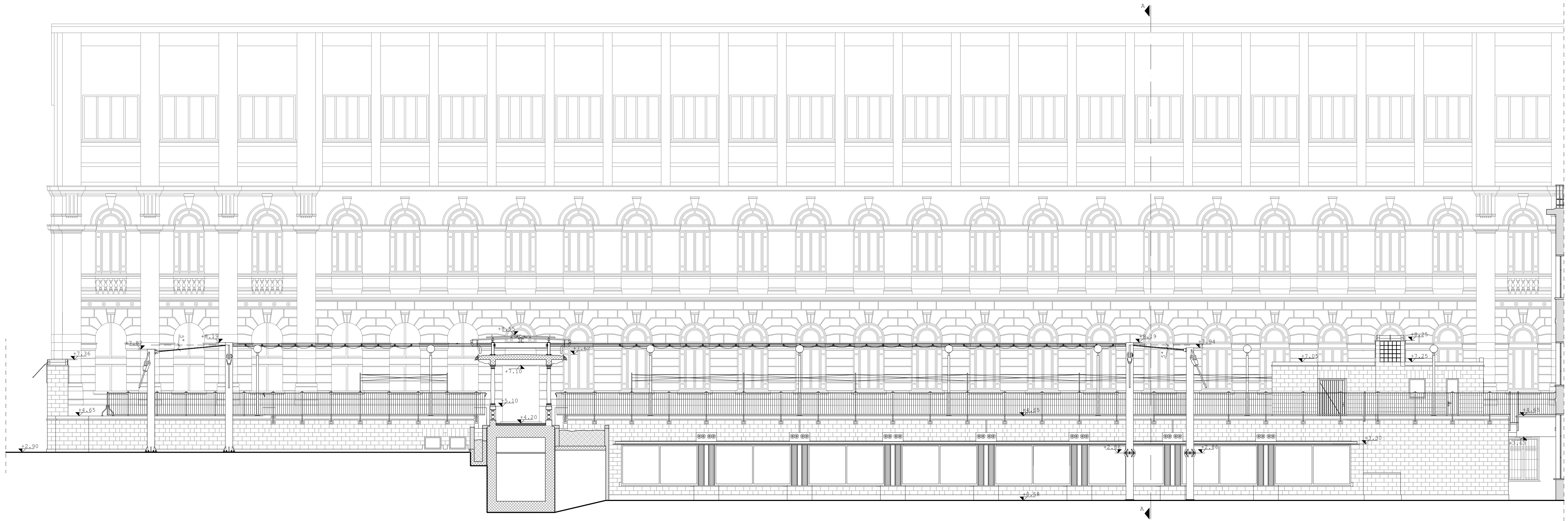
**PROGETTO  
 FINALE**

SEZIONE C-C  
 CONFIGURAZIONE  
 TENDE APERTE

SCALA 1:100

TAVOLA

**4.4**





**POLITECNICO DI MILANO**  
 Facoltà di Architettura  
 e Società  
 Corso di Laurea Specialistica  
 TS6  
 A.A. 2009/2010

**Un Velarium al  
 Politecnico**  
 Progetto di un sistema  
 di ombreggiamento retrattile  
 per piazza Gardella

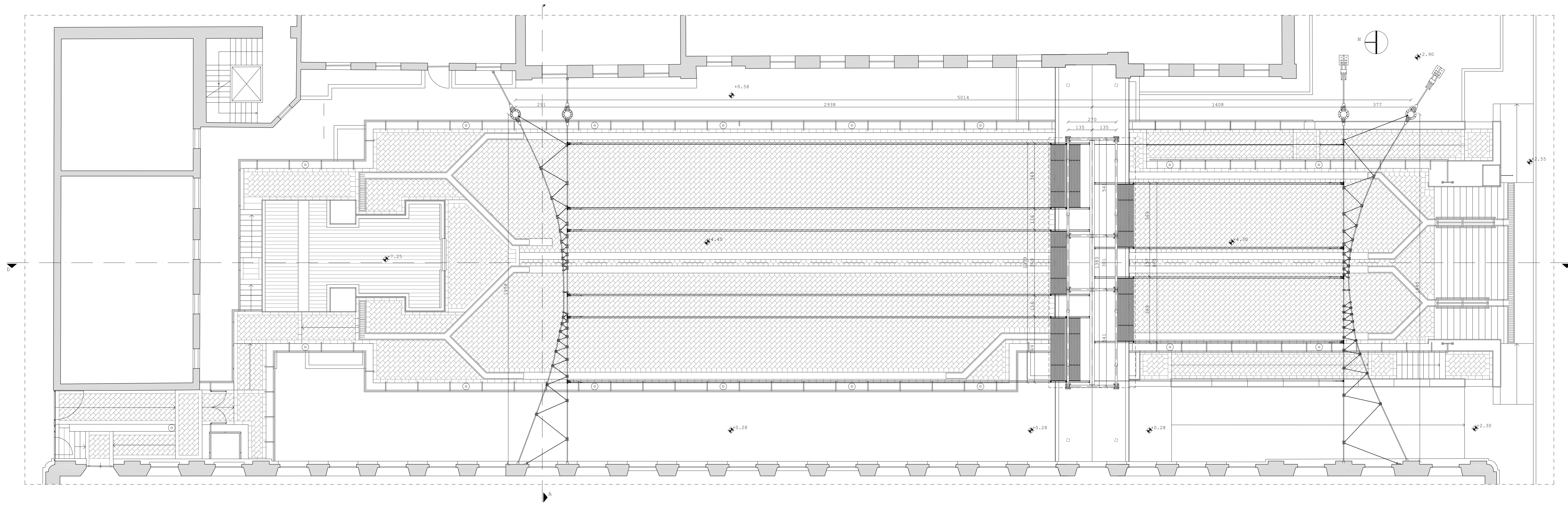
Studente:  
 Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
 Matricola: 709095

Relatrice:  
 Prof.ssa Alessandra Zanelli  
 Correlatore:  
 Ing. Paolo Beccarelli

**PROGETTO  
 FINALE**  
 PIANTA  
 CONFIGURAZIONE  
 TENDE CHIUSE  
 SCALA 1:100

TAVOLA

**4.5**







POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

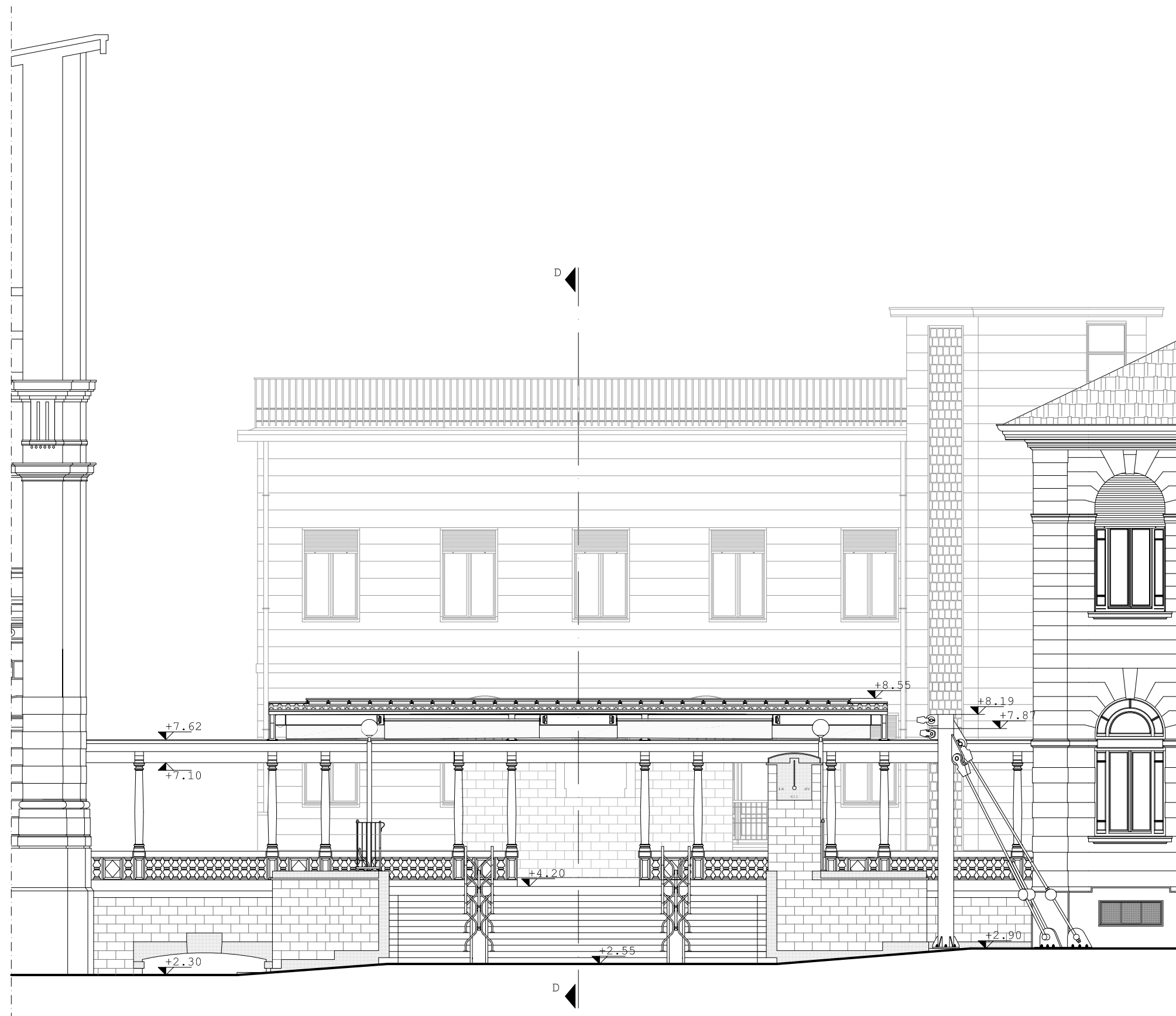
### PROGETTO FINALE

PROSPETTO SUD  
CONFIGURAZIONE  
TENDE CHIUSE

SCALA 1:100

TAVOLA

# 4.6





POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

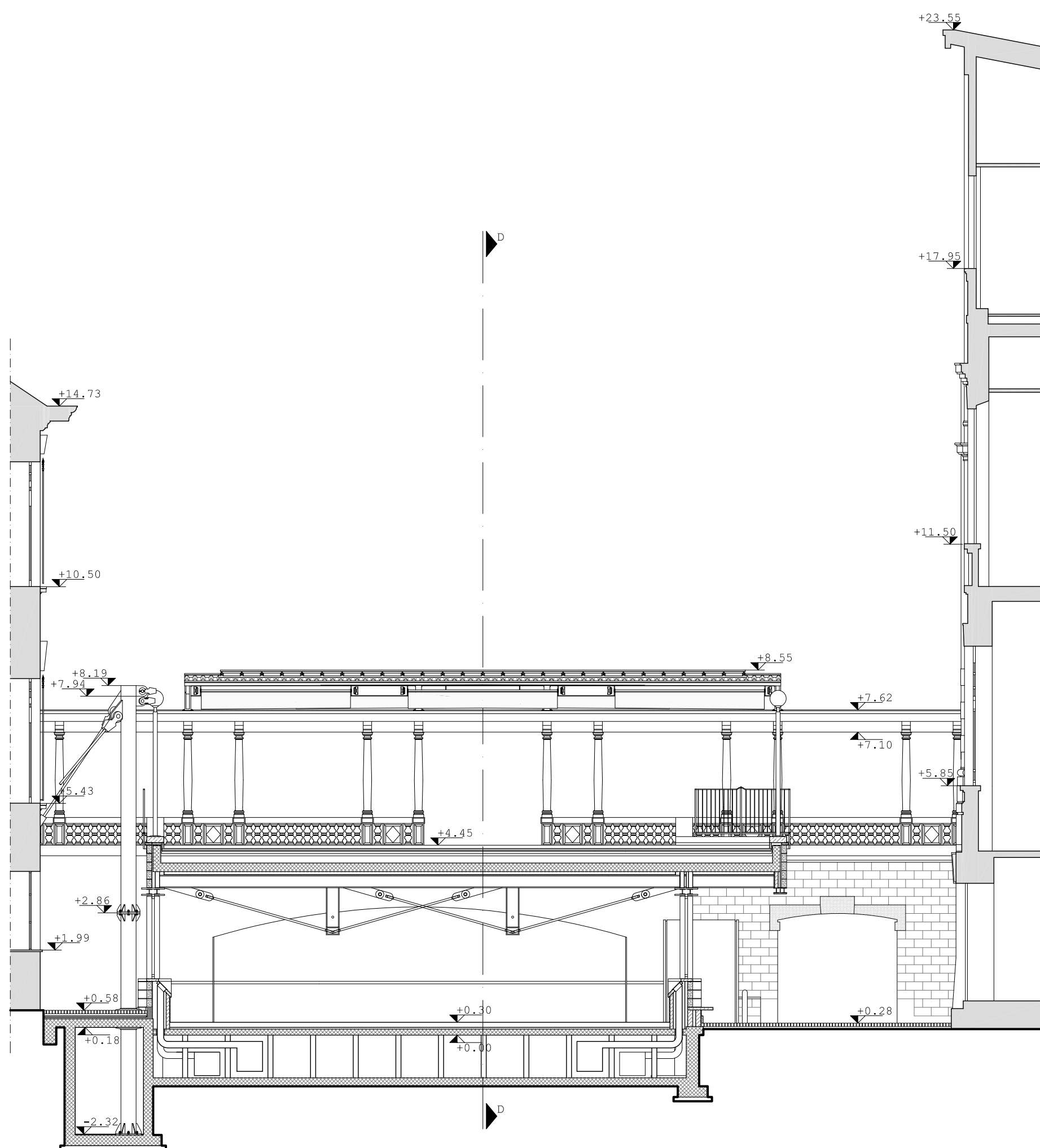
### PROGETTO FINALE

SEZIONE A-A  
CONFIGURAZIONE  
TENDE CHIUSE

SCALA 1:100

TAVOLA

# 4.7





**POLITECNICO DI MILANO**  
 Facoltà di Architettura  
 e Società  
 Corso di Laurea Specialistica  
 TS6  
 A.A. 2009/2010

**Un Velarium al Politecnico**

Progetto di un sistema  
 di ombreggiamento retrattile  
 per piazza Gardella

Studente:  
 Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
 Matricola: 709095

Relatrice:  
 Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
 Ing. Paolo Beccarelli

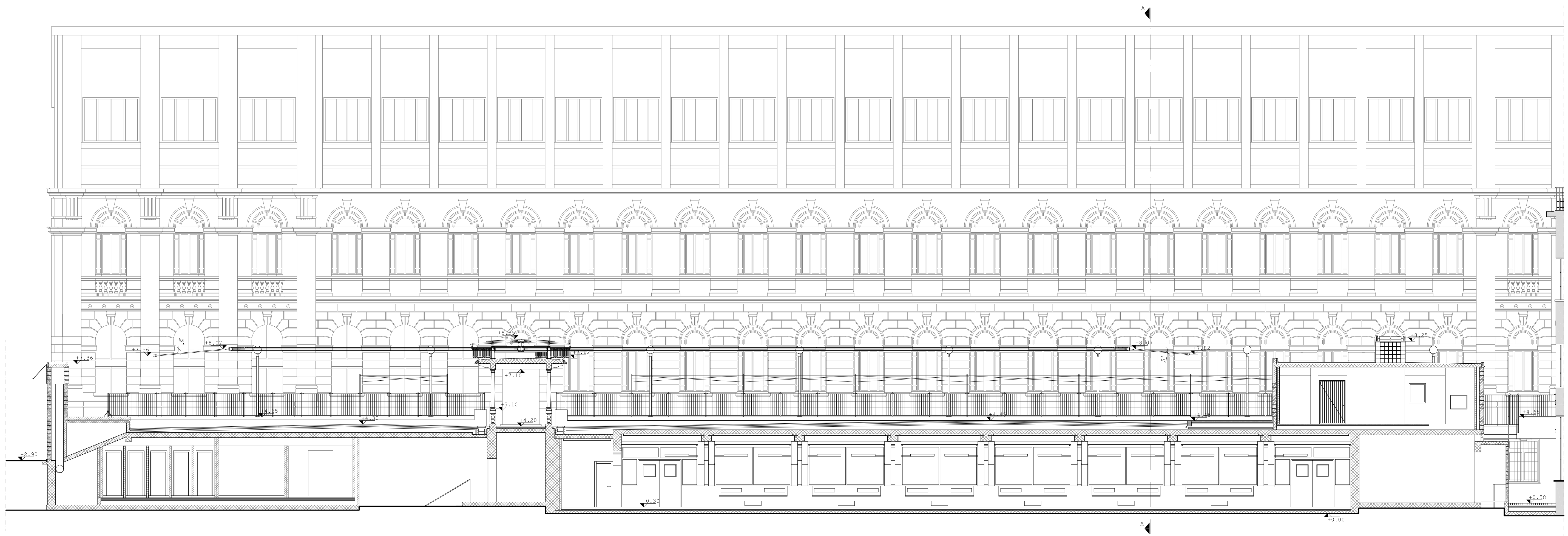
**PROGETTO FINALE**

SEZIONE D-D  
 CONFIGURAZIONE  
 TENDE CHIUSE

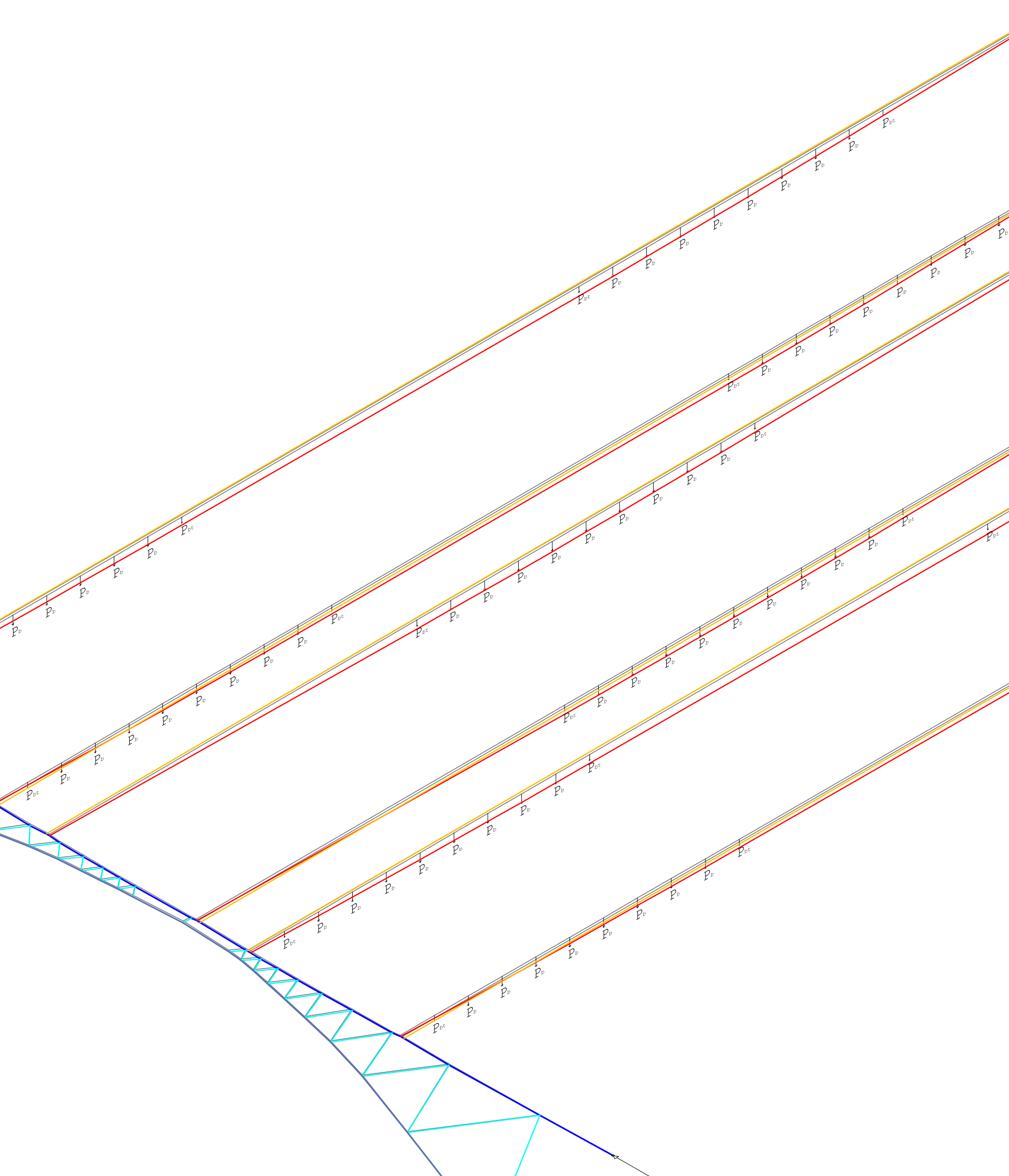
SCALA 1:100

TAVOLA

**4.8**







Date le singolari specifiche del progetto di questa tesi, la fase di calcolo e verifica degli elementi, che formano la struttura, è stata di fondamentale importanza, poiché ha avuto come esito il riscontro

della validità di ogni componente che contribuisce al funzionamento dell'intero sistema. Senza i valori ottenuti grazie alle operazioni di calcolo, ogni discorso relativo alla struttura ed al dimensionamento dei suoi elementi costituenti sarebbe stato vano e privo di fondamenta solide.

Nei paragrafi a seguire, sono esposti i calcoli relativi ai subsistemi tramite i quali è possibile suddividere la struttura. Naturalmente, l'ordine con il quale sono esposti i calcoli rispecchia il reale susseguirsi delle operazioni di calcolo svolte in fase di progettazione.

Al fine di sviluppare in maniera appropriata queste operazioni, è stato utile consultare le normative esistenti in materia di calcolo strutturale di strutture temporanee e trasformabili. In particolare ci riferiamo alla UNI EN 13782:2006 "Temporary structures, tents safety", che a livello Europeo norma la progettazione di tende composte da materiali leggeri che hanno la possibilità di cambiare la propria configurazione o di essere smontate e rimontate in luoghi diversi. Questa norma precisa che il valore della resistenza dei materiali degli elementi che fanno parte di queste tipologie di strutture è dato dalla seguente equazione:

$$f_d = f_k / \gamma_m$$

Un'altra norma che è stata esaminata è la UNI EN 12385-10:2005 "Funi di acciaio, sicurezza", dove sono fornite indicazioni riguardanti l'utilizzo di funi spiroidali di acciaio per usi strutturali. Il DM 160196 "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" e le prime quattro parti dell'Eurocodice 1 "Azioni sulle strutture" sono stati utili per quanto concerne la progettazione del reticolo di travi di acciaio e della soprastante copertura.

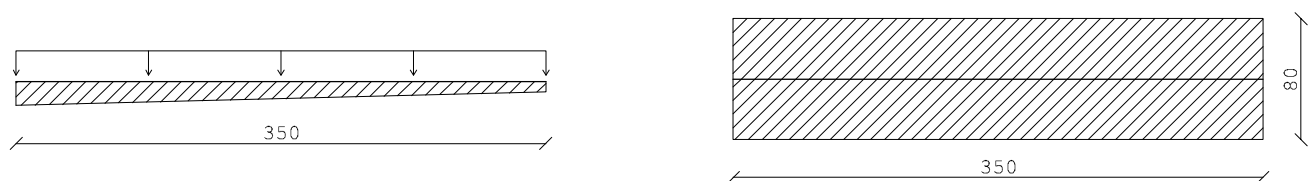
Durante la fase di calcolo della struttura, sono stati adoperati due software computazionali. Il primo è Forten 3000, programma specializzato nel calcolo di tensostrutture, capace di eseguire analisi non lineari, che è stato quindi utilizzato per il calcolo della struttura dei cavi che reggono le tende. Il secondo è SAP 2000, software di calcolo largamente utilizzato per il calcolo di strutture più consuete, con il quale è stato possibile verificare la trave HEA centrale sopra la quale approdano sia i cavi binario, che i traenti.

I valori frutto delle operazioni di calcolo hanno permesso, infine, il dimensionamento degli elementi componenti la struttura.

## CALCOLO BACCHETTA TENDA

Le bacchette delle tende sono gli elementi che reggono il drappeggio del tessuto. Queste sono costituite da profilati tubolari in acciaio ai quali vengono applicate alle estremità le piastre circolari sopra le quali sono montate le rotelle che permettono lo scorrimento delle tende sui cavi binario. La norma UNI EN 13782:2006 indica che la stabilità di questi elementi deve essere verificata tramite un carico verticale uniformemente distribuito convenzionale del valore di 0.1 kN/m<sup>2</sup>. A questo carico si aggiunge il peso del tessuto ed il peso proprio del profilato di acciaio. Sempre la normativa suggerisce che il carico da neve può essere escluso dai calcoli per tende che: a) operano in un periodo dell'anno durante il quale la probabilità di una precipitazione nevosa sia altamente improbabile; b) quando, grazie alle caratteristiche di progetto, il deposito di neve sulle tende può essere evitato. Il nostro progetto, avendo la possibilità di ricoverare le tende al di sotto di una copertura, in caso di condizioni climatiche avverse o non consone al loro utilizzo, soddisfa entrambi i precedenti requisiti. Per la stessa ragione, anche il carico orizzontale causato dal vento non è stato preso in considerazione.

**Sotto: Schemi, in alzato ed in pianta, per il calcolo bacchetta tenda.**



---

### DATI

Materiale acciaio Fe 360

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2 \quad f_k = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_m = 1.1$$

$$f_d = f_k / \gamma_m \quad \text{---->} \quad f_d = 235 / 1.1 \quad \text{---->} \quad f_d = 213.6 \text{ N/mm}^2$$

Lunghezza bacchetta:  $L = 350 \text{ cm}$

Quantità tessuto gravante:  $T_x = 3.42 \text{ m}^2$

Carico permanente:  $g = 0.1 \text{ kN/m}^2$

Peso tessuto *Preconstraint 502 S2*:  $p_{Tx} = 0.0058 \text{ kN/m}^2$

$$\text{Carico tessuto metro lineare: } P_{Tx} = (p_{Tx} \times T_x) / L \quad \text{---->} \quad P_{Tx} = (0.0058 \times 3.42) / 3.5$$

$$P_{Tx} = 0.00567 \text{ KN}$$

Carico permanente totale metro lineare:  $G = (g \times 0.8) + P_{Tx}$  ---->  $G = (0.1 \times 0.8) + 0.00567$

$$G = 0.08567 \text{ kN}$$

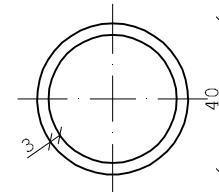
**SOLUZIONE**

$$I_{\min} = \frac{5 \times 200}{384} \times \frac{G \times L^3}{E} \text{ ----> } I_{\min} = \frac{5 \times 200}{384} \times \frac{0.08567 \times 35^3 \times 10^6}{21 \times 10^4} \text{ ----> } I_{\min} = 4.5 \text{ cm}^4$$

$$W_{\min} = \frac{1.5 \times G \times L^2}{8 \times f_d} \text{ ----> } W_{\min} = \frac{1.5 \times 0.08567 \times 35^2 \times 10^4}{8 \times 213.6} \text{ ----> } W_{\min} = 0.92 \text{ cm}^3$$

**SELEZIONE PROFILO**

Gamma profilato tubolare a freddo - tondo												
DIAMETRO ESTERNO SPECIFICO	SPESORE SPECIFICO	MASSA LINEARE	AREA DELLA SEZIONE TRASVERSALE	MOMENTO D'INERZIA	RAGGIO DI INERZIA	MODULO D'ELASTICITÀ	MODULO DI PLASTICITÀ	MODULO D'INERZIA DI TORSIONE	MODULO DI TORSIONE	SUPERFICIE LATERALE PER UNITÀ DI LUNGHEZZA	LUNGHEZZA NOMINALE PER TONNELLATA	AREA SUPERFICIE ESTERNA PER METRO
D	T	M	A	I	i	$W_{el}$	$W_{pl}$	$I_t$	$C_t$	$A_s$	m	$A_{se}$
mm	mm	kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m		m <sup>2</sup>
40	3	2,74	3,49	6,01	1,31	3,00	4,12	12,0	6,01	0,126	365	360



Peso profilato tubolare metro lineare:  $P = 0.027 \text{ KN/m}^2$

**VERIFICA STATO LIMITE DI SERVIZIO**

$$\nu < L/200 \quad L/200 = 17.5 \text{ mm}$$

$$\nu = \frac{5}{384} \times \frac{(G + P) \times L^4}{E \times I} \text{ ----> } \nu = \frac{5}{384} \times \frac{(0.08567 + 0.027) \times 35^4 \times 10^8}{21 \times 10^4 \times 6.01 \times 10^2}$$

$$\nu = 17.44 \text{ mm} \text{ ----> VERIFICATO}$$

**VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO**

$$\sigma < f_d \quad f_d = 213.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{[1.4 \times (G + P)] \times L^2}{8 \times W} \text{ ----> } \sigma = \frac{[1.4 \times (0.08567 + 0.027)] \times 32^2 \times 10^4}{8 \times 3 \times 10^3}$$

$$\sigma = 80.5 \text{ N/mm}^2 \text{ ----> VERIFICATO}$$



## PESO EFFETTIVO TENDE

In questo paragrafo vengono riportati i calcoli dei pesi effettivi delle tende, espressi in kg. La tenda 10 span centrale presenta approssimamente la stessa quantità di tessuto (34.5 m<sup>2</sup>) di una tenda 10 span normale. Per semplificazione, ed a favore di sicurezza, il suo peso è considerato pari a quello di una tenda 10 span normale (126 kg).

---

### TENDA 10 SPAN

Quantità tessuto:  $9 \times 3.42 + 2 \times 1.96 = 34.7 \text{ m}^2$

Peso relativo al tessuto:  $0.59 \times 34.7 = 20.5 \text{ kg}$

Peso relativo alle bacchette:  $11 \times (2.74 \times 3.5) = 105.5 \text{ kg}$

Peso totale tenda:  $20.5 + 105.5 = 126 \text{ kg}$

---

### TENDA 9 SPAN

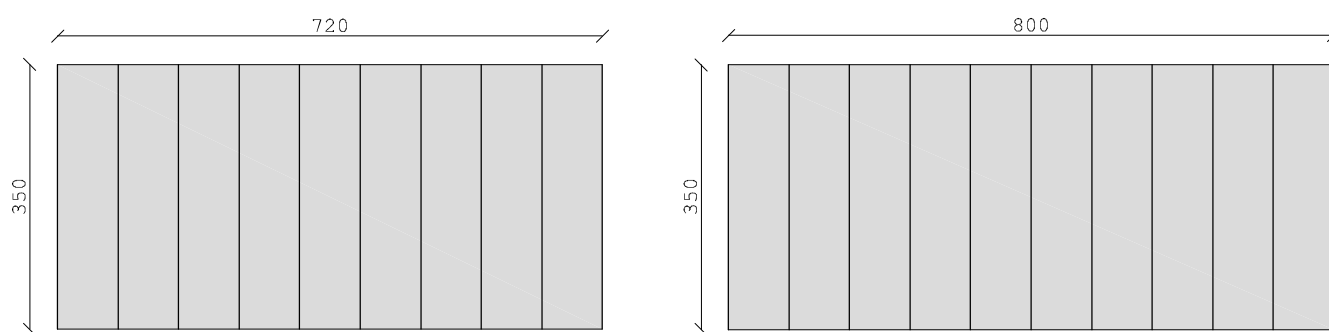
Quantità tessuto:  $8 \times 3.42 + 2 \times 1.96 = 31.3 \text{ m}^2$

Peso relativo al tessuto:  $0.59 \times 31.3 = 18.5 \text{ kg}$

Peso relativo alle bacchette:  $10 \times (2.74 \times 3.5) = 96 \text{ kg}$

Peso totale tenda:  $18.5 + 96 = 114.5 \text{ kg}$

---

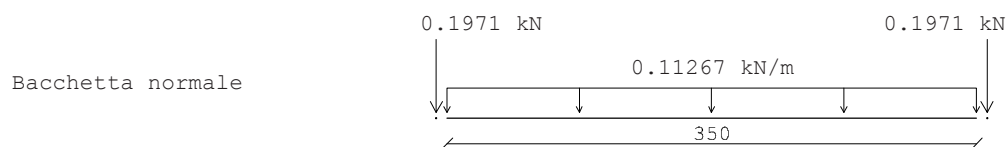


Sopra: Schema della tenda 9 span (a sinistra); Schema della tenda 10 span (a destra). Quote espresse in cm.

## CARICO GRAVANTE SU CAVO BINARIO

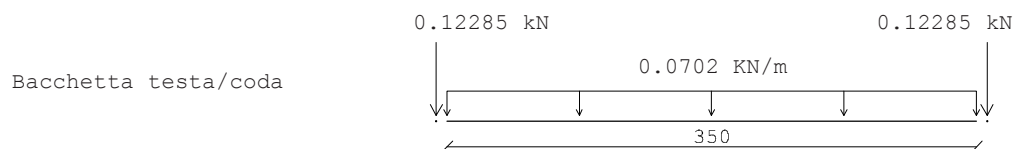
Le bacchette, sulle quali è appeso il tessuto delle tende, sono collegate all'estremità ai cavi binario. Questi elementi, oltre a permettere lo scorrimento delle tende, ne reggono il peso. Di seguito sono riportati i calcoli dei valori da applicare sul cavo binario. Si ricorda che oltre al peso effettivo costituito dalle bacchette e dal tessuto, questi cavi devono reggere anche il carico uniformemente distribuito di  $0.1 \text{ kN/m}^2$  gravante sulle tende. Inoltre, poiché la struttura del progetto può essere sollecitata in maniera differente a seconda della disposizione delle tende, è stato necessario calcolare il valore del carico agente sui cavi sia per la configurazione a tende aperte, sia per la configurazione a tende chiuse. Questi valori sono stati poi utilizzati per il calcolo e la verifica di tutti gli elementi che formano la struttura portante. I valori che caratterizzano la configurazione a tende chiuse sono quelli che verosimilmente agiscono per più tempo sulla struttura, considerando che durante la notte e tutto il periodo invernale le tende rimangono sempre sotto la copertura della passerella. Il valore da applicare nel software di calcolo della struttura di cavi è stato considerato come un carico distribuito lungo il tratto del cavo binario occupato dalle testate delle bacchette delle tende. Mentre il carico agente quando le tende sono completamente distese è stato applicato su dei nodi corrispondenti al punto di contatto tra le testate delle bacchette delle tende ed il cavo binario. Come ultima osservazione, anche in questo caso, il carico della tenda 10 span centrale è stato considerato uguale a quello delle tende 10 span normali.

### CONFIGURAZIONE TENDE APERTE



Carico distribuito su bacchetta:  $0.027 + 0.08567 = 0.11267 \text{ kN/m}$

Carico agente su cavo binario:  $P_b = 0.1971 \text{ kN}$



Carico distribuito su bacchetta :  $0.027 + 0.432 = 0.0702 \text{ kN/m}$

Carico agente su cavo binario:  $P_{bt} = 0.12285 \text{ kN}$

---

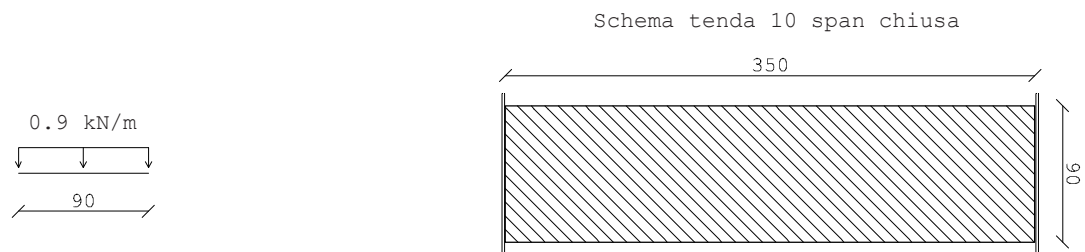
#### CONFIGURAZIONE TENDE CHIUSE

**Peso tenda: 126 kg ----> 1.24 kN**

**Area tenda chiusa:  $0.9 \times 3.5 = 3.15 \text{ m}^2$**

Carico totale:  $(0.1 \times 3.5) + 1.24 = 1.555 \text{ kN}$

Carico metro lineare agente su cavo:  $\frac{1.555}{(3.5/2)} = 0.9 \text{ kN/m}$



---

#### CALCOLO CAVETTO TRAENTE SINGOLO SPAN

Per quanto concerne i cavetti, che trainano ogni singolo span delle tende durante la fase di apertura, è stata effettuata una verifica di massima della loro capacità portante, a favore di sicurezza, ipotizzando che ogni coppia di cavetti debba essere in grado di trascinare tutto il peso della tenda più gravosa.

---

#### VERIFICA

Cavo: PVC 3x6

Carico di rottura: 5.08 kN

Peso tenda 10 span: 0.124 kN

Carico uniformemente distribuito:  $0.1 \times (3.5 \times 8) = 2.8 \text{ kN}$

Peso trascinato da singolo cavetto:  $(2.8 + 0.124)/2 = 1.462 \text{ kN}$

$1.462 \text{ kN} < 5.08/2 \text{ kN}$  ---->  $1.462 \text{ kN} < 2.54 \text{ kN}$  ----> VERIFICATO

---

## CALCOLO STRUTTURA DEI CAVI DI ACCIAIO

I valori del carico agente sui cavi binario, generati dal peso delle tende e dal carico permanente, sono stati i dati di input per il programma di calcolo Forten 3000. Grazie a questo software è stato possibile determinare le forze di tensione alle quali sono sottoposti i cavi componenti la struttura e a quali reazioni vincolari devono far fronte gli elementi su cui si ancorano ovvero i pilastri del fronte est, la muratura dell'edificio ovest ed il reticolo di travi soprastanti la passerella.

L'utilizzo di Forten è stato di notevole aiuto poiché esso ha la capacità di svolgere analisi non lineari delle strutture. Infatti, una tensostruttura o una struttura di cavi, come quella del nostro progetto, necessitano un'analisi di tipo non lineare, dove lo stato di equilibrio è relativo alla configurazione deformata della struttura e non a quella iniziale come nell'analisi lineare. Ciò è dovuto al fatto che, se sottoposte a carichi, queste tipologie di strutture si comportano in maniera differente se paragonate a strutture di acciaio convenzionali. Per sorreggere dei carichi sono costrette a deformarsi subendo grandi spostamenti. L'analisi lineare delle strutture, dove gli sforzi e gli spostamenti sono di lieve entità se paragonati alle dimensioni complessive dell'intera struttura, non è applicabile al nostro caso.

L'operazione chiave per il calcolo di una tensostruttura è il cosiddetto formfind. Questa deve essere effettuata prima di lanciare l'analisi vera e propria, che applica alla struttura anche i carichi di progetto. Tramite il formfind si ottiene una geometria di partenza in equilibrio con le forze di pretensione applicate ai cavi. La rigidità complessiva della struttura e la sua capacità di supportare carichi deriva dalla geometria e dalle pretensioni del formfind. Il procedimento seguito per svolgere questa importante fase del calcolo della struttura consiste nell'immettere il valore di force density, rapporto tra la forza di pretensione e la lunghezza di un elemento nella sua configurazione finale, relativo ad ogni tratto di cavo della struttura indeformata di partenza. È stato necessario eseguire numerosi tentativi per trovare una geometria soddisfacente, inserendo di volta in volta valori di force density differenti. Gli elementi più difficili da computare sono stati i due tiranti Jawerth, essendo questi costituiti da più cavetti, che collegano il cavo JW al cavo trasversale, che hanno valori di pretensioni differenti. L'obiettivo è stato quello di mantenere i loro rispettivi cavi trasversali perpendicolari ai cavi delle tende. Ogni volta ottenuto un risultato di formfind, questo veniva sovrapposto al disegno della struttura di partenza e si controllava che i nodi del cavo trasversale, in corrispondenza dell'approdo dei cavetti del reticolo del tirante Jawerth e dei cavi delle tende, avessero uno spostamento esiguo. Poiché la struttura dei cavi non è simmetrica, a causa della differente distanza alla quale si trovano gli ancoraggi dei tiranti rispetto al centro della piazza, che coincide anche con il centro dei sistemi che reggono e muovono le tende, i cavetti che collegano il cavo JW al cavo trasversale sono caratterizzati da diversi valori di pretensione a seconda della loro posizione rispetto ai cavi binario e traenti. È possibile notare dalle tavole di disegno come la parte del tirante rivolta

verso l'edificio ovest si ameno in tensione rispetto a quella rivolta verso i pilastri, essendo quest'ultima in diretto contatto con i cavi delle tende. In quest'area infatti i cavetti JW devono trasferire con maggior vigore l'azione di equilibrio del cavo JW per contrastare il tiro dei cavi traenti e binario.

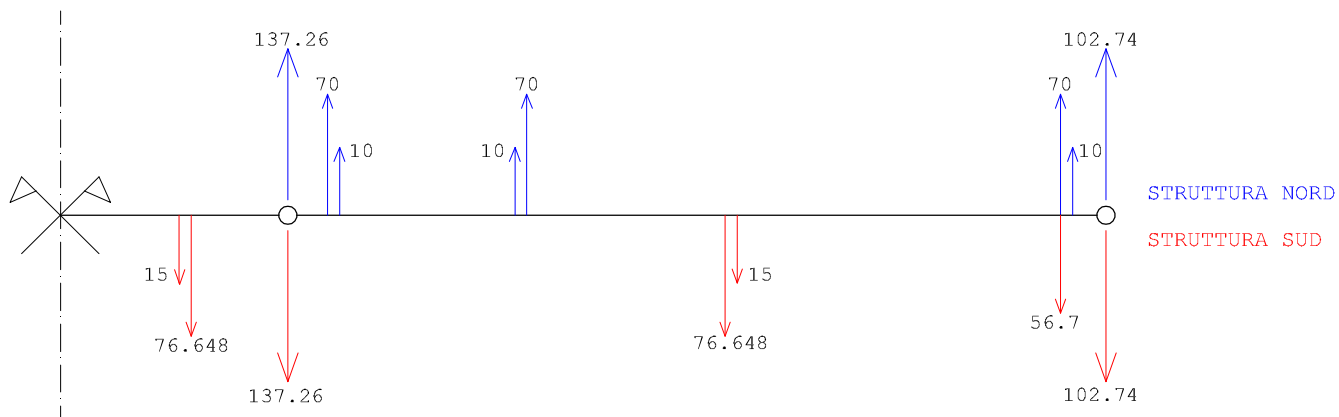
Una volta ottenuta una geometria soddisfacente, si predispone il programma per lanciare l'analisi non lineare relativa ad una data condizione di carico. Tramite una serie di iterazioni, Forten applica in maniera incrementale il carico si progetto alla struttura ottenuta grazie al formfind. Questa operazione ha come risultato la deformata finale della struttura ed i valori finali delle forze interne ai cavi e delle reazioni vincolari che sono poi, nel nostro caso, le forze che agiscono sugli elementi sui quali la struttura dei cavi si ancora. Per mezzo dei risultati ottenuti è stato così possibile determinare i valori di massima tensione relativi ai singoli cavi. Questi sono stati adoperati per scegliere dal catalogo del produttore le sezioni opportune delle funi. La UNI EN 12385-10:2005, norma relativa l'utilizzo di funi d'acciaio nel campo delle costruzioni, indica che questa scelta deve essere effettuata prendendo come riferimento la metà del valore, fornito dal produttore, della forza minima di rottura, ovvero la tensione massima di progetto deve essere minore della metà della forza minima di rottura relativa alla sezione del cavo che si vuole utilizzare. La selezione degli accessori dei cavi come i capicorda, tenditori e terminali a forcilla sono conseguenti alla dimensione della sezione del cavo e sono in grado, quindi, di essere sottoposti alle stesse tensioni massime. Le caratteristiche di questi elementi saranno trattate in modo più approfondito nel prossimo capitolo.

Per semplificare i calcoli, l'intera struttura è stata divisa in due parti: la struttura nord, comprendente tutti i cavi a nord della passerella, e la struttura sud, comprendente la parte della struttura che sorge a sud della passerella. La prima ad essere calcolata è stata la struttura nord. Questa risulta infatti la più problematica delle due per varie ragioni. La prima riguarda la notevole luce, di poco inferiore ai 30m, che caratterizza i cavi delle tende. A questo dato si aggiunge la presenza di due tende sui due sistemi esterni che comportano più carico gravante sui cavi, mentre il sistema centrale ha una sola tenda, ma questa, in configurazione aperta, va a posizionarsi in mezzeria nella posizione più sfavorevole. Un'altra questione è relativa ai piloni del fronte est sopra i quali approdano il cavo trasversale ed il tirante Jawerth, che sono caratterizzati da una notevole altezza dovuta dalla notevole distanza che sussiste tra la cima e la base che si trova addirittura al di sotto della quota del corridoio che fianeggia la sala lettura sul lato est. Una grande altezza implica una snellezza maggiore che rende più difficoltosi il calcolo e la verifica del pilone, specialmente se le forze in gioco sono di notevole intensità. Concluse le operazioni di calcolo della struttura nord, l'analisi del programma ha fornito, come risultato, una deformata del cavo binario più sollecitato avente uno spostamento massimo di 20 cm, acquisito con una forza di pretensione del cavo binario pari a 70 kN. Considerando che il valore dello spostamento è stato ottenuto applicando alla struttura, oltre al peso delle tende, un carico di 0.1 KN/mq da normativa, situazione di carico questa con una bassa probabilità di verificarsi, e non essendoci una norma che indichi il limite massimo di deformazione ammissibile per cavi, è stato

deciso di valutare 20 cm come un risultato accettabile. Inoltre, se ipotizziamo che il cavo sia una normale trave, questo avrebbe dovuto avere una freccia massima inferiore a  $L/200$ , che nel nostro caso è pari a 14.7 cm. Data la natura meno rigida dei cavi, della quale abbiamo parlato all'inizio di questo paragrafo, uno spostamento massimo di 20 cm può considerarsi del tutto accettabile.

Riprendendo quanto detto in precedenza, sarebbe del tutto normale pensare che le tensioni interne alla struttura nord, in particolar modo quelle dei cavi binario, siano maggiori delle tensioni che caratterizzano la struttura sud, essendo questa di minori dimensioni e dovendo supportare il peso di solo due tende contro le cinque della struttura nord. Ma è di primaria importanza bilanciare le forze indotte dalla struttura nord sulle travi centrali del reticolo della passerella, in modo da caricare i componenti verticali della struttura della passerella con solo forze in direzione verticale, evitando di far arrivare sulle estremità delle colonne momenti torcenti di elevata intensità, anche perché tali elementi non sono stati costruiti per sopportare questo tipo di azioni. Di conseguenza, i valori di forze density utilizzati per il calcolo della struttura sud sono conseguenti a forze di pretensione che danno come risultante un bilanciamento delle forze dei cavi della struttura nord. Così facendo, i sistemi cavalletto che reggono le tre travi centrali della passerella, trasmettono alle sottostanti colonne soprattutto forze in direzione verticale. Infatti, la componente orizzontale delle forze che agiscono sulle travi centrali, che costituisce anche quella di maggiore intensità, si annulla in corrispondenza dei collegamenti a cerniera tra le travi centrali stesse ed il sistema cavalletto che le regge. Allora, prima ancora di affrontare la struttura sud con Forten, tramite il programma SAP 2000 sono stati calcolati quali valori di pretensione dovevano essere applicati ai cavi della struttura sud per bilanciare il sistema. Ottenuti questi valori, si è proseguito con Forten per acquisire i risultati finali di calcolo per la struttura sud.

Entrambe le strutture sono state calcolate anche con i valori relativi alla configurazione delle tende chiuse. È logico aspettarsi che i cavi subiscano meno deformazioni e tensioni interne minori, ma il valore relativo alla componente verticale delle reazioni vincolari presso le travi centrali raggiungono, in questo stato, il valore più alto. Poiché presumibilmente la configurazione chiusa è quella che caratterizzerà per la maggior parte del tempo la nostra struttura, questi valori sono stati utilizzati per il calcolo del reticolo di travi della passerella.



Sopra: Bilanciamento delle forze dei cavi agenti sulla travatura centrale (valori espressi in kN).

Acquisiti i valori relativi alle massime tensioni agenti, sono stati selezionati i diametri dei cavi riportati nella seguente tabella, mentre la scelta dei terminali delle estremità di tutti i cavi è consequenziale alle dimensioni dei loro diametri.

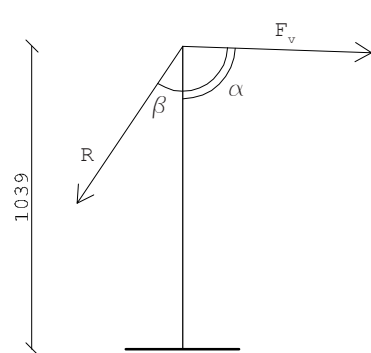
Tipologia cavo	Tensione max. (kN)	diam. (mm)	Sezione metallica A (mm <sup>2</sup> )	Forza di rottura minima MBF (kN)	Massa (kg/m)
Cavo trasversale	577.23	36	794	1230	6.5
Cavo Jawerth	580	36	794	1230	6.5
Cavetti Jawerth	60	12	88	135	0.7
Cavo binario	75.5	16	157	240	1.3
Cavo traente	17.03	8	47	52.8	0.3
Cavo tirante	57.3	12	88	135	0.7

Sopra: Tabella indicante le caratteristiche delle tipologie di cavi della struttura.

#### CALCOLO PILASTRI DEL FRONTE EST

I pilastri del fronte est ed i relativi cavi tiranti sono stati calcolati avendo come base il valore delle reazioni vincolari delle strutture calcolate con Forten. Le piastre dei pilastri, sopra le quali approdano le estremità dei cavi, hanno geometrie che rispettano quanto prescrive la normativa e sono state verificate per rifollamento.

#### PILASTRO CAVO TRASVERSALE NORD



$$\alpha = 88^\circ \quad \beta = 34^\circ$$

$$L = 1039 \text{ cm} \quad L_0 = 2078 \text{ cm}$$

$$f_d = 213.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Forza cavo trasversale: } F_v = 577230 \text{ N}$$

$$\text{Componente verticale } F_v: F_z = 20601 \text{ N}$$

$$\text{Componente orizzontale } F_v: F_y = 576860 \text{ N}$$

$$R = \frac{F_y}{\sin \beta} \quad \text{---->} \quad R = 1031597 \text{ N}$$

$$\text{Componente verticale R: } R_z = R \times \cos \beta \quad \text{---->} \quad R = 855233 \text{ N}$$

$$\text{Azione assiale: } P = (R_z + F_z) \times 1.4 \quad \text{---->} \quad P = 1226168 \text{ N}$$

**SELEZIONE PROFILO**

Gamma profilato tubolare a caldo - tondo												
DIAMETRO ESTERNO SPECIFICO	SPESSORE SPECIFICO	MASSA LINEARE	AREA DELLA SEZIONE TRASVERSALE	MOMENTO D'INERZIA	RAGGIO DI INERZIA	MODULO D'ELASTICITÀ	MODULO DI PLASTICITÀ	MODULO D'INERZIA DI TORSIONE	MODULO DI TORSIONE	SUPERFICIE LATERALE PER UNITÀ DI LUNGHEZZA	LUNGHEZZA NOMINALE PER TONNELLATA	AREA SUPERFICIE ESTERNA PER METRO
D	T	M	A	I	i	$W_{el}$	$W_{pl}$	$I_t$	$C_t$	$A_s$		$A_{siv}$
mm	mm	kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m	m	m <sup>2</sup>
355.6	24	196	250	34545	11.8	1943	2644	69090	3886	1.12	7.46	65.4

**VERIFICA**

Snellezza:  $\lambda = \frac{L_0}{i} \rightarrow \lambda = 176.1$

Snellezza di proporzionalità:  $\lambda_p = 93.91$

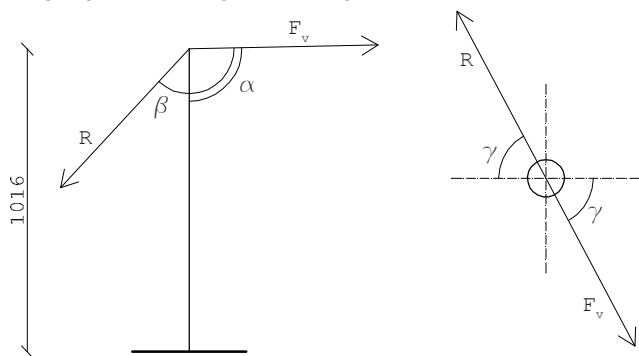
Snellezza adimensionalizzata:  $\frac{\lambda}{\lambda_p} = 1.875$

Coefficiente  $\omega$ :  $\omega = 3.88$

verifica delle tensioni:  $\sigma < f_d \quad f_d = 213.6 \text{ N/mm}^2$

$\sigma = \frac{\omega \times P}{A} \rightarrow \sigma = 190.5 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{VERIFICATO}$

**PILASTRO TIRANTE JAWERTH NORD**



$\alpha = 91.2^\circ \quad \beta = 43^\circ \quad \gamma = 62^\circ$

$L = 1016 \text{ cm} \quad L_0 = 2032 \text{ cm}$

$f_d = 213.6 \text{ N/mm}^2$

Forza cavo e cavetto Jawerth:  $F_v = 608150 \text{ N}$

Componente verticale  $F_v$ :  $F_z = -12736 \text{ N}$

Componente orizzontale  $F_v$ :  $F_y = 608016 \text{ N}$

$R = \frac{F_y}{\sin\beta} \rightarrow R = 891521 \text{ N}$

Componente verticale R:  $R_z = R \times \cos\beta \rightarrow R_z = 652018 \text{ N}$

Azione assiale:  $P = (R_z + F_z) \times 1.4 \rightarrow P = 894995 \text{ N}$

**VERIFICA** (utilizzando lo stesso profilo del pilastro cavo trasversale nord)

Snellezza:  $\lambda = \frac{L_0}{i} \rightarrow \lambda = 172.2$



Snellezza di proporzionalità:  $\lambda_p = 93.91$

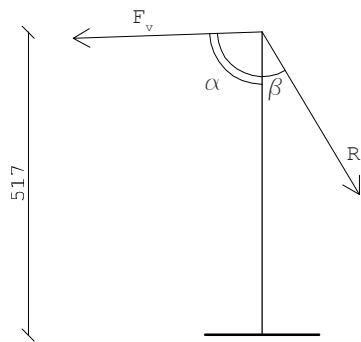
Snellezza adimensionalizzata:  $\frac{\lambda}{\lambda_p} = 1.833$

Coefficiente  $\omega$ :  $\omega = 3.728$

verifica delle tensioni:  $\sigma < f_d$   $f_d = 213.6 \text{ N/mm}^2$

$\sigma = \frac{\omega \times P}{A}$  ---->  $\sigma = 133.464 \text{ N/mm}^2$  ----> VERIFICATO

**PILASTRO CAVO TRASVERSALE SUD**



$\alpha = 88^\circ$   $\beta = 31^\circ$

$L = 517 \text{ cm}$   $L_0 = 1034 \text{ cm}$

$f_d = 213.6 \text{ N/mm}^2$

Forza cavo trasversale:  $F_v = 494520 \text{ N}$

Componente verticale  $F_v$ :  $F_z = 17235 \text{ N}$

Componente orizzontale  $F_v$ :  $F_y = 494220 \text{ N}$

$R = \frac{F_y}{\sin\beta}$  ---->  $R = 959580 \text{ N}$

Componente verticale R:  $R_z = R \times \cos\beta$  ---->  $R_z = 822520 \text{ N}$

Azione assiale:  $P = (R_z + F_z) \times 1.4$  ---->  $P = 1175657 \text{ N}$

**SELEZIONE PROFILO**

Gamma profilato tubolare a caldo - tondo												
DIAMETRO ESTERNO SPECIFICO	SPESSORE SPECIFICO	MASSA LINEARE	AREA DELLA SEZIONE TRASVERSALE	MOMENTO D'INERZIA	RAGGIO DI INERZIA	MODULO D'ELASTICITÀ	MODULO DI PLASTICITÀ	MODULO D'INERZIA DI TORSIONE	MODULO DI TORSIONE	SUPERFICIE LATERALE PER UNITÀ DI LUNGHEZZA	LUNGHEZZA NOMINALE PER TONNELLATA	AREA SUPERFICIE ESTERNA PER METRO
D	T	M	A	I	i	$W_{el}$	$W_{pl}$	$I_t$	$C_t$	$A_s$	m	$A_{s/v}$
mm	mm	kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m		m <sup>1</sup>
355,6	16	134	171	24.663	12,0	1.387	1.847	49.326	2.774	1,12	7,46	65,4

**VERIFICA**

Snellezza:  $\lambda = \frac{L_0}{i}$  ---->  $\lambda = 86.2$

Snellezza di proporzionalità:  $\lambda_p = 93.91$

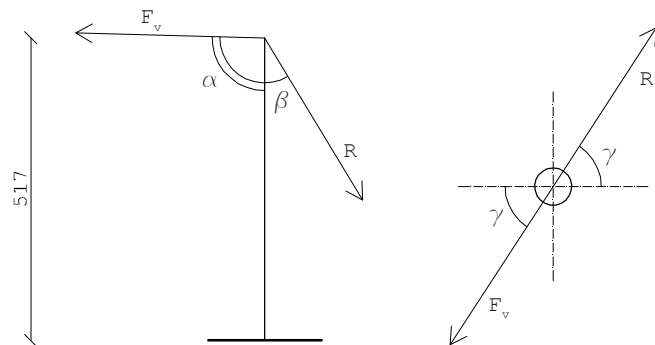
Snellezza adimensionalizzata:  $\frac{\lambda}{\lambda_p} = 0.917$

Coefficiente  $\omega$ :  $\omega = 1.3744$

verifica delle tensioni:  $\sigma < f_d$   $f_d = 213.6 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma = \frac{\omega \times P}{A} \quad \text{---->} \quad \sigma = 94.5 \text{ N/mm}^2 \quad \text{---->} \quad \text{VERIFICATO}$$

**PILASTRO TIRANTE JAWERTH SUD**



$$\alpha = 91.5^\circ \quad \beta = 31^\circ \quad \gamma = 57^\circ$$

$$L = 484 \text{ cm} \quad L_0 = 968 \text{ cm}$$

$$f_d = 213.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Forza cavo e cavetto Jawerth: } F_v = 498520 \text{ N}$$

$$\text{Componente verticale } F_v: F_z = -13050 \text{ N}$$

$$\text{Componente orizzontale } F_v: F_y = 498349 \text{ N}$$

$$R = \frac{F_y}{\sin\beta} \quad \text{---->} \quad R = 967596 \text{ N}$$

$$\text{Componente verticale } R: R_z = R \times \cos\beta \quad \text{---->} \quad R_z = 829392 \text{ N}$$

$$\text{Azione assiale: } P = (R_z + F_z) \times 1.4 \quad \text{---->} \quad P = 1142879 \text{ N}$$

**VERIFICA** (utilizzando lo stesso profilo del pilastro cavo trasversale sud)

$$\text{Snellezza: } \lambda = \frac{L_0}{i} \quad \text{---->} \quad \lambda = 172.2$$

$$\text{Snellezza di proporzionalità: } \lambda_p = 93.91$$

$$\text{Snellezza adimensionalizzata: } \frac{\lambda}{\lambda_p} = 1.833$$

$$\text{Coefficiente } \omega: \omega = 3.728$$

$$\text{verifica delle tensioni: } \sigma < f_d \quad f_d = 213.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{\omega \times P}{A} \quad \text{---->} \quad \sigma = 133.464 \text{ N/mm}^2 \quad \text{---->} \quad \text{VERIFICATO}$$

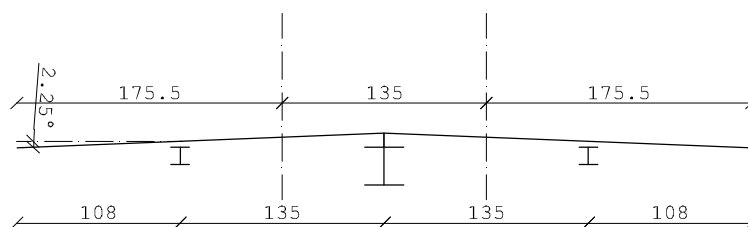
Prendendo in considerazione la forza bilanciante R di valore maggiore, è stato selezionato il seguente diametro per i tutti i cavi dei pilastri.

Tipologia cavo	Tensione max. (kN)	diam. (mm)	Sezione metallica A (mm <sup>2</sup> )	Forza di rottura minima MBF (kN)	Massa (kg/m)
Cavo pilastro	1031.597	48	1412	2190	11.6

Sopra: Tabella indicante le caratteristiche del cavo bilanciante dei pilastri.

## SELEZIONE PANNELLI LAMIERA GRECATA DELLA NUOVA COPERTURA DELLA PASSERELLA

la struttura di travi e pilastri in acciaio, posta al di sopra della passerella che attraversa la piazza, svolge due importanti funzioni. In primo luogo costituisce un punto di ancoraggio per tutti i cavi che reggono e muovono le tende. Il secondo compito che svolge il reticolo di travi, è quello di reggere la copertura in lamiera metallica che va a ricoprire la preesistente passerella, proteggendo così dalle intemperie le tende, quando queste non sono in esercizio. La progettazione di questo elemento ha tenuto conto del carico da neve, mentre il carico orizzontale relativo al vento non è stato preso in considerazione poiché la nuova struttura non ha grande elevazione e sorge in un'area circondata da alti edifici.



Sopra: Sezione schematica della copertura indicante le aree di influenza delle travi.

### DATI

Distanza massima tra gli appoggi dei pannelli:  $108 \times 2 = 216$  cm

Carico neve:  $q_s = \mu \times q_{sk} \times C_e$

$q_{sk}$  = valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo ( $\text{kN/m}^2$ )

Zona I - Mediterranea, Milano, altitudine su livello mare  $< 200$  m ---->  $q_{sk} = 1.5 \text{ kN/m}^2$

$C_e$  = coefficiente di esposizione

Topografia: normale. Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulle costruzioni prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi ---->  $C_e = 1$

$\mu$  = coefficiente di forma per le coperture

Nel caso la copertura presenti una falda inclinata tra  $0^\circ < \alpha < 30^\circ$  ---->  $\mu = 0.8$

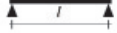
Carico neve:  $q_s = 1.5 \times 1 \times 0.8$  ---->  $q_s = 1.2 \text{ kN/m}^2$  ---->  $q_s = 123 \text{ kg/m}^2$

Carico indicativo dovuto ai pannelli solari:  $9 \text{ kg/m}^2$

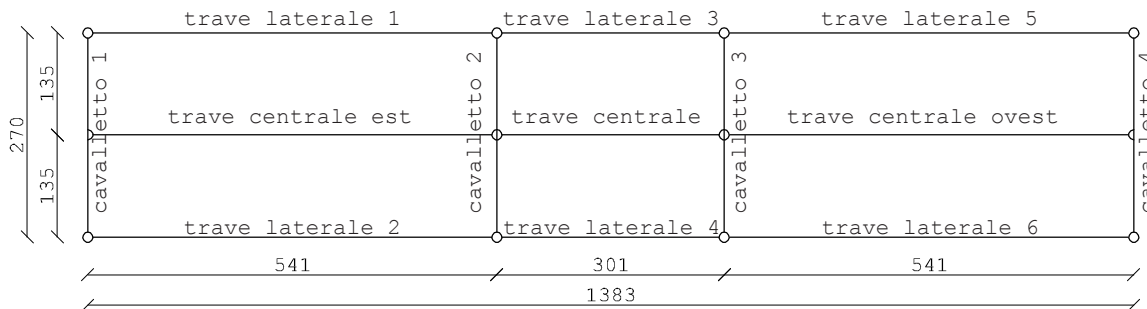
Carico totale gravante sulla lamiera:  $P = 132 \text{ kg} + \text{peso proprio lamiera}$

Profilo selezionato: Pannello Unimetal Genus 45 alluminio

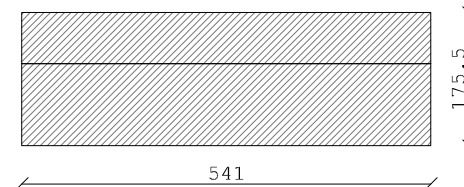
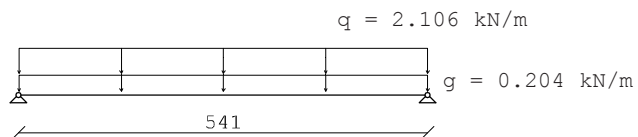
thickness (mm)	weight (Kg/m <sup>2</sup> )	weight (kg/m)
0,70	2,41	2,30
0,80	2,75	2,61
1,00	3,44	3,27

thickness (mm)	distance between centres cm.							 Maximum live load in Kg/m <sup>2</sup> (including one's weight)
	60	80	100	125	150	200	250	
0,70	2029	1141	730	467	324	182	116	
0,80	2325	1308	837	535	372	209	133	
1,00	2920	1642	1051	672	467	262	168	

Sopra: Tabella indicante le caratteristiche del pannello di lamiera grecata selezionato. \_\_\_ Sotto: schema reticolo travi.



### TRAVE LATERALE (541 cm)



Materiale acciaio Fe 360

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2 \quad f_d = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$L = 541 \text{ cm}$$

$$\text{Carico neve: } q_s = 1.2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Carico permanente (pannelli solari + lamiera alluminio): } G = 0.116 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Area influenza trave: } 541 \times 175.5$$

$$\text{Carico distribuito neve: } q = 1.2 \times 1.755 \quad \text{---->} \quad q = 2.106 \text{ kN/m}$$

$$\text{Carico distribuito permanente: } g = 0.116 \times 1.755 \quad \text{---->} \quad g = 0.204 \text{ kN/m}$$

---

**SOLUZIONE**

$$I_{\min} = \frac{5 \times 200}{384} \times \frac{(G+q) \times L^3}{E} \quad \text{---->} \quad I_{\min} = \frac{5 \times 200}{384} \times \frac{(0.204 + 2.106) \times 541^3 \times 10^3}{21 \times 10^4}$$
$$I_{\min} = 453.58 \text{ cm}^4$$

$$W_{\min} = \frac{1.5 \times (G + q) \times L^2}{8 \times f_d} \quad \text{---->} \quad W_{\min} = \frac{1.5 \times (0.204 + 2.106) \times 541^2 \times 10^2}{8 \times 213.6} \quad \text{---->} \quad W_{\min} = 54 \text{ cm}^3$$

---

**SELEZIONE PROFILO**

$$\text{HEA 120} \quad \text{---->} \quad p \text{ (peso per metro)} = 20 \text{ kg/m}; I = 606 \text{ cm}^4; W = 106 \text{ cm}^3$$

---

**VERIFICA STATO LIMITE DI SERVIZIO**

$$\nu < L/200 \quad L/200 = 27.05 \text{ mm}$$

$$\nu = \frac{5}{384} \times \frac{(G + q + p) \times L^4}{E \times I} \quad \text{---->} \quad \nu = \frac{5}{384} \times \frac{(0.204+0.2+2.106) \times 541^4 \times 10^4}{21 \times 10^4 \times 606 \times 10^4}$$

$$\nu = 22 \text{ mm} \quad \text{---->} \quad \text{VERIFICATO}$$

---

**VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO**

$$\sigma < f_d \quad f_d = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{[1.4 \times (G + p) + 1.5 \times q] \times L^2}{8 \times W} \quad \text{---->} \quad \sigma = \frac{[1.4 \times (0.2 + 0.204) + 1.5 \times 2.106] \times 541^2 \times 10^2}{8 \times 106 \times 10^3}$$

$$\sigma = 129 \text{ N/mm}^2 \quad \text{---->} \quad \text{VERIFICATO}$$

---

**TRAVI CENTRALI**

Per dimensionare questi elementi è stato utilizzato il software computazionale SAP 2000, il quale ha fornito i valori dei massimi spostamenti e momenti che caratterizzano le travi centrali. Questo si è reso necessario data la particolare disposizione dei carichi agenti sulla struttura. Infatti, lungo le travi centrali appodano i cavi delle tende che, a causa delle tensioni alle quali sono sollecitati, determinano le forze più problematiche alle quali il reticolo di travi deve far fronte. Inoltre, queste sono forze che lavorano sul piano orizzontale, lungo il quale le caratteristiche di resistenza delle sezioni convenzionali delle travi di acciaio sono di minore entità rispetto a quelle che caratterizzano il piano verticale della sezione.

Allo scopo di semplificare le operazioni di calcolo, le forze relative ai cavi delle tende agenti sulle travi sul piano orizzontale, sono state considerate uguali alle pretensioni che hanno generato il formfind. Il carico distribuito verticale è relativo al carico accidentale della neve, precedentemente esposto, il peso della copertura ed il peso proprio della trave. I singoli valori dei carichi concentrati verticali, agenti in corrispondenza degli approdi dei cavi delle tende, sono la somma del peso del cavo e della componente verticale delle reazioni vincolare relativa alla configurazione con le tende chiuse.

**TRAVE CENTRALE EST/OVEST (541 cm)**

Materiale acciaio Fe 510

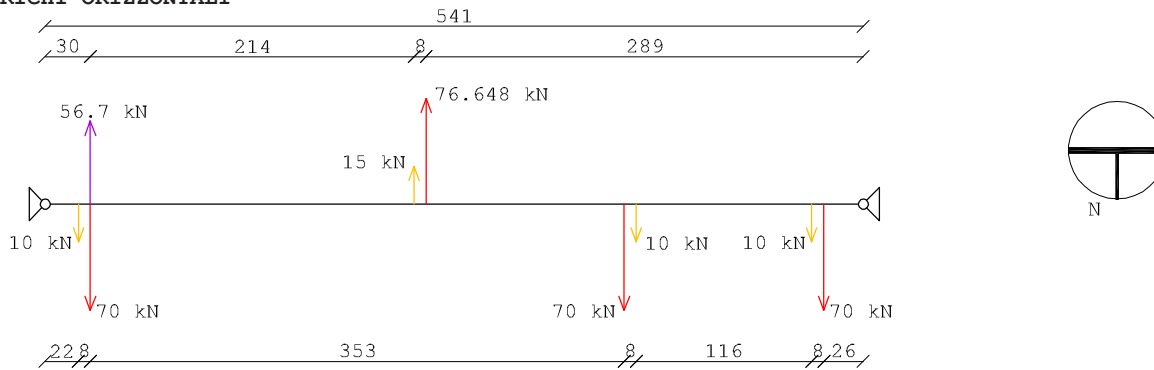
$E = 210000 \text{ N/mm}^2$        $f_k = 355 \text{ N/mm}^2$        $\gamma_m = 1.1$

$f_d = f_k/\gamma_m$       ---->       $f_d = 355/1.1$       ---->       $f_d = 322.7 \text{ N/mm}^2$

$L = 541 \text{ cm}$

profilo: HEA 260      ---->       $p = 68 \text{ kg/m}$ ;  $I_x = 10450 \text{ cm}^4$ ;  $W_x = 836 \text{ cm}^3$ ;  $I_y = 3670 \text{ cm}^4$ ;  $W_y = 282 \text{ cm}^3$

**CARICHI ORIZZONTALI**



**VERIFICA STATO LIMITE DI SERVIZIO (carichi orizzontali)**

$\nu_y < L/200$        $L/200 = 27.05 \text{ mm}$

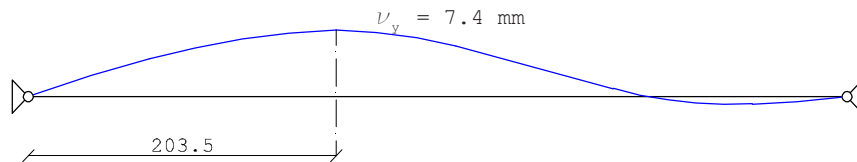


Diagramma deformata piano orizzontale

$\nu_y = 7.4 \text{ mm}$       ---->      VERIFICATO

**VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO (carichi orizzontali)**

$\sigma_y < f_d$        $f_d = 322.7 \text{ N/mm}^2$

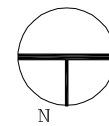
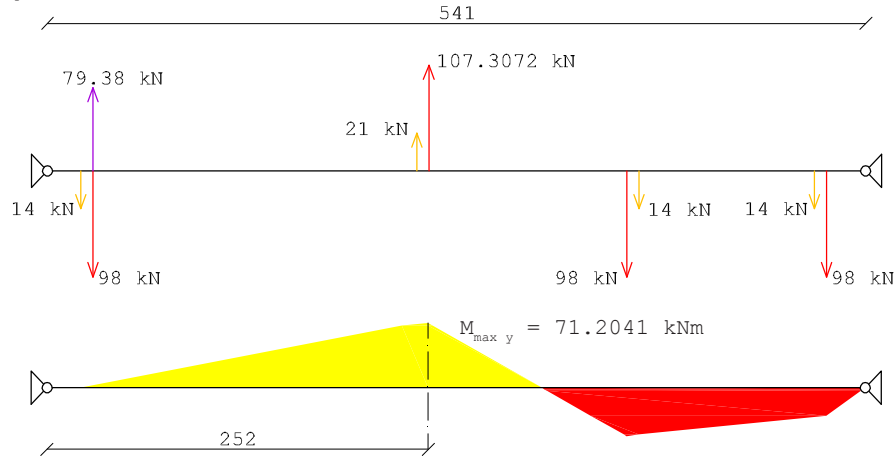
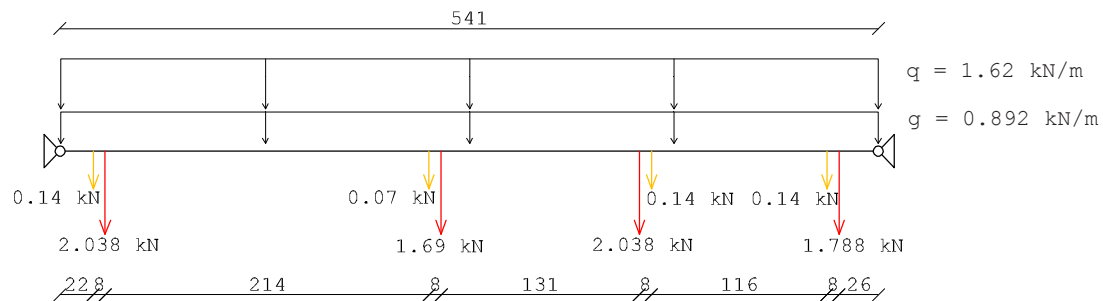


Diagramma momento piano orizzontale

$\sigma_y = \frac{M_{\max y}}{W_y}$        $\sigma_y = \frac{71.2041 \times 10^3}{282}$        $\sigma_y = 252.5 \text{ N/mm}^2$       VERIFICATO

**CARICHI VERTICALI**



**VERIFICA STATO LIMITE DI SERVIZIO (carichi verticali)**

$v_x < L/200$        $L/200 = 27.05 \text{ mm}$

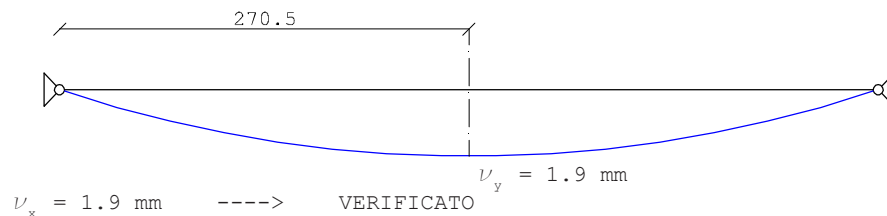


Diagramma deformata piano verticale

$v_x = 1.9 \text{ mm}$       VERIFICATO

**VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO (carichi verticali)**

$$\sigma_x < f_d \quad f_d = 322.7 \text{ N/mm}^2$$

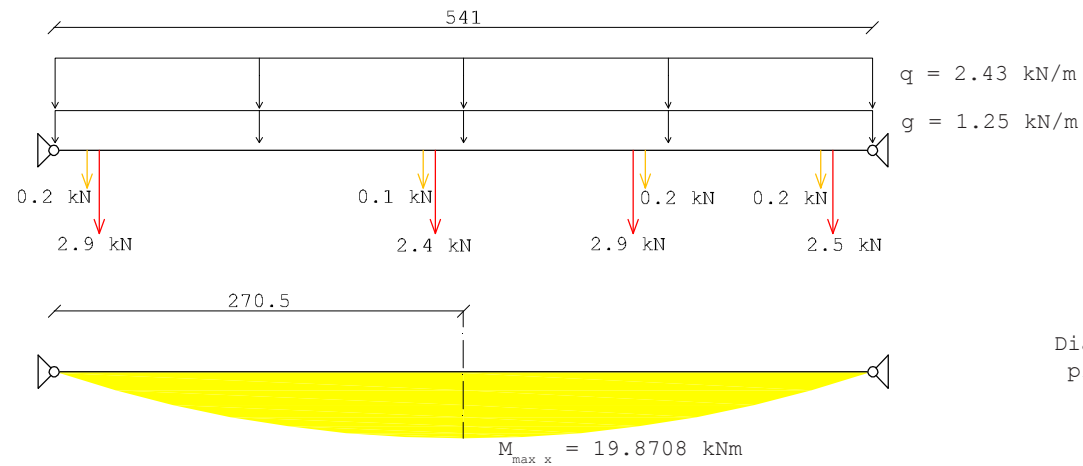


Diagramma momento piano verticale

$$\sigma_x = \frac{M_{\max x}}{W_x} \quad \text{---->} \quad \sigma_x = \frac{19.8708 \times 10^3}{836} \quad \text{---->} \quad \sigma_x = 23.8 \text{ N/mm}^2 \quad \text{---->} \quad \text{VERIFICATO}$$

**TRAVE CENTRALE (301 cm)**

Materiale acciaio Fe 510

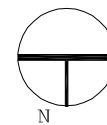
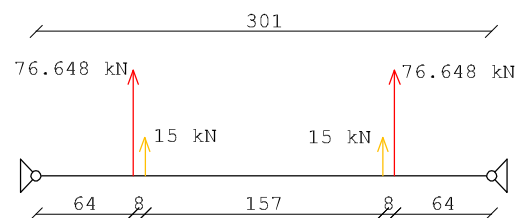
$$E = 210000 \text{ N/mm}^2 \quad f_k = 355 \text{ N/mm}^2 \quad y_m = 1.1$$

$$f_d = f_k / y_m \quad \text{---->} \quad f_d = 355 / 1.1 \quad \text{---->} \quad f_d = 322.7 \text{ N/mm}^2$$

L = 301 cm

profilo: HEA 260 ----> p = 68 kg/m; I<sub>x</sub> = 10450 cm<sup>4</sup>; W<sub>x</sub> = 836 cm<sup>3</sup>; I<sub>y</sub> = 3670 cm<sup>4</sup>; W<sub>y</sub> = 282 cm<sup>3</sup>

**CARICHI ORIZZONTALI**





**VERIFICA STATO LIMITE DI SERVIZIO (carichi orizzontali)**

$\nu_y < L/200$        $L/200 = 15 \text{ mm}$

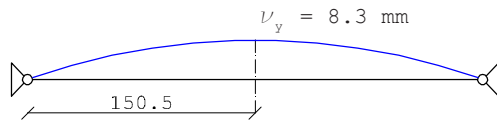


Diagramma deformato piano orizzontale

$\nu_y = 8.3 \text{ mm}$       ----->      VERIFICATO

**VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO (carichi orizzontali)**

$\sigma_y < f_d$        $f_d = 322.7 \text{ N/mm}^2$

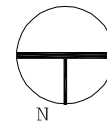
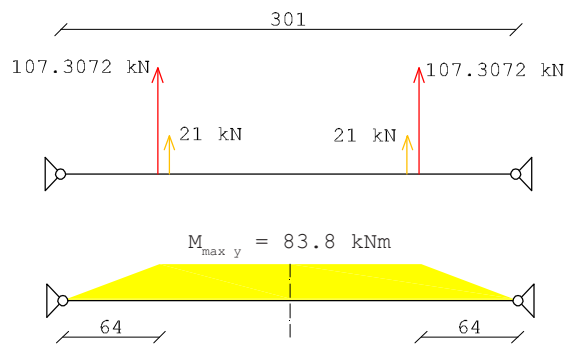
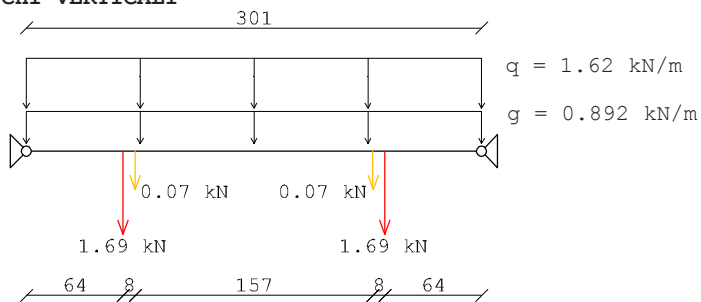


Diagramma momento piano orizzontale

$\sigma_y = \frac{M_{\max y}}{W_y}$       ----->       $\sigma_y = \frac{83.8 \times 10^3}{282}$       ----->       $\sigma_y = 297.2 \text{ N/mm}^2$       ----->      VERIFICATO

**CARICHI VERTICALI**



**VERIFICA STATO LIMITE DI SERVIZIO (carichi verticali)**

$\nu_x < L/200$        $L/200 = 15 \text{ mm}$

**VERIFICA STATO LIMITE DI SERVIZIO (carichi verticali)**

$\nu_x < L/200$        $L/200 = 15 \text{ mm}$

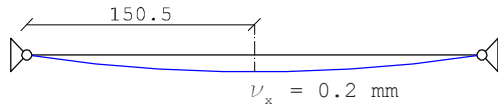


Diagramma deformata piano verticale

$\nu_x = 0.2 \text{ mm}$       ----->      VERIFICATO

**VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO (carichi verticali)**

$\sigma_x < f_d$        $f_d = 322.7 \text{ N/mm}^2$

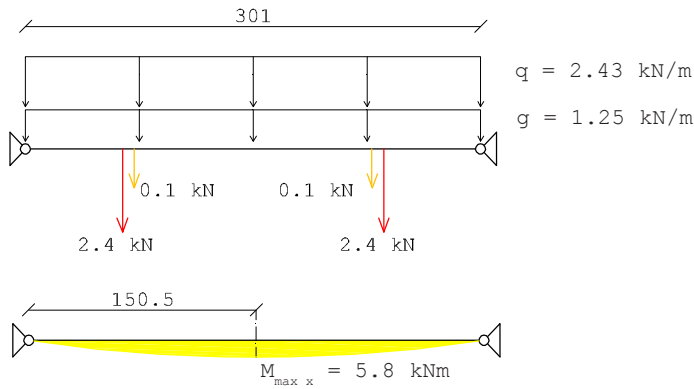
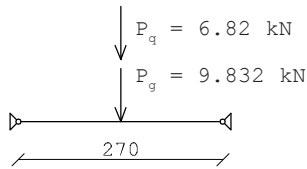


Diagramma momento piano verticale

$\sigma_x = \frac{M_{\max x}}{W_x}$       ----->       $\sigma_x = \frac{5.8 \times 10^3}{836}$       ----->       $\sigma_x = 7 \text{ N/mm}^2$       ----->      VERIFICATO

**TRAVE CAVALLETTO (campata interna)**



Materiale acciaio Fe 360

$E = 210000 \text{ N/mm}^2$        $f_k = 235 \text{ N/mm}^2$        $y_m = 1.1$

$f_d = f_k / y_m$       ----->       $f_d = 235 / 1.1$       ----->       $f_d = 213.6 \text{ N/mm}^2$

$L = 270 \text{ cm}$

Carico neve:  $P_q = 2.44 + 4.38$       ----->       $P_q = 6.82 \text{ kN}$

Carico permanente:  $P_g = 3.102 + 6.73 \quad \text{---->} \quad P_g = 9.832$

---

#### SELEZIONE PROFILO

IPE 270  $\text{---->} \quad P = 36 \text{ kg/m}; I_x = 5790 \text{ cm}^4; W_x = 429 \text{ cm}^3$

---

#### VERIFICA STATO LIMITE DI SERVIZIO

$\nu < L/200 \quad L/200 = 13.5 \text{ mm}$

$$\nu = \frac{1}{48} \times \frac{(P_q + P_g) \times L^3}{E \times I} \quad \text{---->} \quad \nu = \frac{1}{48} \times \frac{(16.652 \times 10^3) \times 27^3 \times 10^6}{21 \times 10^4 \times 579 \times 10^5}$$

$\nu = 0.5 \text{ mm} \quad \text{---->} \quad \text{VERIFICATO}$

---

#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

$\sigma < f_d \quad f_d = 213.6 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma = \frac{[(1.4 \times P_q) + (1.5 \times P_g)] \times L}{4 \times W} \quad \text{---->} \quad \sigma = \frac{23994.8 \times 2700}{4 \times 429000}$$

$\sigma = 38 \text{ N/mm}^2 \quad \text{---->} \quad \text{VERIFICATO}$

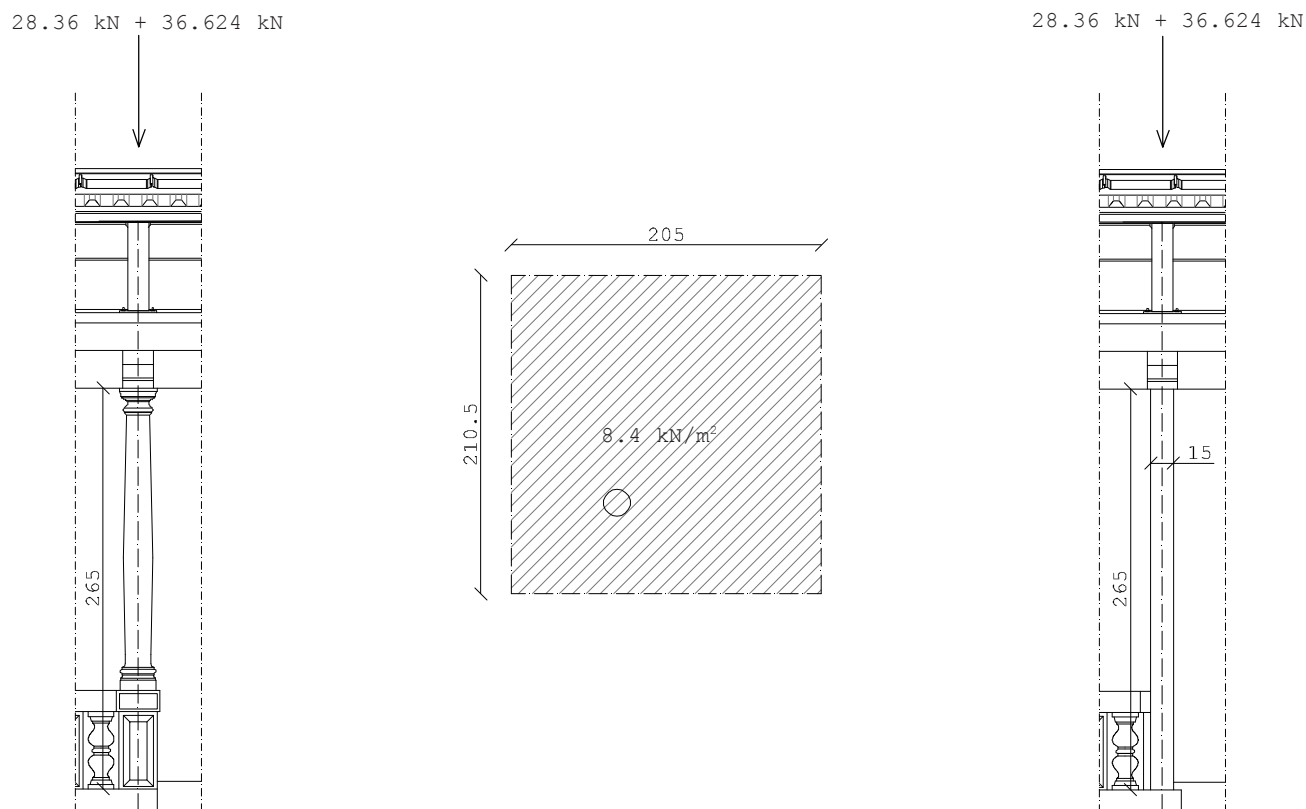
---

### AZIONE ASSIALE SU COLONNA PASSERELLA

A causa della mancanza di informazioni riguardanti alcuni elementi già esistenti, che collaborano nel sostenere la struttura del nostro progetto, non è stato possibile risolvere in modo chiaro alcuni dettagli che riguardano soprattutto i collegamenti tra la nuova struttura ed il preesistente. Si è deciso allora di indicare delle possibili soluzioni da attuare per risolvere le problematiche che potrebbero innescarsi in queste situazioni.

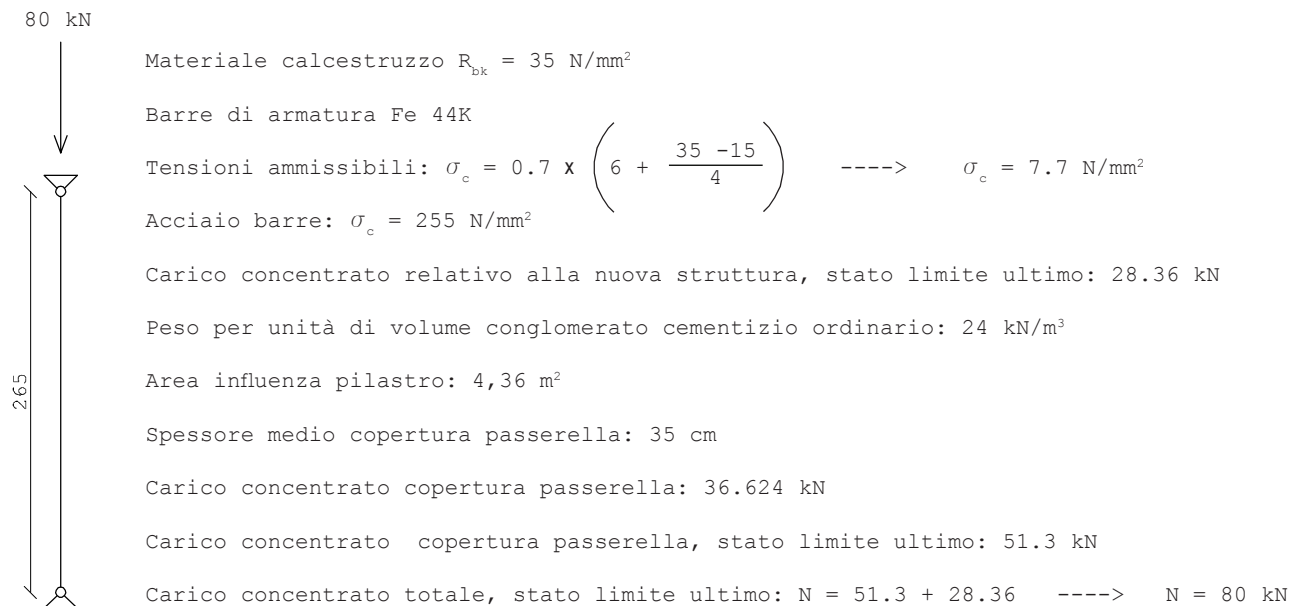
Uno dei punti critici di tutto il sistema è relativo al trasferimento sulle colonne della passerella del carico determinato dal reticolo di travi di acciaio e dalla copertura in lamiera. Non avendo dati che ci possano dare un'idea della reale composizione di questi elementi, è possibile fare solamente delle supposizioni riguardo la loro capacità di supportare un ulteriore carico, oltre a quello della copertura odierna. Ad un'analisi visiva, questi elementi paiono non in perfette condizioni e necessiterebbero di un'opera di restauro. Inoltre, sembrerebbe difficile che questi elementi possano sostenere carichi di una certa entità, a meno che la loro sezione sia in qualche modo rinforzata. Quindi una possibile cantierizzazione della nostra struttura dovrebbe essere sicuramente preceduta da un intervento di restauro delle colonne volto al fine di rinforzarle in modo adeguato per far fronte alle nuove sollecitazioni assiali.

Le colonne più sollecitate sono ovviamente le due coppie delle campate interne. Queste ricevono un'azione assiale, secondo stato limite ultimo, di 28.36 kN, trasmessa dai soprastanti pilastri di acciaio con sezione HEA 140. Il calcolo e la verifica di quest'ultimi elementi non sono stati compresi in questo lavoro, poichè essi hanno una snellezza con valori minimi ed una sezione ampiamente resistente. Le colonne della passerella, oltre a ricevere il carico della nuova copertura, devono sorreggere anche la copertura della passerella. Considerando l'area di influenza che hanno le colonne delle campate interne rispetto alla superficie della copertura della passerella, che è pari a 4.36 m<sup>2</sup>, è possibile stimare un valore indicativo del carico che attualmente reggono le colonne. Il DM 160196 indica come peso per unità di volume di un conglomerato cementizio ordinario (come potrebbe essere quello costituente la passerella) un valore di 24 kN/m<sup>3</sup>. Stimando uno spessore medio della copertura di 35 cm, si ottiene un carico concentrato sull'asse verticale della colonna pari a 36.624 kN. Con ogni probabilità, il carico alla quale sono soggette attualmente le colonne è di minore entità rispetto a quello che è stato appena stimato. Ma questo valore può essere utile per compiere un dimensionamento di un pilastro in C.A. per valutare quanto sia gravosa la nuova struttura soprastante la passerella.



In alto a sinistra: Azione assiale agente su colonna campata interna. \_\_\_ In alto in centro: Schema area di influenza della colonna campata interna. \_\_\_ In alto a destra: prospetto pilastro in C.A..

---

**PILASTRO C.A. PASSERELLA**

---

**SOLUZIONE**

Area calcestruzzo strettamente necessaria:  $A_{c,sn} = N/\sigma_c = 10400 \text{ mm}^2$

Valore lato strettamente necessario:  $b_{min} = \sqrt{A_{c,sn}} = 102 \text{ mm} \text{ ----> } b = 15 \text{ cm}$

Riduzione tensione ammissibile ( $b < 250 \text{ mm}$ ):  $\sigma_c = 0.7 \times [1 - 0.03 \times (25 - 15)] \times \left( 7.7 + \frac{35 - 15}{4} \right)$

$\sigma_c = 6.2 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_d = \sigma_c / \gamma_m \text{ ----> } \sigma_d = 6.2 / 1.1 \text{ ----> } \sigma_d = 5.63 \text{ N/mm}^2$

$A_c = 15^2 = 225 \text{ cm}^2$

$\frac{0.3}{100} \times A_c < A_s < \frac{0.3}{100} \times A_c \text{ ----> } 67.5 \text{ mm}^2 < A_s < 1350 \text{ mm}^2 \text{ ----> } A_s = 4 \times 50 = 201 \text{ mm}^2 \text{ (8mm)}$

---

**VERIFICA DI RESISTENZA**

Area omogeneizzata:  $A_o = A_c + 15 \times A_s \text{ ----> } A_o = 22500 + (15 \times 201) \text{ ----> } A_o = 25515 \text{ mm}^2$

$\sigma < \sigma_d$

$\sigma = N/A_o \text{ ----> } \sigma = 80000/25515 \text{ ----> } \sigma = 3.14 \text{ N/mm}^2 \text{ ----> } \text{VERIFICATO}$

---

---

#### VERIFICA DI STABILITA'

Momento di inerzia:  $I = 15^4/12 \quad \text{---->} \quad I = 4218.75 \text{ cm}^4$

Raggio di inerzia:  $\rho = 4.33 \text{ cm}$

Snellezza:  $\lambda = L/\rho \quad \text{---->} \quad \lambda = 265/4.33 \quad \text{---->} \quad \lambda = 61.2$

Coefficiente  $\omega$ :  $\omega(61.2) = 1.0448$

$\sigma < \sigma_d$

$$\sigma = \frac{\omega \times N}{A_o} \quad \text{---->} \quad \sigma = \frac{1.0448 \times 80000}{25515} \quad \text{---->} \quad \sigma = 3.27 \text{ N/mm}^2 \quad \text{---->} \quad \text{VERIFICATO}$$

$$\sigma_s = 15 \times 3.27 \quad \text{---->} \quad \sigma_s = 49 \text{ N/mm}^2 < 255 \text{ N/mm}^2$$

---

Con il precedente calcolo si vuole dimostrare come non sia necessario un elemento di elevata resistenza e grande sezione per sostenere i carichi verticali generati dalla nuova struttura. Di conseguenza rimane da verificare la capacità portante delle colonne già in sito. Nel caso in cui queste non siano in grado di sostenere i nuovi pesi, potrebbe essere una soluzione sostituire le colonne sottostanti il reticolo di travi di acciaio con dei pilastri in calcestruzzo. Potrebbero essere impiegati anche pilastri di acciaio, invece del calcestruzzo. Questa soluzione è già stata adottata su una passerella coperta del Campus Leonardo del tutto simile a quella presente su piazza Gardella. Gli elementi in acciaio hanno il pregio di prevedere un collegamento alla struttura originale meno complicato, ma sono in aperto contrasto con le forme ed il materiale delle colonne, mentre un pilastro in calcestruzzo si inserirebbe nel contesto in maniera decisamente migliore.



A lato: Pilastro HEA presente nella passerella retrostante l'edificio est.

## ANCORAGGIO CAVI TRASVERSALI E TIRANTI JAWERTH SU PILASTRI EDIFICI EST E OVEST

Un altro aspetto che non è stato possibile indagare in maniera più accurata, data la mancanza di una documentazione adeguata, è relativo all'ancoraggio dei cavi principali della struttura, ovvero i cavi trasversali e i tiranti Jawerth, sulla muratura dell'edificio ovest e dell'edificio est. Non avendo a disposizione informazioni che possano far comprendere quale tipologia di muratura li caratterizza, si sono potute fare soltanto ipotesi riguardo alle modalità di ancoraggio dei cavi.

Una prima soluzione potrebbe essere quella di ancorare i cavi ai setti murari degli edifici mediante un capocorda cilindrico dotato di un'asta filettata che, attraverso un foro nella muratura, raggiunge una piastra metallica che aderisce alla superficie della muratura interna. L'asta filettata si collega alla piastra tramite un dado di serraggio posto alla sua estremità. Con questa tipologia di collegamento, il tiro generato dal cavo dovrebbe essere contrastato unicamente dalla sezione del pilastro. Infatti, se consideriamo la situazione più sfavorevole che si potrebbe incontrare, ovvero una muratura classica in mattoni sprovvista di elementi di rinforzo, la forza reagente alla tensione del cavo sarebbe determinata dall'attrito esistente nella sezione del pilastro in corrispondenza dell'approdo del cavo. Infatti, il tiro del cavo tende a far scorrere le due sezioni generando una forte azione di taglio. Questa forza può essere contrastata, in questo caso, solo dall'attrito esistente tra le due sezioni contigue del pilastro. L'attrito è tanto maggiore quanto è più importante il peso della struttura soprastante l'ancoraggio. Sarebbe necessario dunque constatare quanta azione verticale agisce sul pilastro dell'edificio e confrontare tale valore con la tensione dei cavi.

Un procedimento migliore per assicurarsi che le forze interne ai cavi non destabilizzino la struttura degli edifici, sopra i quali si ancorano, deve prevedere dei dispositivi che diffondano la componente orizzontale dei cavi su più elementi costituenti la membratura portante dell'edificio, in modo da far collaborare parti della struttura non in diretto contatto con il cavo. Un esempio di questo genere potrebbe essere il collegamento del cavo ad un solaio che oltre a trasmettere la componente orizzontale ai pilastri di facciata, ha la capacità di far collaborare anche le membrature interne. Nel nostro caso questa tipologia di soluzione potrebbe prendere in considerazione di ancorare i cavi su i nuovi solai, di recente costruzione, dei soppalchi del piano terra dell'edificio ovest.

# TAVOLE

## CAPITOLO 5

- Tavola 5.0: Struttura\_Pianta schema strutturale scala 1:100
- Tavola 5.1: Calcolo struttura cavi\_Pianta geometria di input struttura nord scala 1:100
- Tavola 5.2: Calcolo struttura cavi\_Pianta geometria di input struttura sud scala 1:100
- Tavola 5.3: Calcolo struttura cavi\_Pianta geometria di input tiranti Jawerth scala 1:50
- Tavola 5.4: Calcolo struttura cavi\_Output formfind struttura nord scala 1:100
- Tavola 5.5: Calcolo struttura cavi\_Output formfind struttura sud scala 1:100







**Un Velarium al  
 Politecnico**

Progetto di un sistema  
 di ombreggiamento retrattile  
 per piazza Gardella

Studente:  
 Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
 Matricola: 709095

Relatrice:  
 Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
 Ing. Paolo Beccarelli

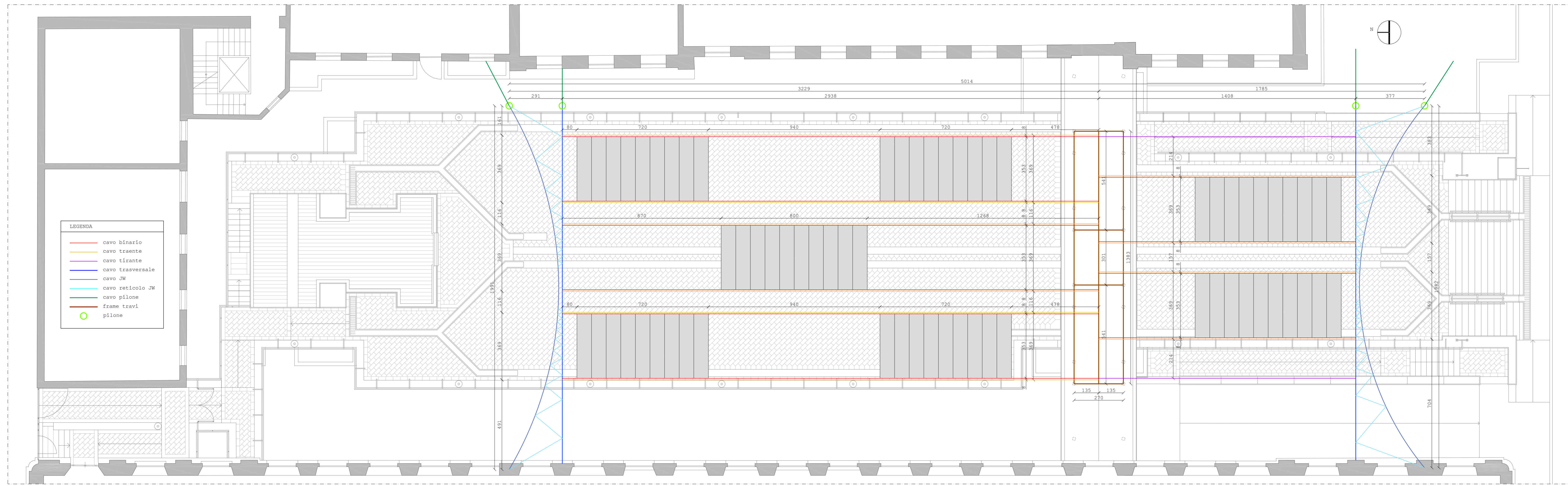
**STRUTTURA**

PIANTA SCHEMA  
 STRUTTURALE

SCALA 1:100

TAVOLA

**5.0**





POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### CALCOLO STRUTTURA CAVI

PIANTA GEOMETRIA DI INPUT  
STRUTTURA NORD

SCALA 1:100

TAVOLA

# 5.1





POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

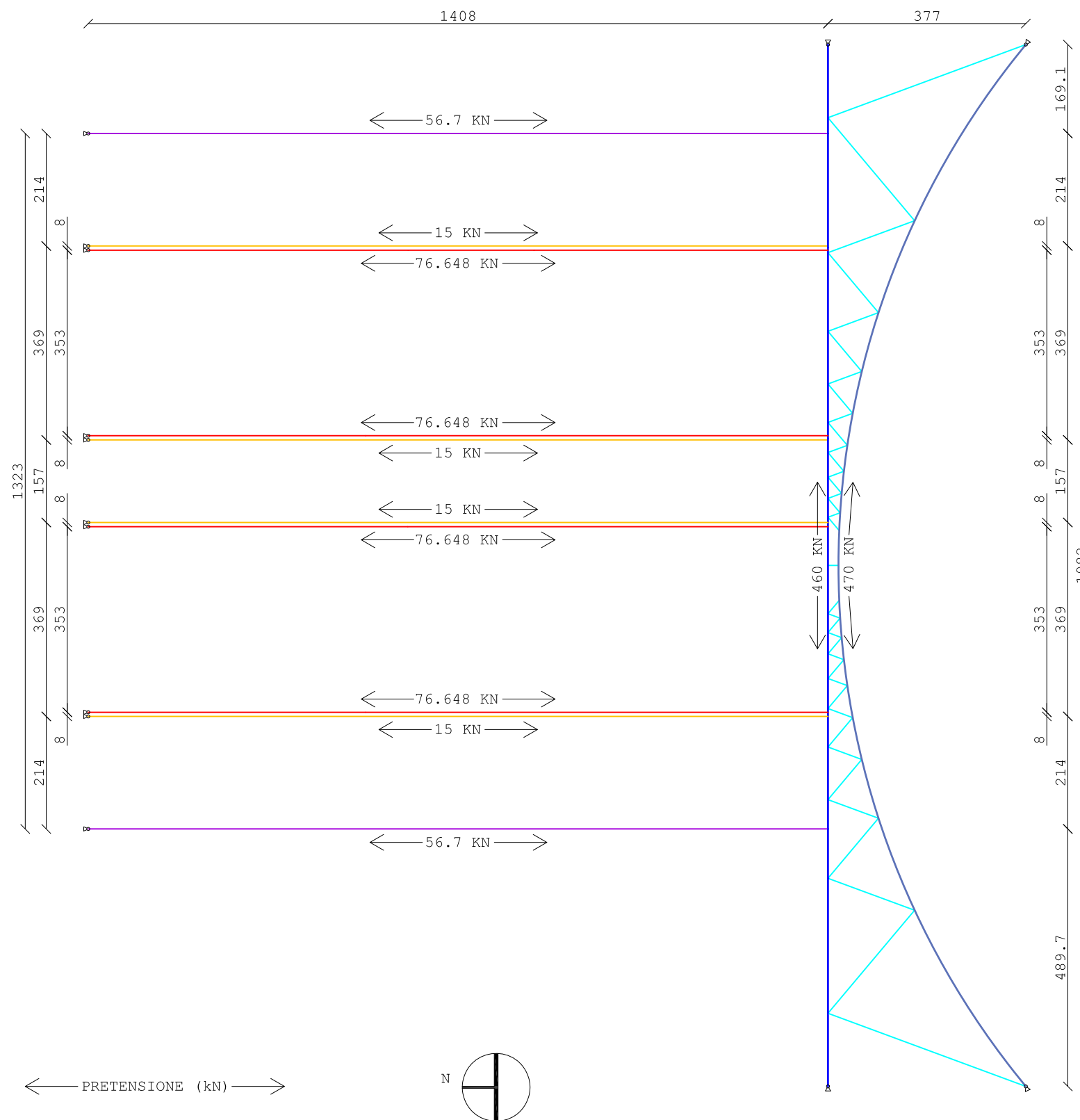
### CALCOLO STRUTTURA CAVI

PIANTA  
GEOMETRIA DI INPUT  
STRUTTURA SUD

SCALA 1:100

TAVOLA

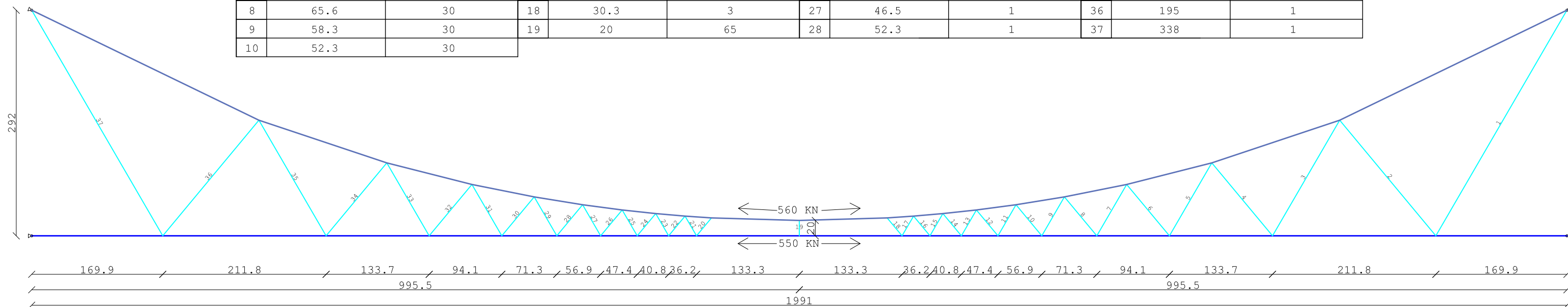
# 5.2



DATI CAVETTI JAWERTH NORD

N	lunghezza (cm)	pretensione (kN)	N	lunghezza (cm)	pretensione (kN)	N	lunghezza (cm)	pretensione (kN)	N	lunghezza (cm)	pretensione (kN)
1	338	47	11	46.5	3	20	30.3	42	29	58.3	1
2	195	47	12	43.6	3	21	29.6	42	30	65.6	1
3	173.2	5	13	38.7	1	22	33.3	13	31	77	1
4	123	5	14	37.5	1	23	33.3	13	32	86.6	29
5	109.3	45	15	33.3	1	24	37.5	1	33	109.3	29
6	86.6	45	16	33.3	1	25	38.7	1	34	123	7
7	77	30	17	29.6	3	26	43.6	1	35	173.2	7
8	65.6	30	18	30.3	3	27	46.5	1	36	195	1
9	58.3	30	19	20	65	28	52.3	1	37	338	1
10	52.3	30									

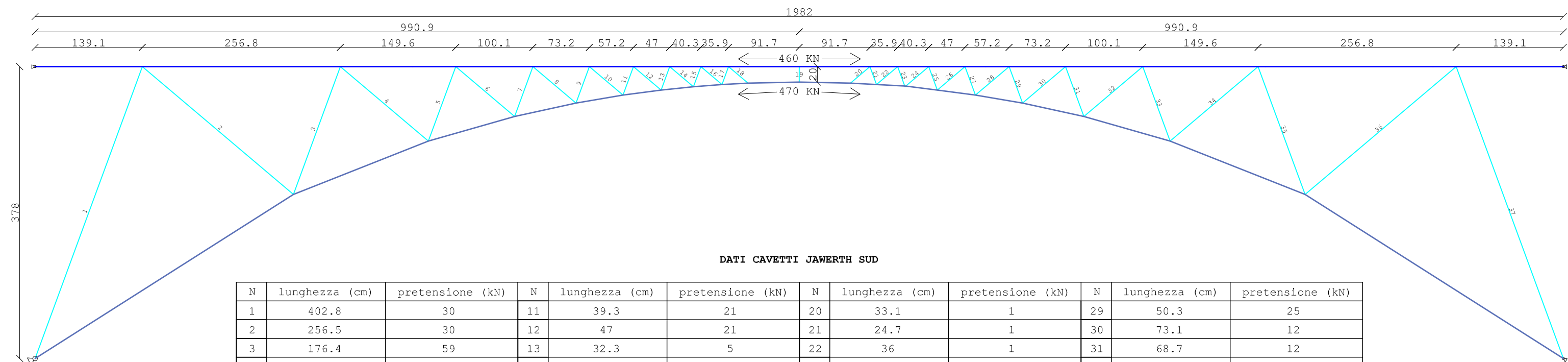
← PRESSIONE (kN) →



DATI CAVETTI JAWERTH SUD

N	lunghezza (cm)	pretensione (kN)	N	lunghezza (cm)	pretensione (kN)	N	lunghezza (cm)	pretensione (kN)	N	lunghezza (cm)	pretensione (kN)
1	402.8	30	11	39.3	21	20	33.1	1	29	50.3	25
2	256.5	30	12	47	21	21	24.7	1	30	73.1	12
3	176.4	59	13	32.3	5	22	36	1	31	68.7	12
4	149.4	59	14	40.3	5	23	27.7	1	32	100	12
5	102.7	1	15	27.7	5	24	40.3	1	33	102.7	12
6	100	1	16	36	5	25	32.3	1	34	149.4	11
7	68.7	4	17	24.7	20	26	47	1	35	176.4	11
8	73.1	4	18	33.1	20	27	39.3	1	36	256.5	1.8
9	50.3	24	19	20	27	28	57.1	25	37	402.8	1.8
10	57.1	24									

← PRESSIONE (kN) →



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente: Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice: Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore: Ing. Paolo Beccarelli

CALCOLO STRUTTURA CAVI

GEOMETRIA DI INPUT TIRANTI JAWERTH

SCALA 1:50

TAVOLA

5.3



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

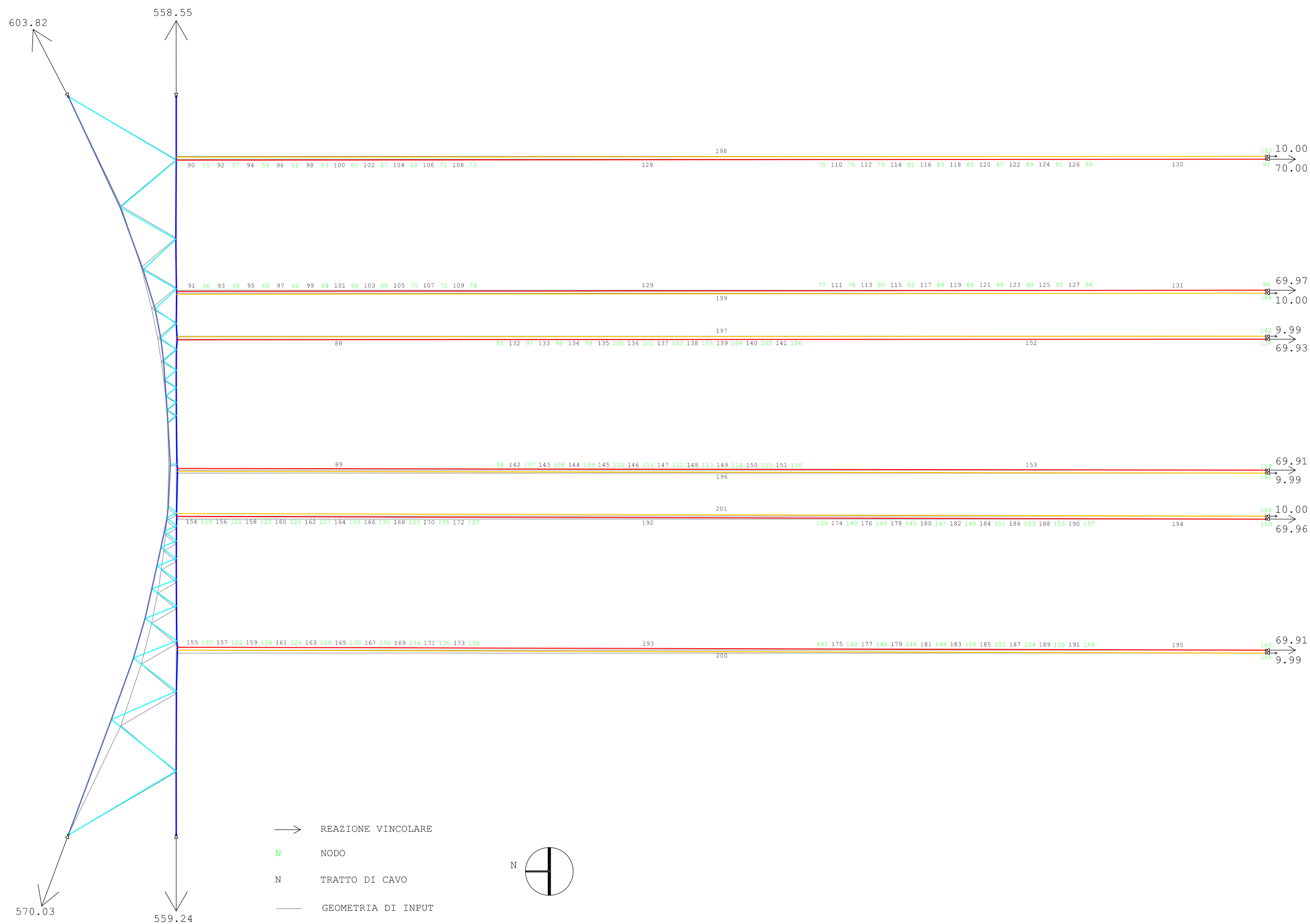
### CALCOLO STRUTTURA CAVI

OUTPUT FORMFIND  
STRUTTURA NORD

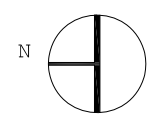
SCALA 1:100

TAVOLA

# 5.4



- REAZIONE VINCOLARE
- N NODO
- N TRATTO DI CAVO
- GEOMETRIA DI INPUT





POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

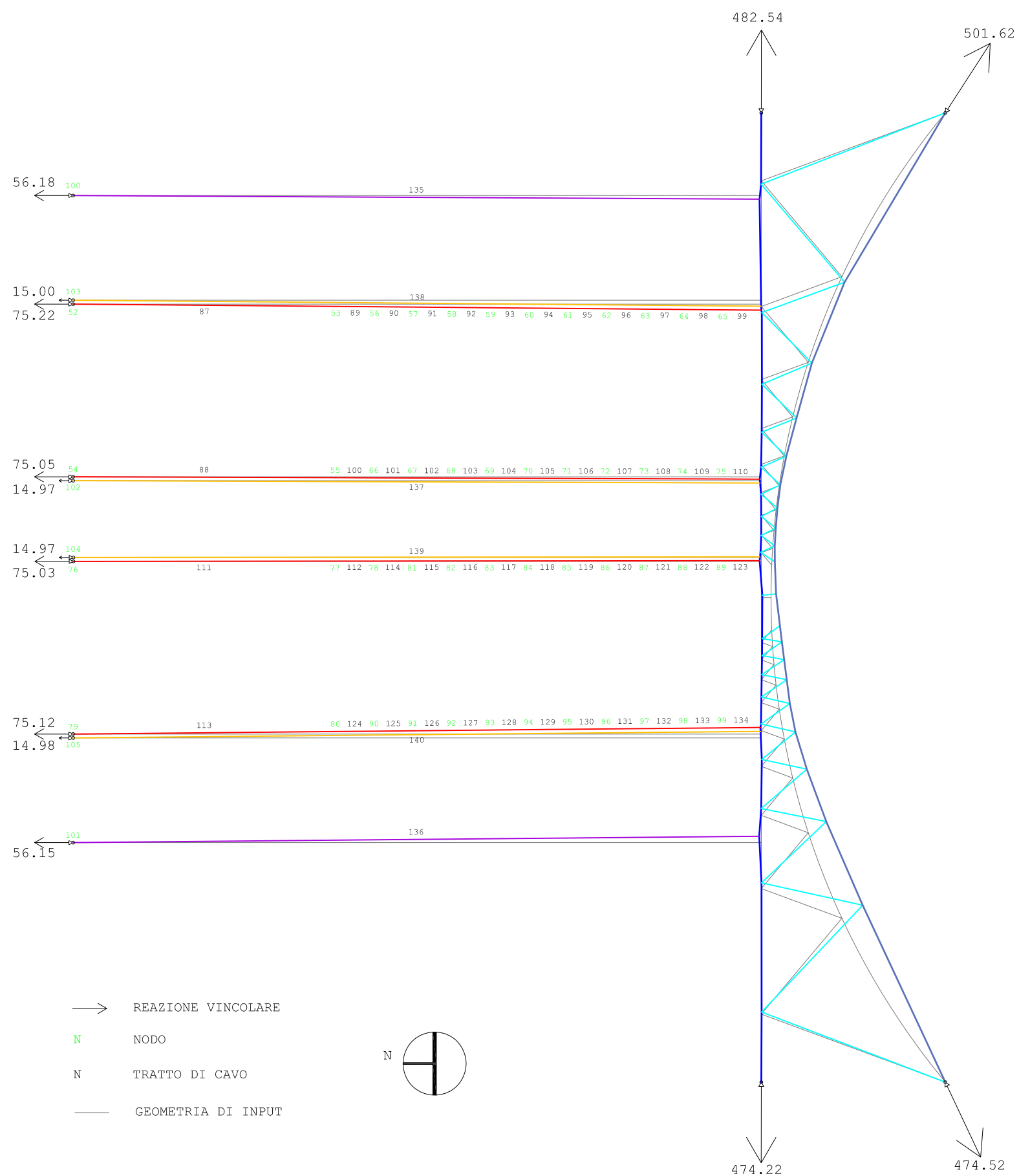
### CALCOLO STRUTTURA CAVI

OUTPUT FORMFIND  
STRUTTURA SUD

SCALA 1:100

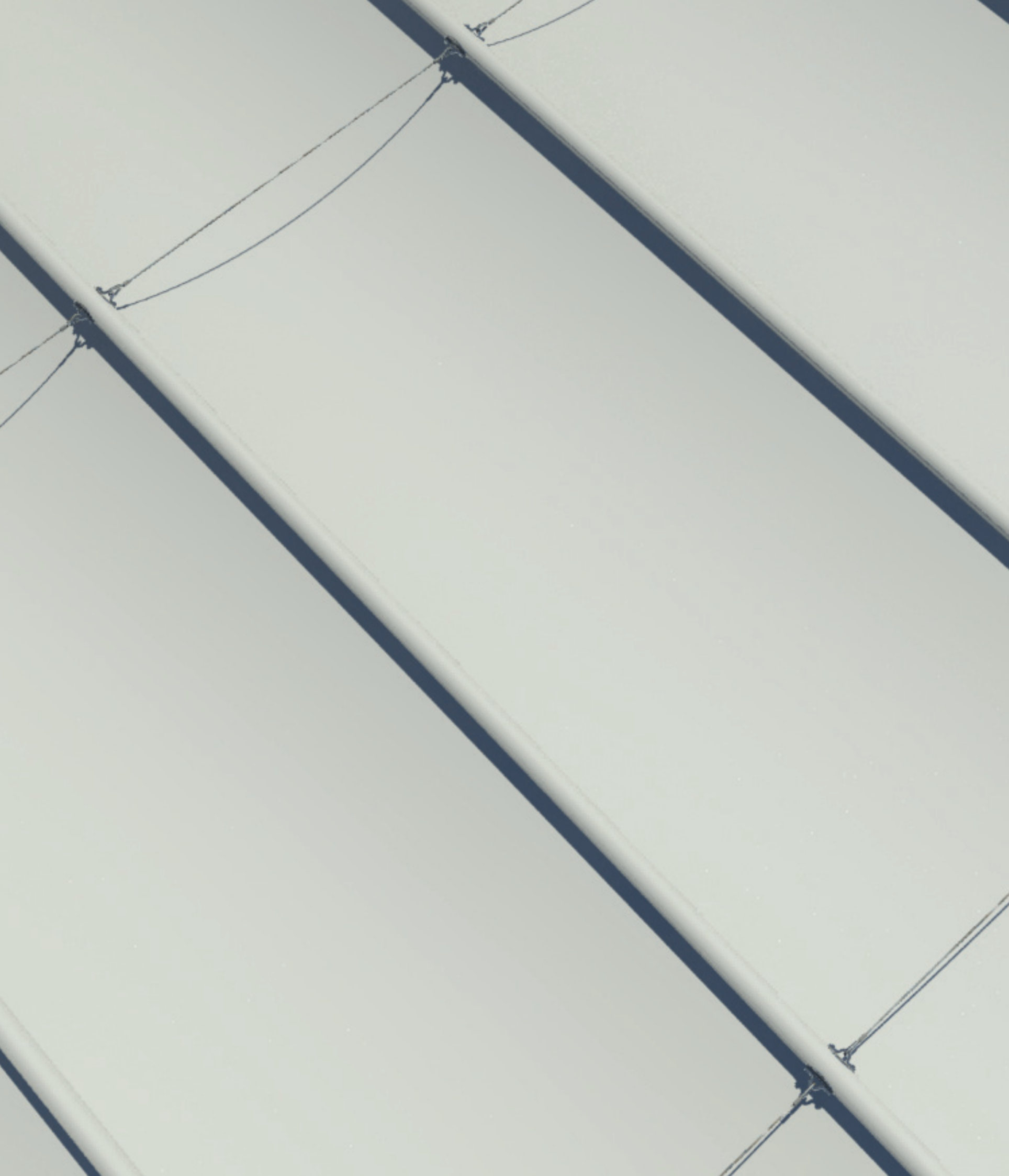
TAVOLA

# 5.5









## SUBSISTEMI STRUTTURA

L'intera struttura del progetto può essere suddivisa in cinque sottosistemi. Eseguiamo questa scomposizione per avere l'opportunità di esporre in modo chiaro e dettagliato gli aspetti tecnologici

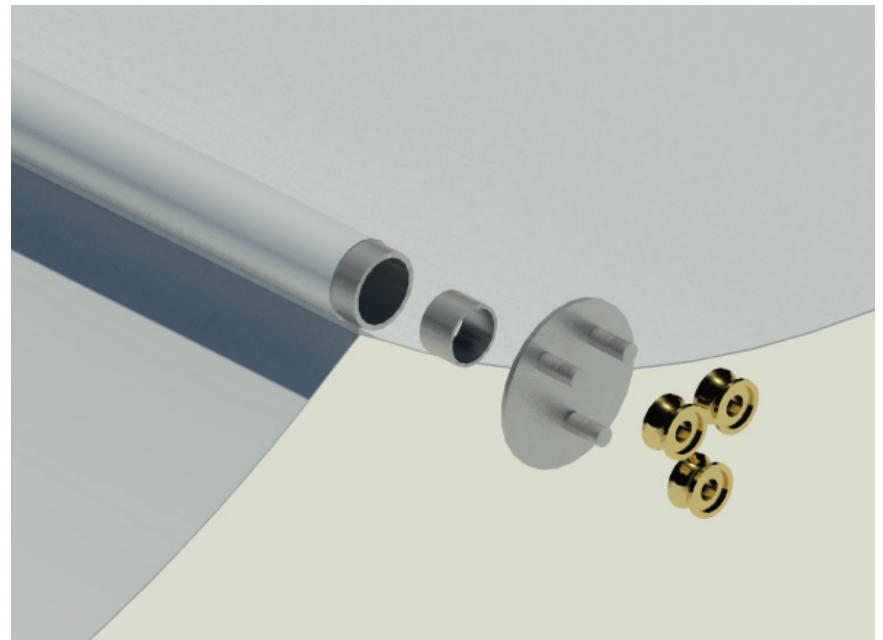
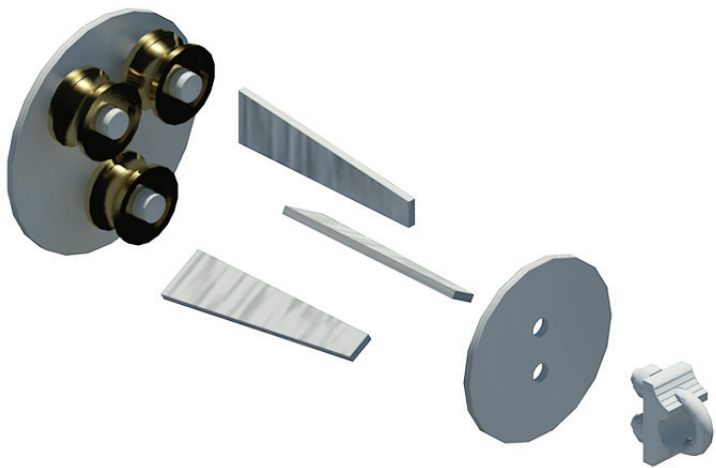
del nostro progetto. I primi elementi analizzati sono le tende, delle quali sono descritti gli elementi che le compongono e ne permettono il movimento lungo i cavi. Poi indicheremo quali aspetti caratterizzano la struttura di cavi di acciaio che supportano le tende, chiarendo il funzionamento del sistema traente e le modalità di apertura e chiusura delle tende. I successivi sottosistemi presentati sono quelli che concorrono a reggere, assieme alla muratura dell'edificio ovest, la struttura dei cavi. Questi sono le due coppie di pilastri dei tiranti Jawerth, che concludono la struttura dei cavi a nord e a sud, ed il reticolo di travi di acciaio posizionate al di sopra della passerella. L'ultimo elemento analizzato è la nuova copertura in lamiera grecata che ricopre il reticolo delle travi di acciaio.

## TENDE

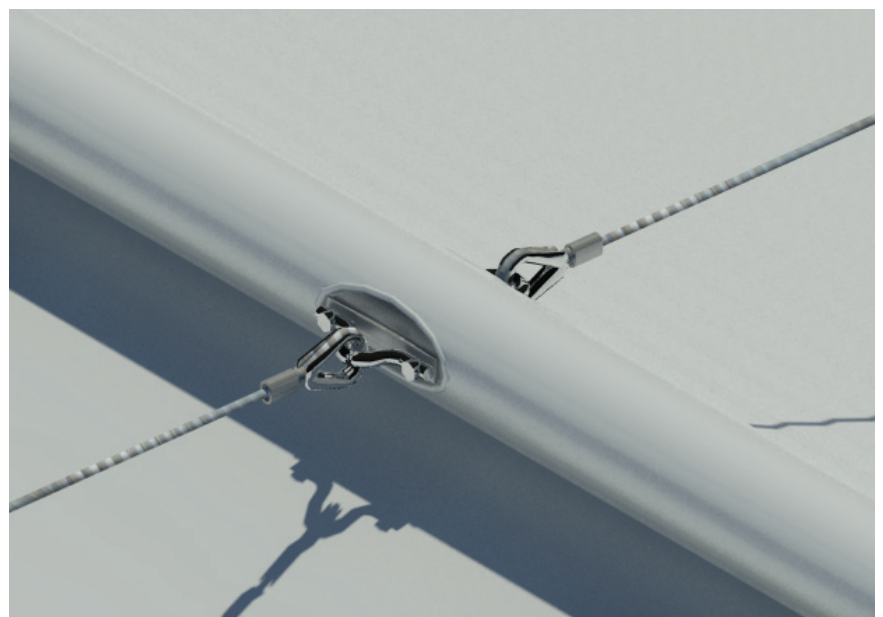
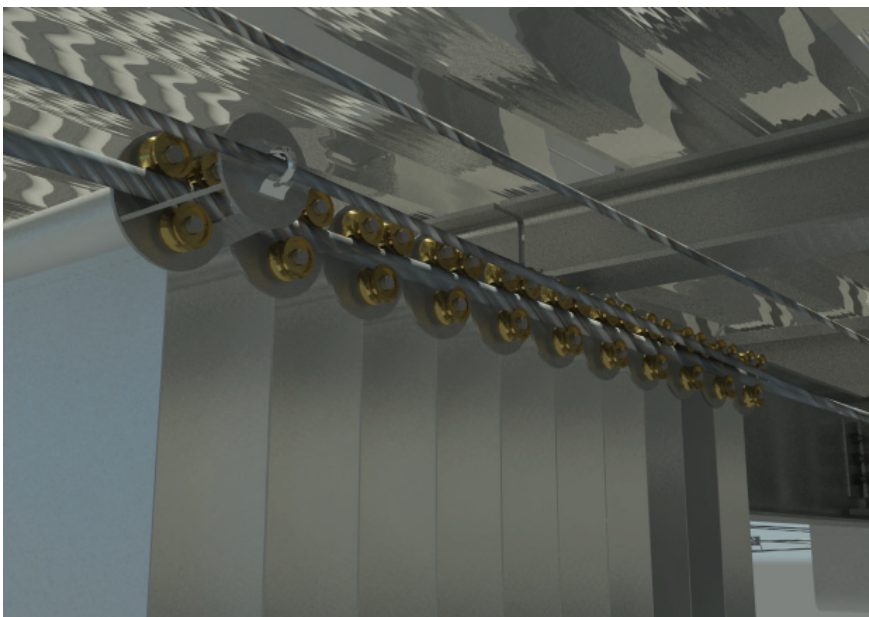
I componenti principali delle tende sono due: il tessuto e le bacchette alle quali si appende. Le bacchette sono uguali per tutte le tende e sono costituite da più elementi che svolgono diverse funzioni. Un profilato tubolare di acciaio, avente il diametro di 40 mm ed uno spessore di 3 mm, rappresenta l'elemento primario della bacchetta ed ha il compito di reggere il tessuto. Esso ha una lunghezza di 350 cm e si distende, in direzione trasversale alla piazza, compreso all'interno delle coppie di cavi del sistema guida. Alle estremità del profilato, sono avvitate delle piastre circolari di acciaio dal diametro di 86mm e dello spessore di 3 mm, sulle quali sono assicurati i tre mozzi delle rotelle in ottone che permettono lo scorrimento della tenda sul cavo binario. Sono previste tre rotelle per estremità, due superiori al cavo binario ed una terza inferiore, da montare una volta che le due superiori siano già in contatto col cavo binario. Grazie a questo accorgimento la tenda è assicurata al cavo binario evitando che possa alzarsi in caso di fenomeni destabilizzanti, come può essere una forte raffica di vento. Quando la tenda è in configurazione chiusa, ripiegata sotto la copertura della passerella, le estremità delle bacchette sono a contatto tra loro, mentre, la distanza tra una bacchetta e quella successiva con la tenda in configurazione aperta è pari a 80 cm, ovvero l'ampiezza di uno span della tenda. L'estremità della bacchetta di testa di ogni singola tenda, hanno un'appendice ulteriore che consente loro di aderire al cavo traente. Questa consiste in tre piastre di acciaio, saldate alla piastra circolare di 86 mm, sulle estremità delle quali è saldata un'altra piastra circolare spessa 3mm e con un diametro di 66 mm. Questa presenta un morsetto in acciaio inox grazie al quale il cavo traente è assicurato alla bacchetta di testa.

La bacchetta ha degli altri elementi complementari che ne permettono il corretto funzionamento durante le fasi di apertura. Questi sono una coppia di cavetti di acciaio del diametro di 3 mm rivestiti in PVC che collegano le bacchette tra di loro. Il rivestimento evita la possibilità della formazione di macchie sul tessuto causate dal contatto che può avvenire tra questo ed i cavetti quando le tende sono ripiegate. I cavetti si agganciano sul fianco delle bacchette tramite delle redance inserite su dei ponticelli avvitati alla superficie del profilato tubolare. Entrambi questi elementi sono in acciaio inox. I cavetti sono posizionati in maniera tale che la loro rispettiva area di influenza sia pari alla metà della lunghezza della bacchetta. Questi elementi trainano la tenda durante le fasi di apertura e permettono di mantenere il drappeggio ad onda del tessuto, poiché evitano che quest'ultimo si appiattisca. In questa maniera, una volta che la tenda è tutta distesa, tutte le bacchette rimangono ad una distanza fissa tra loro, determinando degli span di 80 cm.

Il tessuto scelto per le tende è un Ferrari Preconstraint 502 S2. Questo è composto da una fibra di poliestere con una matrice in PVC ed è per questa ragione classificato come prodotto multi componente. Questa è la tipologia di tessuto tecnico più comunemente usata in architettura in quanto offre un miglior rapporto tra costo, prestazioni e durata. Il filato di poliestere offre un'ottima tenacità, resilienza, elevata resistenza all'abrasione, alle pieghe, al calore, un elevato modulo di



In alto a sinistra: Vista assonometrica dei singoli componenti che costituiscono l'estremità delle bacchette di testa delle tende. \_\_\_ In alto a destra: Vista assonometrica dei componenti della piastra avvitata all'estremità dei profilati tubolari delle tende. \_\_\_ In basso a destra: Vista prospettica dei cavetti che collegano le bacchette delle tende tra di loro. \_\_\_ In basso a sinistra: Vista prospettica di una tenda ricoverata sotto la nuova copertura della passerella.



elasticità, una minima ripresa di umidità ed una buona resistenza agli agenti chimici e fisici. Tutte queste prestazioni soddisfano l'esigenze del nostro progetto. Un unico problema è relativo alla matrice in PVC che risulta essere molto sensibile alla luce e al calore, che ne determinano un decadimento che può causare l'ingiallimento e, a temperature più elevate, la decomposizione del materiale. Per questa ragione, il PVC viene stabilizzato. Nel caso del Precontraint tale compito è sostenuto da uno strato di finissaggio composto da una laccatura fluorurata. Grazie a questo strato protettivo, il tessuto Precontraint ha una durata di vita considerevolmente prolungata. Dato che il tessuto non è in tensione e non deve resistere a sforzi eccessivi, poiché è semplicemente adagiato sulle bacchette, si è utilizzato il materiale più leggero che offrisse le migliori prestazioni. Tra queste, la traslucidità è uno dei fattori più importanti, dato che preserva la luce naturale. Mentre l'elevato potere di riflessione del calore da parte del tessuto contribuisce al miglioramento del benessere degli avventori della piazza che sostano al di sotto delle tende. I fili di poliestere del tessuto beneficiano di un trattamento anti-capillarità denominato Low Wick. Questo trattamento, applicato durante la produzione in stabilimento, permette di limitare l'assorbimento di umidità nei fili evitando la formazione di macchie e muffe. Il tessuto Precontraint è conforme alle norme europee ed internazionali di reazione al fuoco. Tali norme richiedono l'auto estinzione del materiale in presenza di fiamma, la scarsa propagazione delle fiamme e l'assenza di caduta delle particelle infiammate. Tutti questi requisiti sono soddisfatti grazie alla intrinseca termoplasticità del tessuto.

Come abbiamo più volte ripetuto, il tessuto delle tende non è in pretensione. Di conseguenza, la sua superficie non sarà anticlastica a doppia curvatura, come avviene in una membrana di una tensostruttura classica. È quindi possibile distendere le tre tipologie di tessuto che compongono le tende del nostro progetto ed ottenere delle superfici piane. La superficie delle tende distese è formata da ferzi che sono corrispondenti a due span delle tende. Così facendo la cucitura che unisce un ferzo all'altro avviene a livello delle bacchette delle tende ed è poco evidente. Inoltre, le dimensioni dei due span distesi sono appropriate poiché riescono ad essere comprese all'interno dell'ampiezza della bobina di materiale fornita dall'azienda. I ferzi della tenda sono cuciti ad un elemento tubolare di tessuto, provvisto di fori in corrispondenza dei ponticelli, rinforzati ai bordi con uno strato ulteriore di tessuto. Una volta ottenuta la superficie necessaria, questa viene inserita, tramite i tubi di tessuto, lungo i profilati delle bacchette. Successivamente vengono avvitati i ponticelli ed infine le piastre di estremità. In questa maniera la tenda quando arriva in cantiere è già pronta per essere messa in posizione sui cavi binario.

Fino a pochi anni fa, il tessuto poliestere PVC era universalmente riconosciuto come altamente impattante e difficile da riciclare. Esso veniva smaltito per incenerimento e durante tale processo veniva rilasciata diossina, sostanza altamente tossica. Negli ultimi anni è stato messo a punto un processo di riciclaggio selettivo che consente di separare le fibre di poliestere dalla matrice in PVC. Tale processo, ideato dal gruppo Ferrari in collaborazione con il gruppo chimico Solvay, è stato denominato Texyloop ed iscrive il tessuto Precontraint nelle

strategie di edilizia sostenibile, rendendo questo tessuto riciclabile al 100%. Infatti, i due componenti ricavati dalla separazione del materiale di partenza sono riutilizzati per la produzione di prodotti meno nobili. L'analisi tramite le ACV (analisi del ciclo di vita) dimostra che la maggior parte degli impatti sull'ambiente (80% in media) che hanno i materiali edilizi è generato dall'estrazione e dalla produzione delle materie prime. Producendo materie prime provenienti dal riciclaggio, Texyloop evita l'estrazione e la produzione di materie prime vergini. Grazie a questo meccanismo, il riciclaggio riduce gli impatti ambientali. Texyloop consiste in un processo di riciclaggio a circuito chiuso determinato da diverse fasi: frantumazione, dissoluzione selettiva, separazione delle fibre, precipitazione del PVC, rigenerazione del solvente. Tale processo permette di evitare l'incenerimento e la messa in discarica del materiale. Le nuove materie prime raggiungono invece il circuito industriale del Gruppo Ferrari o quello di altre industrie.



In altro, da sinistra a destra: Morsetto inox Gaudenzi; Ponticello inox Gaudenzi; Redancia inox Gaudenzi. \_\_\_ In basso: Scheda tecnica tessuto Ferrari Precontraint 502 S2.

	<b>PRECONTRAI<sup>®</sup> 502 S2 TRASLUCIDO</b>	NORME
FILATO	1100 dtex PES HT TRATTAMENTO ANTI-CAPILLARITÀ	<b>TERSUISSE</b> 6
PESO	590 g/m <sup>2</sup>	EN ISO 2286-2
ALTEZZA	250/267 cm (Altre altezze disponibili : consultateci)	
RESISTENZA ALLA TRAZIONE (ORDITO/TRAMA)	280/280 daN/5 cm	EN ISO 1421
RESISTENZA ALLO STRAPPO (ORDITO/TRAMA)	28/28 daN	DIN 53.363
ADERENZA	10/10 daN/5 cm	EN ISO 2411
FINISSAGGIO	FORMULA <b>S2</b> LACCATURA FLUORATA SALDABILE	
TRASMISSIONE LUMINOSA	19%	NFP 38 511
REAZIONE AL FUOCO (502S TRASLUCIDO)	<b>M2/NFP 92-507 • TEST 1/NFPA 701 • CSFM T19 • UBC 31-1 • CLASSE A/ASTM E84 • B1/DIN 4102-1 • BS 7837 • GROUP 1/AS/NZS 3837 • 1530.3/AS/NZS • SP METHOD 2205 • CLASSE 2/UNI 9177 • LP7 • M2/UNE 23.727 • VKF 5.3/SN 198898 • LARGE SCALE CAN U2C5 109 • B1/ONORM B3800-1 • ROCT 3044.97</b>	
REAZIONE AL FUOCO (702S TRASLUCIDO)	<b>M2/NFP 92-507 • TEST 2/NFPA 701 • CSFM T19 • CLASSE A/ASTM E84 • B1/DIN 4102-1 • BS 7837 • GROUP 1/AS/NZS 3837 • 1530.3/AS/NZS • SITAC/SINTEF/ETA/SIS 650082 • B1/ONORM B 3800-1 • LP7 • M2/UNE 23.727 • VKF 5.2/SN 198898 • CLASSE 1/UNI 9177</b>	
TEMPERATURE MASSIME DI UTILIZZO	-30°C/+70°C	-30°C/+70°C
SISTEMA DI MANAGEMENT DELLA QUALITÀ		ISO 9001

## STRUTTURA DEI CAVI DI ACCIAIO

I primi cavi che analizziamo sono la coppia che costituiscono i sistemi guida delle tende, ovvero i cavi che permettono il movimento delle tende lungo la superficie della piazza. I cavi che hanno diretto contatto con le tende sono i cavi binario. Questi sono delle funi spiroidali con una sezione del diametro di 16 mm. Le singole estremità di questi cavi sono costituite da un terminale a forcella, che aggancia il cavo binario alla trave centrale della passerella, ed un tenditore, che lo collega invece al cavo trasversale. Per mezzo di quest'ultimo elemento, è possibile regolare la tensione del cavo binario, sia in fase di innalzamento della struttura, che durante la sua vita, al fine di monitorare la tensione residua.

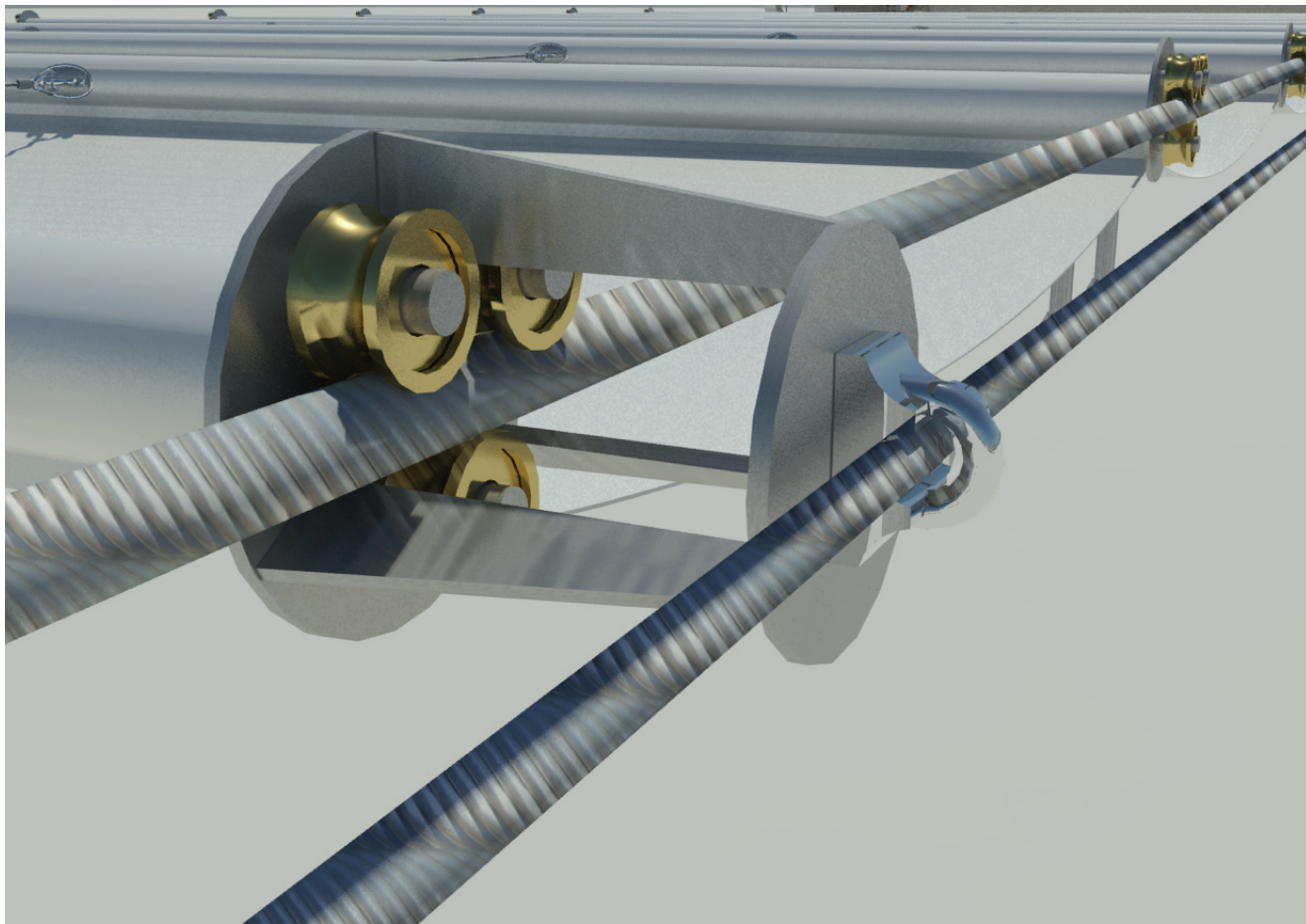
Il cavo traente è posto esternamente al precedente ad una distanza di 8 cm. È anch'esso una fune spiroidale, ma con una sezione di 8 mm. Questo elemento ha una lunghezza effettiva che è doppia rispetto al cavo binario poiché si sviluppa su due livelli, distanti tra loro di circa 14 cm, distanza pari al diametro delle pulegge grazie alle quali si muove. Le due estremità del cavo traente sono un tenditore, che permette di regolarne la tensione, ed un terminale ad occhio, entrambi in acciaio inox. Le due pulegge del cavo traente affiancano i terminali del cavo binario sia in corrispondenza della trave centrale che del cavo trasversale. La puleggia fissata alla trave centrale è affiancata da un motore elettrico che ne aziona la rotazione che consente di distendere o ritirare le tende. Lungo i cavi traenti dei sistemi guida esterni dell'area nord, gli unici sopra i quali scorrono due tende, sono ammortati degli elementi cilindrici in acciaio che hanno un diametro leggermente superiore alla sezione del cavo traente, pari a 12 mm, ed una lunghezza di 20 mm. Tali elementi, in fase di apertura, hanno la funzione di agganciare la bacchetta di testa della tenda più interna alla passerella.

Gli ultimi cavi longitudinali (che si sviluppano lungo l'asse principale della piazza) che prendiamo in considerazione, sono i cavi tiranti della struttura sud, che effettuano un'azione equilibrante per l'intera struttura. Questi sono funi spiroidali con una sezione del diametro di 12 mm aventi gli stessi terminali del cavo binario, ovvero una forcella per il collegamento con la trave centrale ed un tenditore sul cavo trasversale.

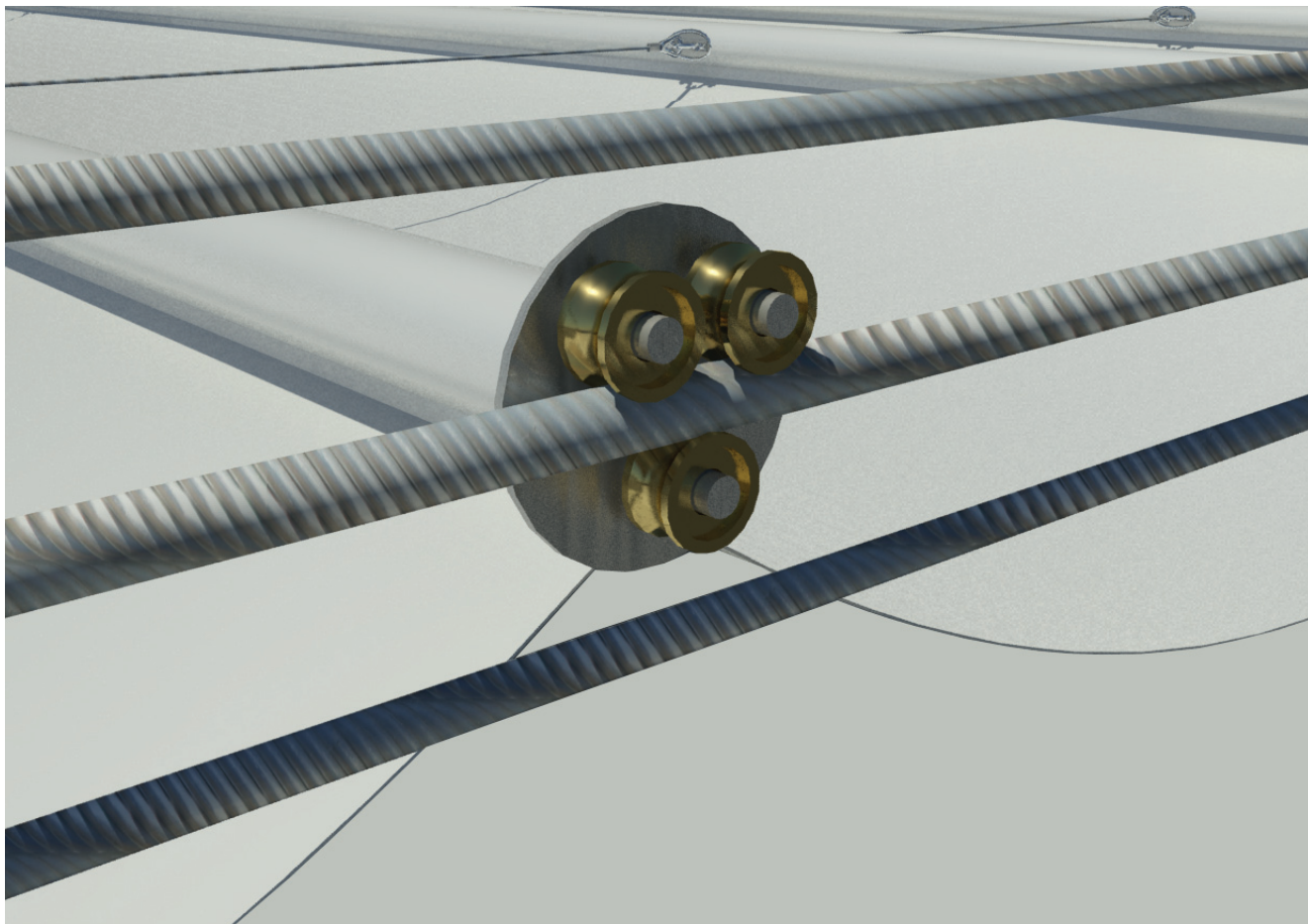
I tenditori sono sempre degli elementi di grandi dimensioni, se confrontati con la sezione dei cavi sui quali operano. A questo si aggiunge il fatto che, al fine di aumentare la tensione o allentare il cavo, questi elementi hanno una lunghezza non indifferente. Per queste ragioni, è stata presa la decisione di posizionare tutti i tenditori lungo i collegamenti coi cavi trasversali, con il fine di risparmiare più spazio possibile per ricoverare le tende al di sotto della nuova copertura della passerella.

I cavi longitudinali si agganciano alle travi centrali mediante delle piastre saldate alle anime ed alle flangie di queste, mentre l'approdo sul cavo trasversale è costituito da altre piastre in acciaio saldate ad un elemento ammortante il cavo principale.

Per quanto riguarda il meccanismo di apertura e chiusura delle tende, vi sono vari elementi che concorrono nel realizzarlo. Il componente più importante è il cavo traente il quale, collegandosi alla bacchetta di testa della tenda, la mette in moto,



In alto: Vista prospettica dell'estremità della bacchetta di testa della tenda. \_\_\_ In basso: Vista prospettica dell'estremità che scorre sul cavo binario.





facendola scorrere sul cavo binario, fino a farle raggiungere la sua posizione finale. Il moto del cavo traente è trasmesso alle bacchette successive grazie alle coppie di cavetti di 3 mm di diametro che collegano una bacchetta all'altra. Di conseguenza, mano a mano che il cavo traente trascina la bacchetta di testa in avanti, si aprono sempre più span grazie all'azione dei cavetti delle tende. Una volta che la tenda è completamente aperta, questa viene posizionata dalla coppia di cavi traenti nella posizione finale della configurazione aperta. Il ripiegamento e ritiro delle tende avviene grazie al movimento opposto del cavo traente, che fa muovere la bacchetta di testa in direzione della passerella. Così facendo, la bacchetta di testa si incontra con la seconda bacchetta che viene spinta contro la successiva e così via in progressione, fino a quando la tenda si ritrova totalmente ripiegata. Il movimento del cavo traente continua fino a quando la tenda non ritorna nella sua posizione di ricovero, sotto la copertura. Una situazione singolare si presenta lungo i sistemi guida con due tende dell'area nord. Questi presentano un problema relativo allo scorrimento, in fase di apertura, delle tende più interne alla passerella. Infatti, se la tenda esterna scorre in modo del tutto simile alle tende degli altri sistemi guida, la tenda interna deve incominciare a distendersi non immediatamente dopo la tenda esterna, ma lasciando che si generi una distanza di 9 m tra i due elementi oscuranti. Per tale ragione, è stato necessario studiare un dispositivo che permettesse la corretta apertura di queste tende. La bacchetta di testa della tenda interna è caratterizzata dalla presenza di un morsetto che consente lo scorrimento al suo interno del cavo traente di 8 mm. In questo modo, mentre la prima tenda inizia la sua fase di apertura, quella interna rimane ferma in posizione. Nel frattempo l'elemento cilindrico ammorsato al cavo oltrepassa la puleggia della trave centrale, passa sul cavo inferiore del sistema traente e arriva al contatto con l'estremità della bacchetta di testa della tenda interna. Il cilindro ammorsato aggancia la tenda in corrispondenza del morsetto dell'estremità della bacchetta di testa e trasferisce il moto del cavo traente a tutta la tenda. In fase di chiusura, il cavo traente agisce unicamente sulla bacchetta di testa della tenda più esterna. Questa progressivamente spinge le bacchette della medesima tenda fino a quando essa non è completamente ripiegata. Allo stesso tempo, il cilindro ammorsato si stacca dalla bacchetta di testa della tenda interna, lasciando quest'ultima nella sua posizione della configurazione aperta, mentre il cavo traente scorre all'interno del morsetto della bacchetta di testa senza spostarla. Questa inizia a ripiegarsi quando la tenda esterna arriva a contatto con essa. Il cavo traente continua il suo moto e si ferma quando le tende raggiungono la loro posizione finale.

I cavi principali dei tiranti Jawerth (cavo trasversale e cavo Jawerth) hanno una sezione più grande, rispetto a quelle dei cavi longitudinali, avente un diametro di 36 mm. Questa è conseguenza del fatto che le forze alle quali sono sottoposti questi elementi sono di gran lunga maggiori rispetto a quelle dei cavi precedentemente descritti. I loro elementi terminali consistono in un capocorda a forcina, che li aggancia ai rispettivi pilastri del fronte est, ed un capocorda cilindrico, che li assicura alla muratura dell'edificio ovest. Tra il cavo trasversale e quello Jawerth intercorrono i cavetti Jawerth, caratterizzati da una sezione del diametro di

12 mm, che si assicurano ai due cavi principali tramite dei morsetti che stringono i cavi di dimensione maggiore. Le estremità dei singoli cavetti Jawerth sono dei terminali ad occhio in acciaio inox. Questi si agganciano ai morsetti che sono disposti in posizione perpendicolare all'asse del cavo principale. In questo modo, grazie ai terminali ad occhio, i cavetti Jawerth possono posizionarsi secondo la propria angolazione. I cavi del tirante, raggiungono la muratura dell'edificio ovest a livello della mezzera dei pilastri ed all'altezza del solaio del soppalco del suo piano terra. I cavi trasversale e Jawerth entrano all'interno della sezione dei rispettivi pilastri e si aggrappano mediante una staffatura in acciaio al solaio del soppalco. Inoltre, sono previsti degli elementi, come dei controventi per esempio, che permettano la trasmissione della forza esercitata dal cavo a più elementi possibili della membratura interna dell'edificio ovest.



In alto a sinistra: Tenditore a forcella fissa a pressare inox Gaudenzi, accessorio utilizzato, con diverse dimensioni, da tutti i cavi longitudinali. \_\_\_ In alto a destra: Terminale a pressare ad occhio Gaudenzi, che costituisce l'estremità dei cavetti Jawerth ed una delle due estremità del cavo traente. \_\_\_ In basso: Terminale a pressare a forcella fissa. Questo è il terminale con il quale i cavi longitudinali si aggrappano alle travi centrali.



## PILASTRI DEL FRONTE EST

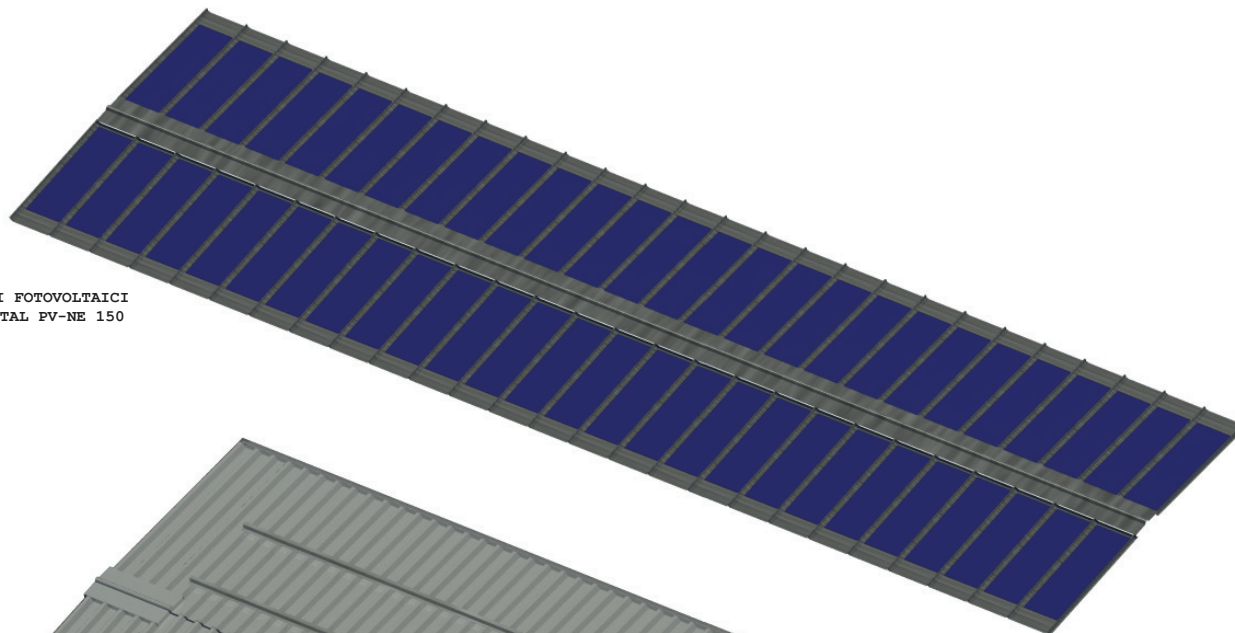
Lungo il fronte orientale, i cavi del tirante Jawerth si agganciano a dei pilastri di acciaio, composti da profilati tubolari, tramite delle piastre saldate sulla cima di questi elementi. I pilastri del tirante sud hanno un'altezza di circa 5 m e sono ancorati al terreno tramite dei tirafondi. Dalla loro cima si sviluppa un cavo bilanciatore che contrasta la componente orizzontale delle forze dei cavi del tirante Jawerth. Il cavo bilanciatore, essendo, a causa della sua inclinazione sull'orizzontale, più sollecitato dei cavi del tirante, ha una sezione col diametro pari a 48 mm e presenta all'estremità che si collega alla piastra del pilastro un capocorda a forcella, mentre l'estremità inferiore è costituita da un capocorda a ponte che si aggancia ad una piastra ancorata al terreno tramite una fondazione simile a quella del pilastro. La disposizione del cavo bilanciatore del pilone del cavo Jawerth non è in linea all'asse trasversale della piazza, poiché esso segue la direzione del vettore della risultante delle forze del cavo Jawerth e del cavetto Jawerth.

I pilastri del tirante nord hanno la particolarità di avere il basamento, con il quale si ancorano al terreno, posto al livello del corridoio impianti che scorre di fianco dell'edificio est. È quindi necessario forare la soletta in C.A. sul quale si appoggia la pavimentazione in porfido del corridoio est che separa l'edificio est dalla sala lettura. Nella fase di installazione della struttura, si procederà alla foratura della soletta e, successivamente, all'inserimento del profilato tubolare del pilastro. Lo strato di impermeabilizzazione della soletta esistente viene implementato e fatto aderire alla superficie del pilastro. Tra la superficie del pilastro e lo spessore della pavimentazione si dispone uno strato che avvolge il pilastro che costituisce un giunto di dilatazione, con scopo di evitare contatti indesiderati tra le due strutture. Tale giunto è formato da profili sovrapposti in neoprene fatti aderire alla superficie del pilastro che consentono dilatazioni fino a 50 mm. Una volta che il pilastro è in posizione, viene applicato, al livello della pavimentazione del corridoio est, un anello composto da due elementi estrusi in metallo che si uniscono tra loro, cingendo il pilastro ed andando a formare un finto basamento. L'anello è rifinito sulle circonferenza di contatto con la pavimentazione e con il pilastro con delle guarnizioni. Un elemento equivalente è posizionato sul soffitto del corridoio impianti inferiore. Tale elemento elimina il rischio di infiltrazioni d'acqua all'interno del foro della soletta, già contrastato dall'impermeabilizzazione e dal giunto in neoprene. Avendo il basamento posto ad un livello parecchio inferiore, se confrontato con quello dei pilastri meridionali, i pilastri del tirante Jawerth nord sono caratterizzati da un più grande spessore del profilato tubolare. Inoltre, è necessario dividere in due sezioni questi elementi. I cavi bilanciatori dei pilastri nord si ancorano, per mezzo di capicorda cilindrici, alla facciata dell'edificio est, in corrispondenza del solaio tra il piano interrato e il piano primo.

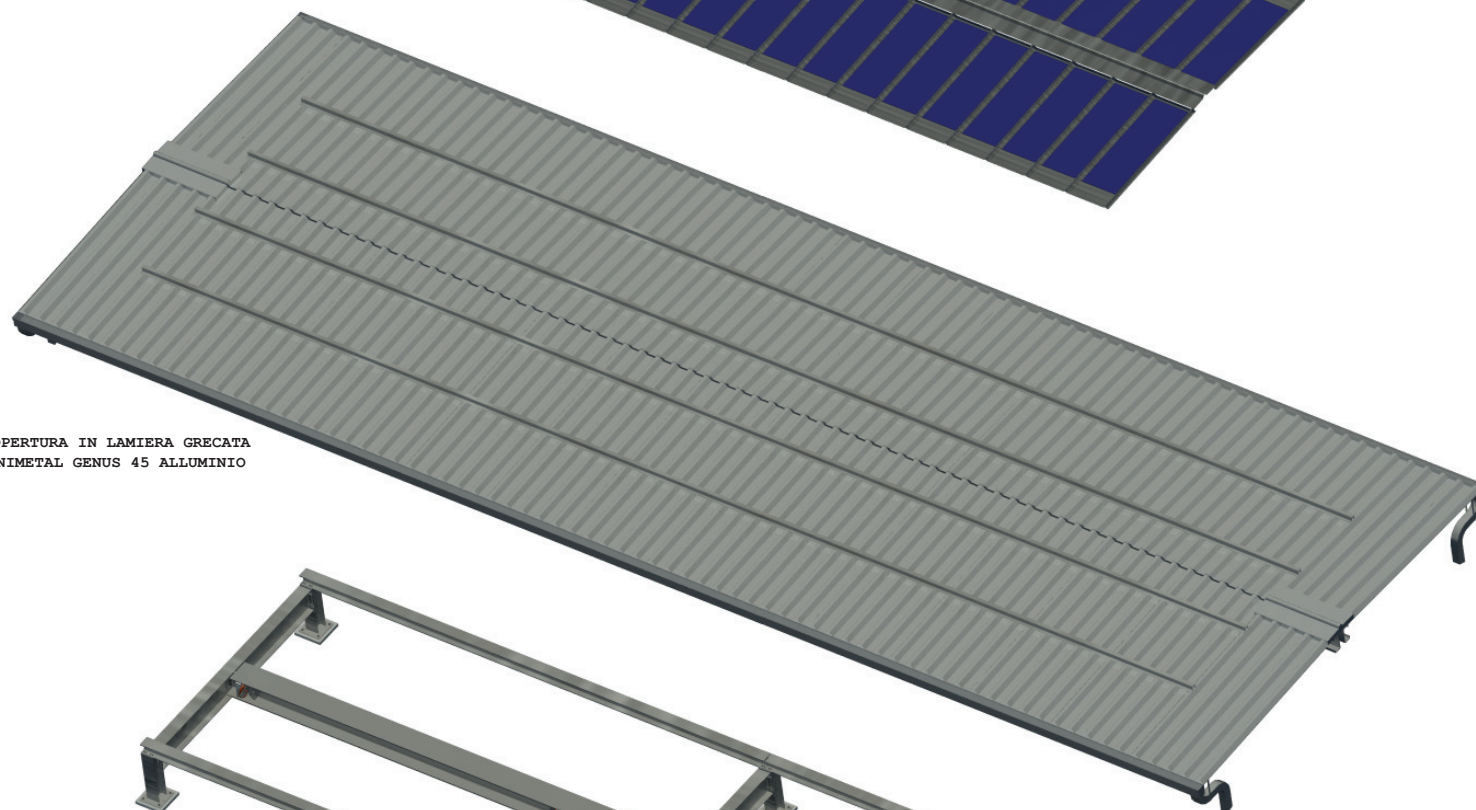
## RETICOLO TRAVI DI ACCIAIO

Il reticolo delle travi di acciaio posizionate al di sopra della copertura della passerella è composto da profili aventi quattro sezioni differenti che corrispondono a quattro precisi elementi con diverse funzioni. Il reticolo si estende su tre campate, due laterali ed una centrale, che si sviluppano lungo la copertura della passerella. Le due campate laterali, che sono in direzione est e ovest, hanno un'estensione di 541 cm, che è pari alla distanza tra l'asse delle colonne che fiancheggiano il passaggio dall'area nord all'area sud della piazza e l'elemento più esterno delle coppie di colonne successive a quelle centrali. La campata interna si estende di 301 cm, distanza tra gli assi delle colonne che limitano il passaggio tra le due aree della piazza. Le campate sono composte da quattro cavalletti che reggono tre travi centrali e sei travetti laterali. Il singolo cavalletto è composto da una trave IPE 270, che corre in direzione longitudinale alla piazza, che si appoggia alle due estremità a due pilastri HEA 140, posizionati in asse con le sottostanti colonne. I pilastri si ancorano alla struttura preesistente per mezzo di una base costituita da una piastra di acciaio, uno strato di allettamento in cemento e quattro tirafondi. Appoggiate superiormente a questi pilastri vi sono i travetti HEA 120, che hanno il compito di reggere la maggior parte del peso della copertura e del relativo carico della neve. I quattro travetti est e ovest hanno una lunghezza di 541 cm, mentre i due centrali raggiungono i 301 cm. Gli elementi più importanti dell'insieme, sia per le funzioni che svolgono, che per le dimensioni e il peso, sono le tre travi centrali HEA 260. Le travi delle campate esterne sono lunghe 541 cm, mentre quella interna è di 301 cm. Lungo lo sviluppo di queste travi sono saldate alle anime ed alle flangie delle piastre in acciaio. Queste offrono un ancoraggio ai cavi longitudinali ed alle pulegge dei cavi traenti. Le travi centrali, a differenza degli altri elementi del reticolo sono costituite da un acciaio Fe 510, caratterizzato da un'alta resistenza, proprio per il fatto che questi elementi sono sollecitati da elevati carichi concentrati, conseguenza degli approdi dei cavi longitudinali. I collegamenti tra i vari profili del reticolo, sono a cerniera ed avvengono mediante dei profili angolari a L e bullonatura. È stato scelto di collegare gli elementi della travatura mediante cerniere per evitare il trasferimento alla struttura sottostante di valori di momenti flettenti eccessivi.

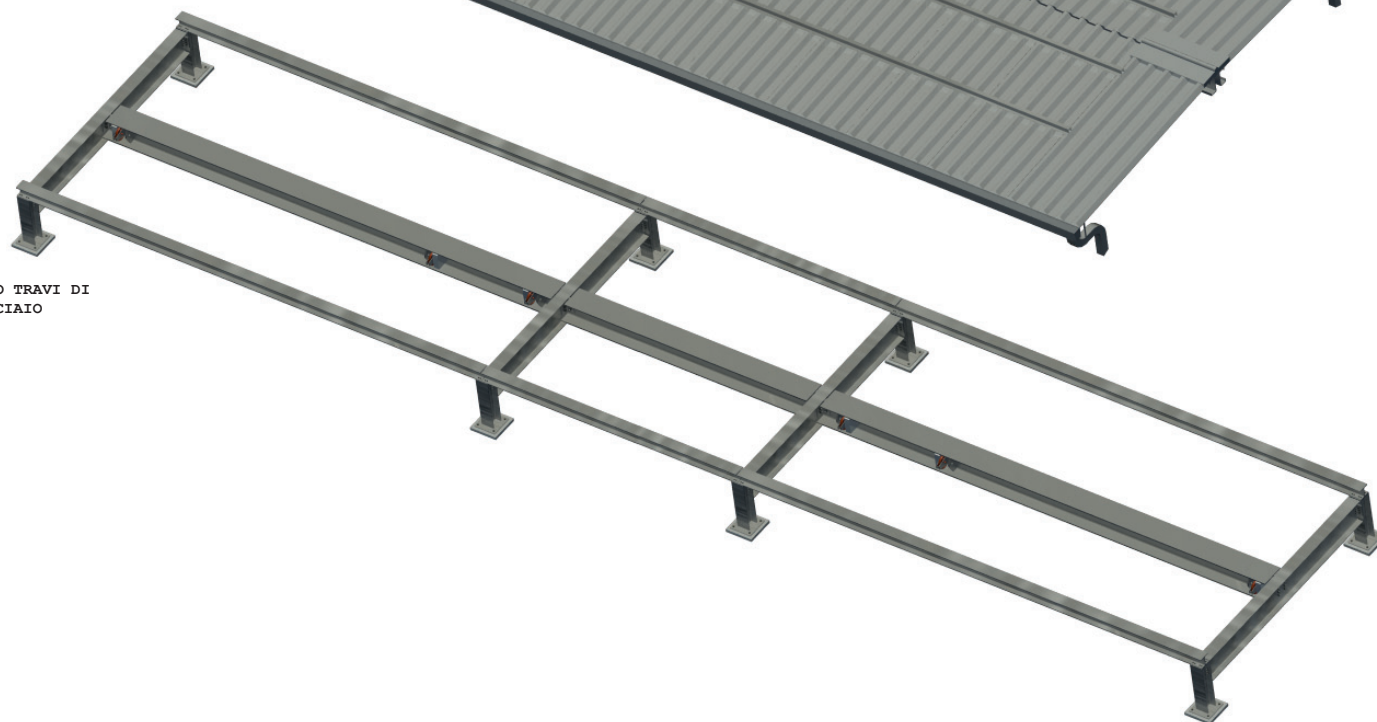
MODULI FOTOVOLTAICI  
UNIMETAL PV-NE 150



COPERTURA IN LAMIERA GRECATA  
UNIMETAL GENUS 45 ALLUMINIO



RETICOLO TRAVI DI  
ACCIAIO

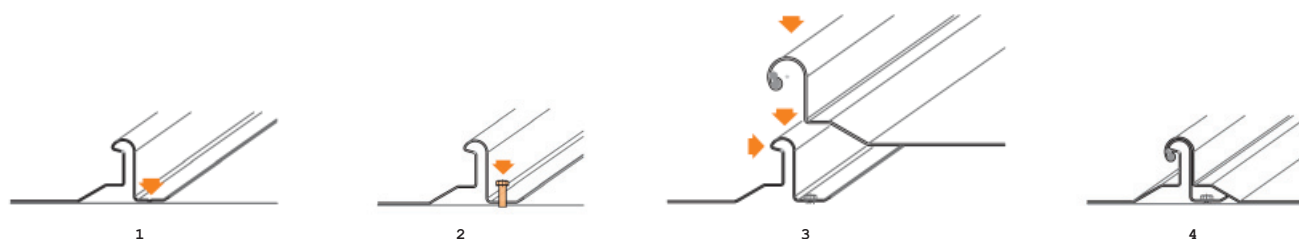


In alto: Vista assonometrica dei tre livelli con i quali si compone la nuova copertura della passerella.

## NUOVA COPERTURA DELLA PASSERELLA

Appoggiata al reticolo di travi di acciaio, si distende la nuova copertura della passerella in lamiera grecata. Questo elemento è scomponibile in due parti. La parte inferiore è lo strato resistente della copertura ed è costituita da una lamiera grecata in alluminio Unimetal Genus 45 che supporta il carico gravante sulla copertura (neve e peso proprio). È stato scelto come materiale l'alluminio poiché permette di diminuire il peso complessivo della copertura senza andare a sollecitare ulteriormente le colonne della passerella che già devono reggere il peso della travatura in acciaio. Le falde della lamiera si appoggiano e si assicurano grazie a delle viti autoperforanti alle flangie dei travetti esterni e a dei profilati a C che corrono sulla flangia superiore delle travi centrali. Le falde hanno un'inclinazione del 5% ottenuta tramite tasselli in EPDM, posti tra la lamiera e gli elementi in acciaio. Questi tasselli hanno anche la funzione di giunto di dilatazione tra i diversi materiali con i quali sono composti gli elementi di copertura.

Sulla superficie esterna dei pannelli della lamiera in alluminio sono posati due profili di acciaio ad omega per ciascuna falda, che si sviluppano in direzione longitudinale alla copertura. Su questi elementi sono avvitate dei moduli fotovoltaici Unimetal PV-NE 150. Il modulo fotovoltaico Unimetal è costituito da un profilo metallico di acciaio preverniciato sul quale è posata ed incollata la lamina Unisolar di silicio amorfo PVL-31. Il profilo della lamiera dei pannelli fotovoltaici, che ha uno spessore di 1 mm, è dotato di fissaggi nascosti con tenuta ermetica che, oltre ad eliminare qualsiasi infiltrazione, migliora i pannelli sotto il profilo estetico. La copertura ha due colmi su livelli differenti. Il primo livello è quello corrispondente ai moduli fotovoltaici. In quest'area della copertura, il colmo in presso piegatura si avvita ai moduli. Agli estremi della copertura, dove non vi sono più pannelli solari, il colmo è al livello dei pannelli in alluminio. Sotto al colmo dei pannelli solari scorre una canalina contenente i cavi delle scatole di congiunzione di ogni singolo pannello solare. Le scatole sono posizionate sotto il pannello fotovoltaico, in prossimità del colmo.

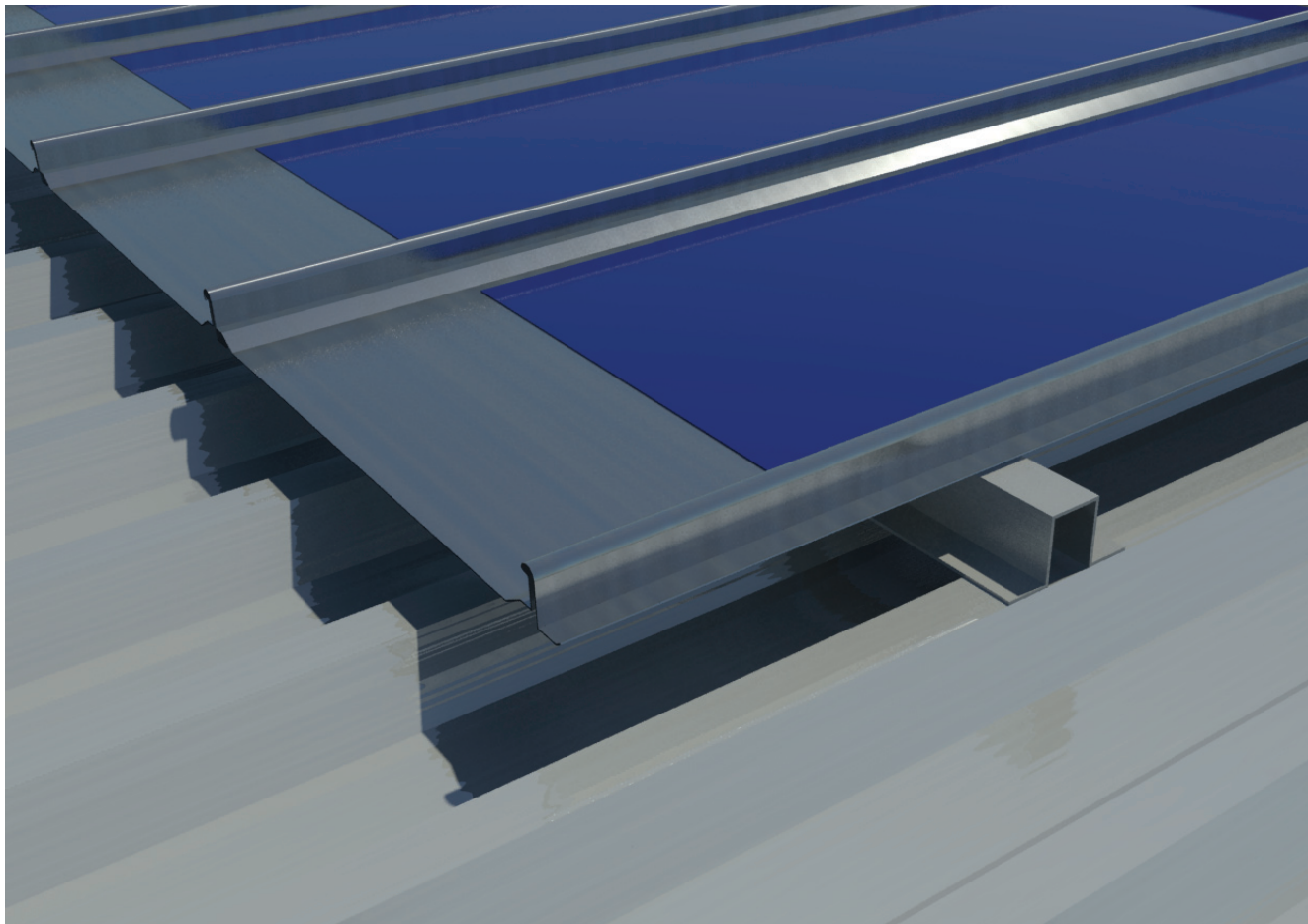


In alto: Fasi di posa dei moduli fotovoltaici: 1,2 fissaggio del primo elemento al profilo ad omega, 3 aggancio dell'elemento successivi, 4 bloccaggio.

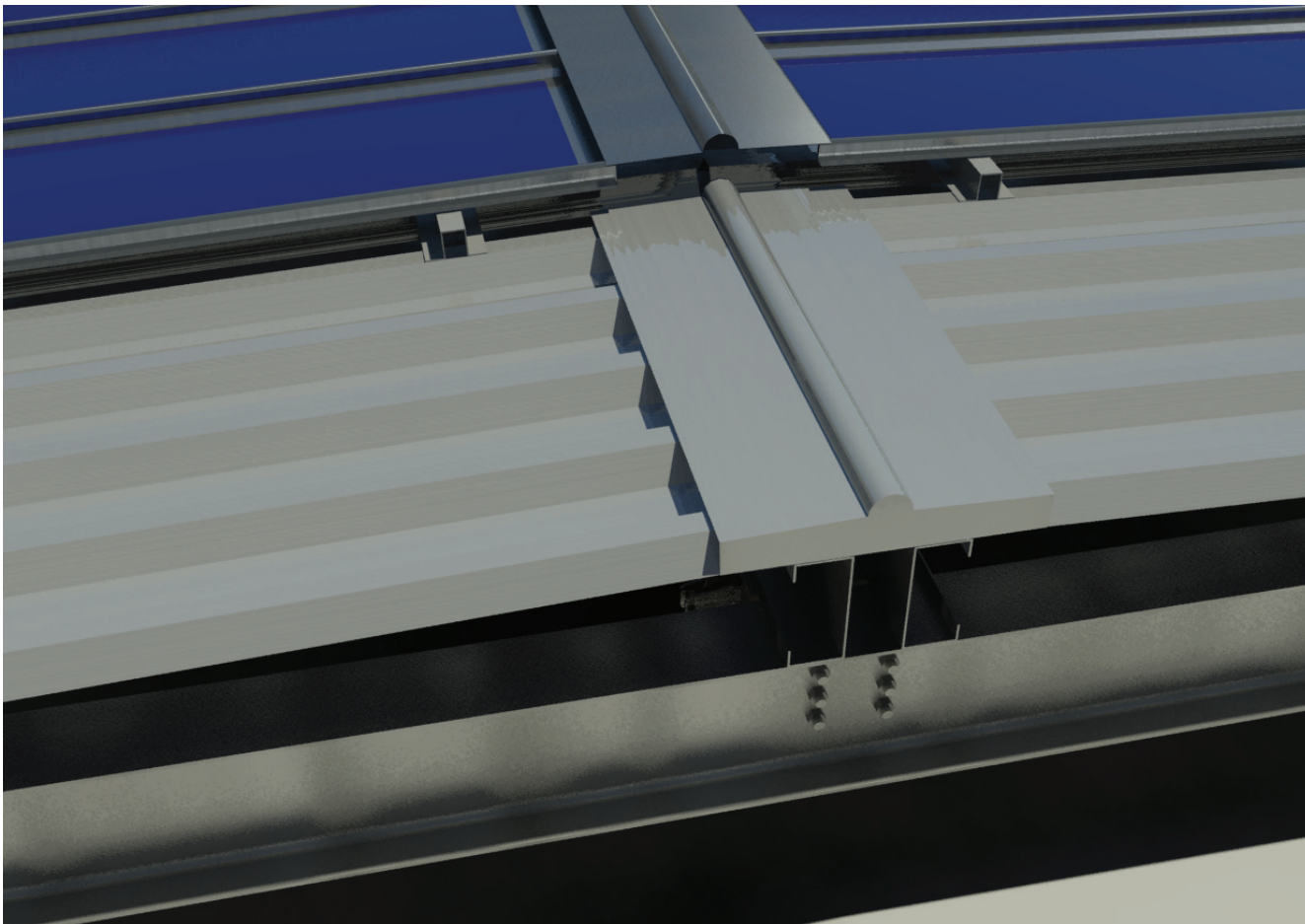
Questo tipo di laminato, grazie alla sua notevole leggerezza, permette di contenere il peso dei pannelli. I laminati di silicio amorfo sono duraturi perché incapsulati da polimeri (EVA Copolimero etilene vinilacetato) stabilizzanti ai raggi ultravioletti che li rende resistenti alle diverse condizioni climatiche e che conferisce alla lamina capacità autopulenti, diventando così resistenti alle intemperie, infrangibili, pedonabili, leggeri e resistenti nel tempo. Infatti, il modulo garantisce ancora l'80% della potenza installata nominale dopo 20 anni di funzionamento. La trasformazione diretta dell'energia solare in energia elettrica avviene tramite un triplo strato di silicio amorfo depositato in spessori micrometrici su una flessibile lamina di acciaio inossidabile. Il modulo fotovoltaico utilizza le celle solari a tripla giunzione con silicio a film sottile, in cui la componente blu, verde e rossa dello spettro della luce solare è assorbita dai differenti strati presenti. La capacità di frazionamento dello spettro della luce solare è la chiave per una maggiore produttività, specialmente ai livelli più bassi di insolazione e in condizioni di luci diffusa. Infatti, questi laminati tollerano l'ombreggiamento e offrono maggiori prestazioni con luce bassa e diffusa grazie al maggiore assorbimento della componente blu della gamma di lunghezze d'onda della luce solare. Di conseguenza anche un possibile deposito di sporcizia, non dovrebbe compromettere il funzionamento del modulo, anche se deve essere prevista una pulizia dei pannelli da operare in periodi prefissati. Grazie a queste peculiarità delle lamine di silicio amorfo, è stato possibile posizionare pannelli fotovoltaici anche sulla falda nord.

In fase di progettazione, è stato effettuato un calcolo di massima per stabilire il numero di moduli fotovoltaici necessari per soddisfare la richiesta di energia che i motori elettrici dei cavi traenti utilizzerebbero per azionare il moto delle pulegge. Considerando che un singolo modulo fotovoltaico ha un valore della potenza nominale di picco pari a  $31 W_p$  e che i moduli rivolti a nord riescano a fornire al massimo la metà di questo valore, potremmo basare il nostro calcolo supponendo che il motore elettrico di un singolo cavo traente richieda 100 W. Tale valore è stato determinato dopo aver consultato cataloghi di aziende che progettano sistemi di tendaggi automatizzati che ricoprono grandi superfici. Essendoci 10 motori elettrici, l'intero sistema richiede 1000 W. In base al risultato ottenuto, è stato deciso di posizionare sopra ogni falda della copertura 26 moduli per un totale di 52. Tale disposizione permetterebbe di disporre di  $1196 W_p$ .

L'intero sistema dei moduli fotovoltaici viene connesso alla rete centrale in modo tale da permettergli di scambiare energia elettrica con la rete elettrica locale del Politecnico. Il principio della connessione alla rete è quello dello scambio in due direzioni di energia elettrica o quello dell'immissione totale in rete. Il caso che a noi interessa è quello relativo alla situazione che si verifica quando la produzione dei pannelli eccede per un certo periodo il consumo. Infatti per tutta la stagione invernale le tende sono ferme, e l'energia dei pannelli viene immessa nella rete del Poli.



In alto: Vista prospettica dei moduli fotovoltaici in corrispondenza del profilo ad omega che li assicura alla lamiera grecata. \_\_\_ In basso: Vista prospettica della parte conclusiva della nuova copertura. Si possono notare i due differenti colmi e, sotto alla grecata, i profili a C appoggiati, nella parte terminale, sulla trave del cavalletto esterno.







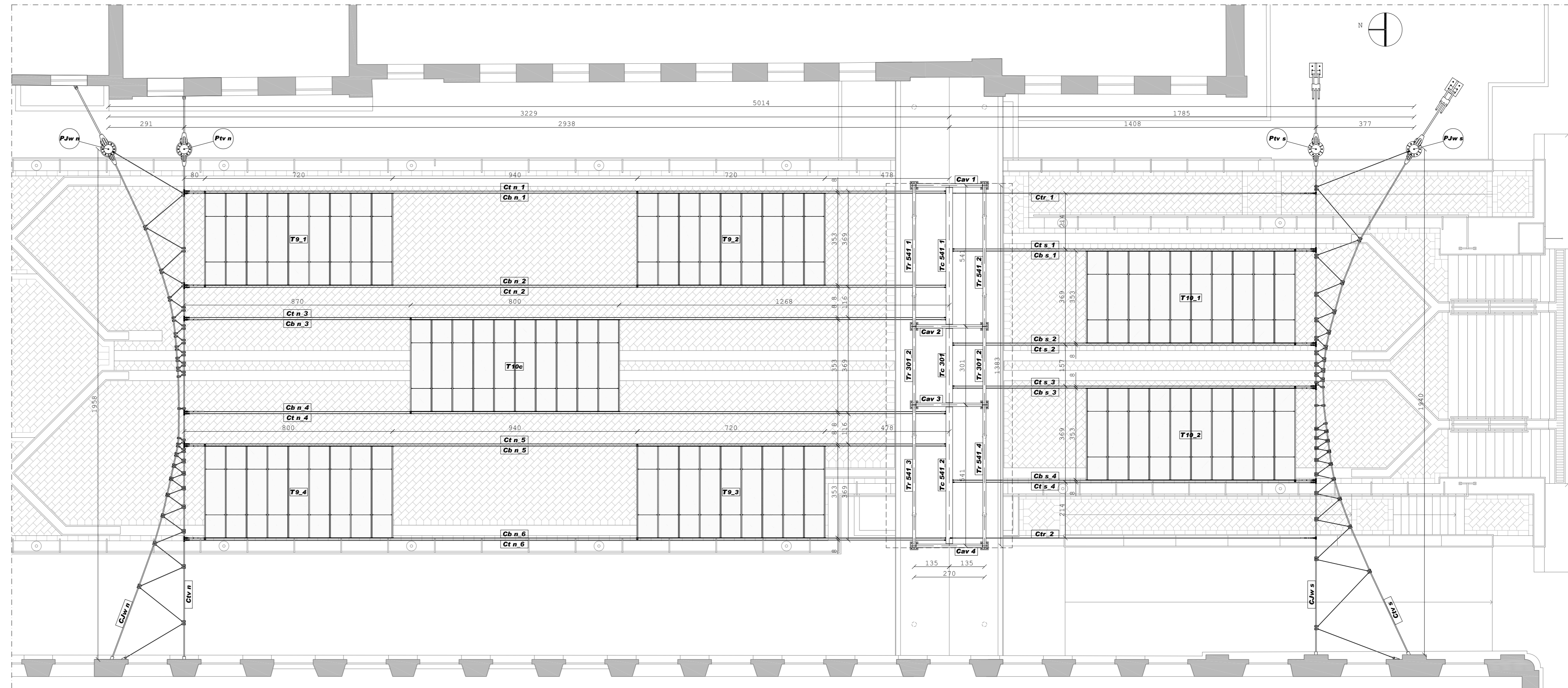
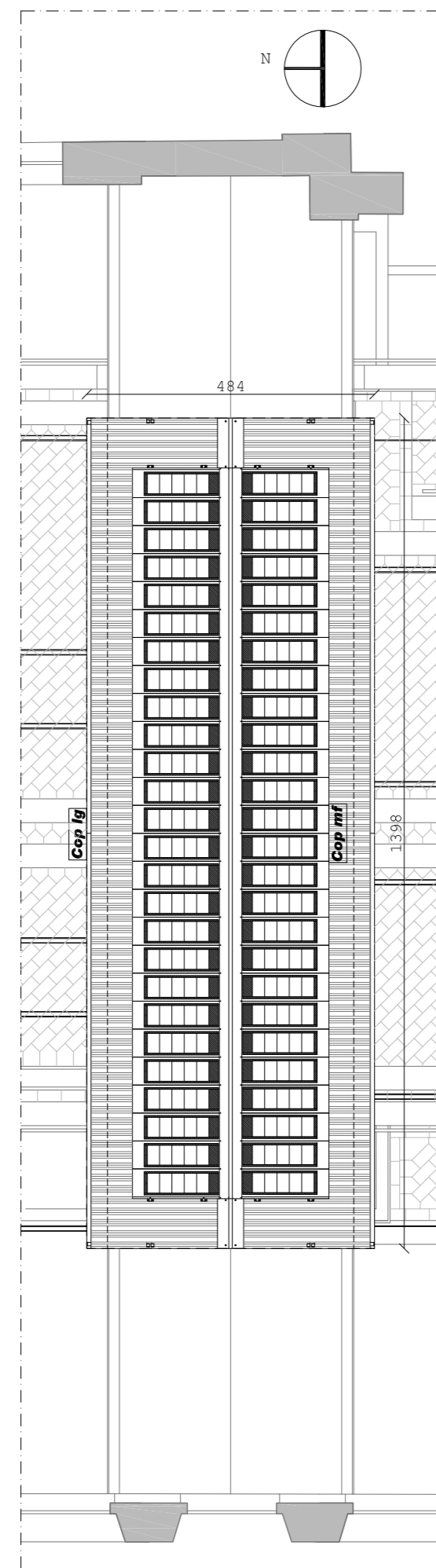
# TAVOLE

## CAPITOLO 6

- Tavola 6.0: Struttura\_Pianta strutturale scala 1:100
- Tavola 6.1: Dettagli tende\_Piante e prospetti tende 10 e 9 span scala 1:50
- Tavola 6.2: Dettagli tende\_Viste frontali tende aperte/chiusa scala 1:20
- Tavola 6.3: Detagli tende\_Particolari singolo span scala 1:5  
\_Particolari bacchetta tenda e cavetto trainante scala 1:1
- Tavola 6.4: Dettagli tende\_Particolari collegamento estremità bacchetta tenda con cavo binario scala 1:1
- Tavola 6.5: Dettagli tende\_Particolare collegamento estremità bacchetta di testa con cavi traente e binario scala 1:1
- Tavola 6.6: Dettagli tende\_Particolari estremità bacchetta di testa tenda 9 span scala 1:1  
interna
- Tavola 6.7: Dettagli tende\_Particolari collegamento bacchetta tenda con cavetto trainante; accessori cavetto trainante scala 1:1
- Tavola 6.8: Dettagli tende\_Sviluppo tessuto tende lungo 2 span scala 1:20
- Tavola 6.9: Dettagli tende\_Tessuto tende disteso scala 1:50
- Tavola 6.10: Dettagli tende\_Disposizione ferzi su bobina tessuto n.s.
- Tavola 6.11: Apertura/chiusura tende\_Tenda 10 span scala 1:100
- Tavola 6.12: Apertura/chiusura tende\_Apertura tenda 10 span centrale scala 1:100
- Tavola 6.13: Apertura/chiusura tende\_Chiusura tenda 10 span centrale scala 1:100
- Tavola 6.14: Apertura/chiusura tende\_Apertura tende 9 span scala 1:100
- Tavola 6.15: Apertura/chiusura tende\_Apertura tende 9 span scala 1:100
- Tavola 6.16: Apertura/chiusura tende\_Chiusura tende 9 span scala 1:100
- Tavola 6.17: Apertura/chiusura tende\_Chiusura tende 9 span scala 1:100
- Tavola 6.18: Struttura cavi\_Prospetti cavi binario e cavi traenti scala 1:100  
\_Particolari estremità cavo binario e cavo traente scala 1:5
- Tavola 6.19: Struttura cavi\_Approdo cavo binario, cavo traente e cavo tirante su cavo trasversale scala 1:2

- Tavola 6.20: Struttura cavi\_Prospetti cavi trasversali e cavi Jawerth scala 1:100  
                   \_Particolare estremità cavo trasversale e cavo Jawerth scala 1:5  
                   \_Particolari collegamento cavetti Jawerth su cavo scala diff.  
                   trasversale/Jawerth
- Tavola 6.21: Struttura cavi\_Approdo struttura nord su muratura edificio ovest. scala diff.
- Tavola 6.22: Struttura cavi\_Approdo struttura sud su muratura edificio ovest. scala diff.
- Tavola 6.23: Pilastri\_Prospetti degli elementi scala 1:50
- Tavola 6.24: Pilastri nord\_Attacco a terra scala 1:10
- Tavola 6.25: Pilastri nord\_Base pilastri livello sala lettura scala diff.  
                   \_Collegamento sezioni pilastri scala 1:10
- Tavola 6.26: Pilastri nord\_Cima pilastro cavo trasversale scala 1:10
- Tavola 6.27: Pilastri nord\_Cima pilastro tirante Jawerth scala 1:10
- Tavola 6.28: Pilastri sud\_Attacco a terra pilastro scala 1:10  
                   \_Ancoraggio cavo pilastro scala 1:10
- Tavola 6.29: Pilastri sud\_Cima pilastro cavo trasversale scala 1:10
- Tavola 6.30: Pilastri sud\_Cima pilastro tirante Jawerth scala 1:10
- Tavola 6.31: Reticolo travi acciaio\_Piante e prospetti elementi scala 1:50  
                   \_Pianta reticolo travi scala 1:50  
                   \_Sezioni profili scala 1:10
- Tavola 6.32: Reticolo travi acciaio\_Prospetti; sezione A-A scala 1:50
- Tavola 6.33: Reticolo travi acciaio\_Particolari collegamento elementi: nodo a scala 1:5
- Tavola 6.34: Reticolo travi acciaio\_Particolari collegamento elementi: nodo b - scala 1:5  
                   nodo c
- Tavola 6.35: Reticolo travi acciaio\_Approdo cavo binario, cavo tirante e cavo scala 1:5  
                   traente su trave centrale
- Tavola 6.36: Copertura\_Pianta copertura lamiera grecata scala 1:100  
                   \_Pianta pannelli lamiera scala 1:20  
                   \_Sezione pannelli scala 1:10
- Tavola 6.37: Copertura\_Pianta e prospetto copertura con moduli fotovoltaici scala 1:50  
                   \_Pianta modulo fotovoltaico scala 1:20  
                   \_Sezione modulo fotovoltaico scala 1:10
- Tavola 6.38: Copertura\_Sezione A-A; sezione B-B scala 1:20  
                   \_Sezioni profili copertura scala 1:5
- Tavola 6.39: Copertura\_Sezione C-C; sezione D-D scala 1:20
- Tavola 6.40: Copertura\_Collegamento copertura reticolo travi scala 1:5

SUBSISTEMA STRUTTURALE	SIGLA ELEMENTO	DESCRIZIONE	QUANTITA'
TENDE	<b>T9</b>	tenda 9 span	4
	<b>T10</b>	tenda 10 span	2
	<b>T10c</b>	tenda 10 span centrale	1
STRUTTURA CAVI	<b>Cb n</b>	cavo binario nord	6
	<b>Cb s</b>	cavo binario sud	4
	<b>Ct n</b>	cavo traente nord	6
	<b>Ct s</b>	cavo traente sud	4
	<b>Ctr</b>	cavo tirante	2
	<b>Ctv n</b>	cavo trasversale nord	1
	<b>Ctv s</b>	cavo trasversale sud	1
	<b>CJw n</b>	cavo Jawerth nord	1
	<b>CJw s</b>	cavo Jawerth sud	1
PILASTRI	<b>Ptv n</b>	pilastro cavo trasversale nord	1
	<b>PJw n</b>	pilastro cavo Jawerth nord	1
	<b>Ptv s</b>	pilastro cavo trasversale sud	1
	<b>PJw s</b>	pilastro cavo Jawerth sud	1
RETICOLO TRAVI ACCIAIO	<b>Cav</b>	sistema cavalletto	4
	<b>Tr 301</b>	trave laterale 301 cm	2
	<b>Tr 541</b>	trave laterale 541 cm	4
	<b>Tc 301</b>	trave centrale 301 cm	1
	<b>Tc 541</b>	trave centrale 541 cm	2
COPERTURA	<b>Cop lg</b>	copertura lamiera grecata	30 (pannelli)
	<b>Cop mf</b>	copertura modulo fotovoltaico	52 (pannelli)



POLITECNICO DI MILANO  
 Facoltà di Architettura  
 e Società  
 Corso di Laurea Specialistica  
 TS6  
 A.A. 2009/2010

Un Velarium al  
 Politecnico  
 Progetto di un sistema  
 di ombreggiamento retrattile  
 per piazza Gardella

Studente:  
 Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
 Matricola: 709095

Relatrice:  
 Prof.ssa Alessandra Zanelli  
 Correlatore:  
 Ing. Paolo Beccarelli

STRUTTURA  
 PIANTA STRUTTURALE  
 SCALA 1:100

TAVOLA

6.0



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

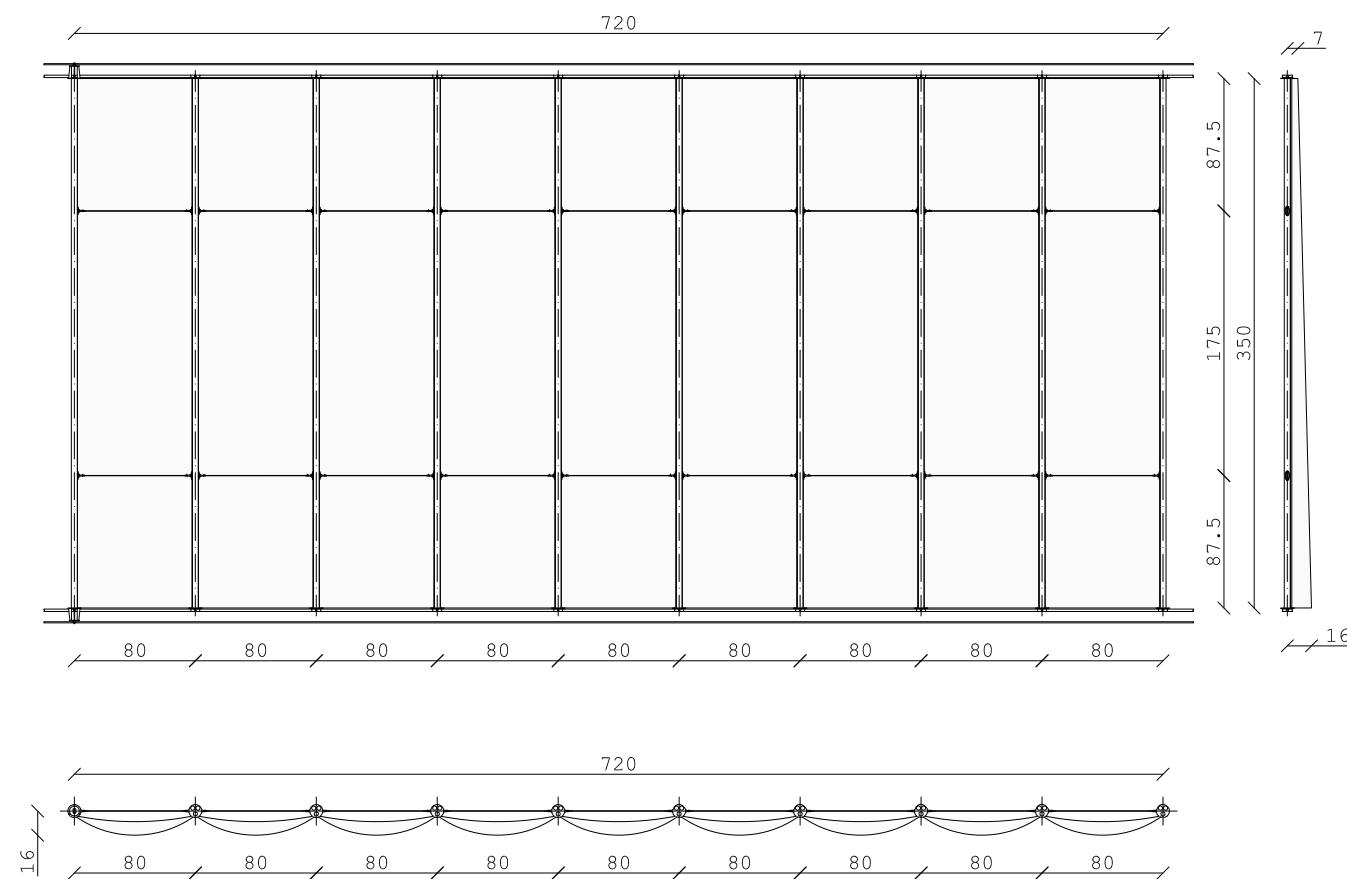
### DETTAGLI TENDE

PIANTE E PROSPETTI  
TENDE 10 E 9 SPAN

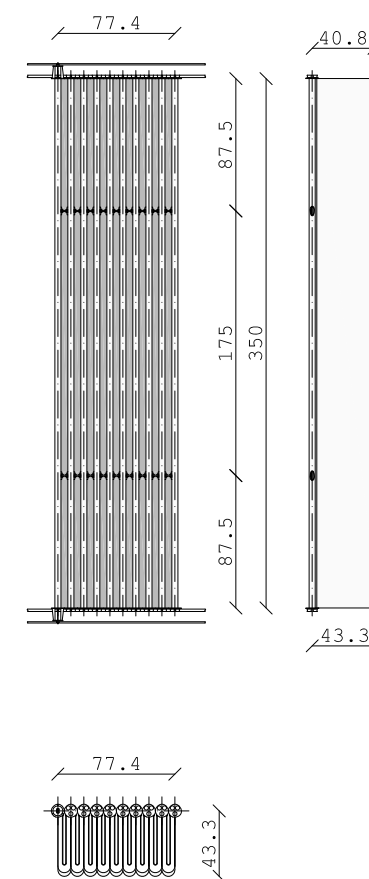
SCALA 1:50

TAVOLA

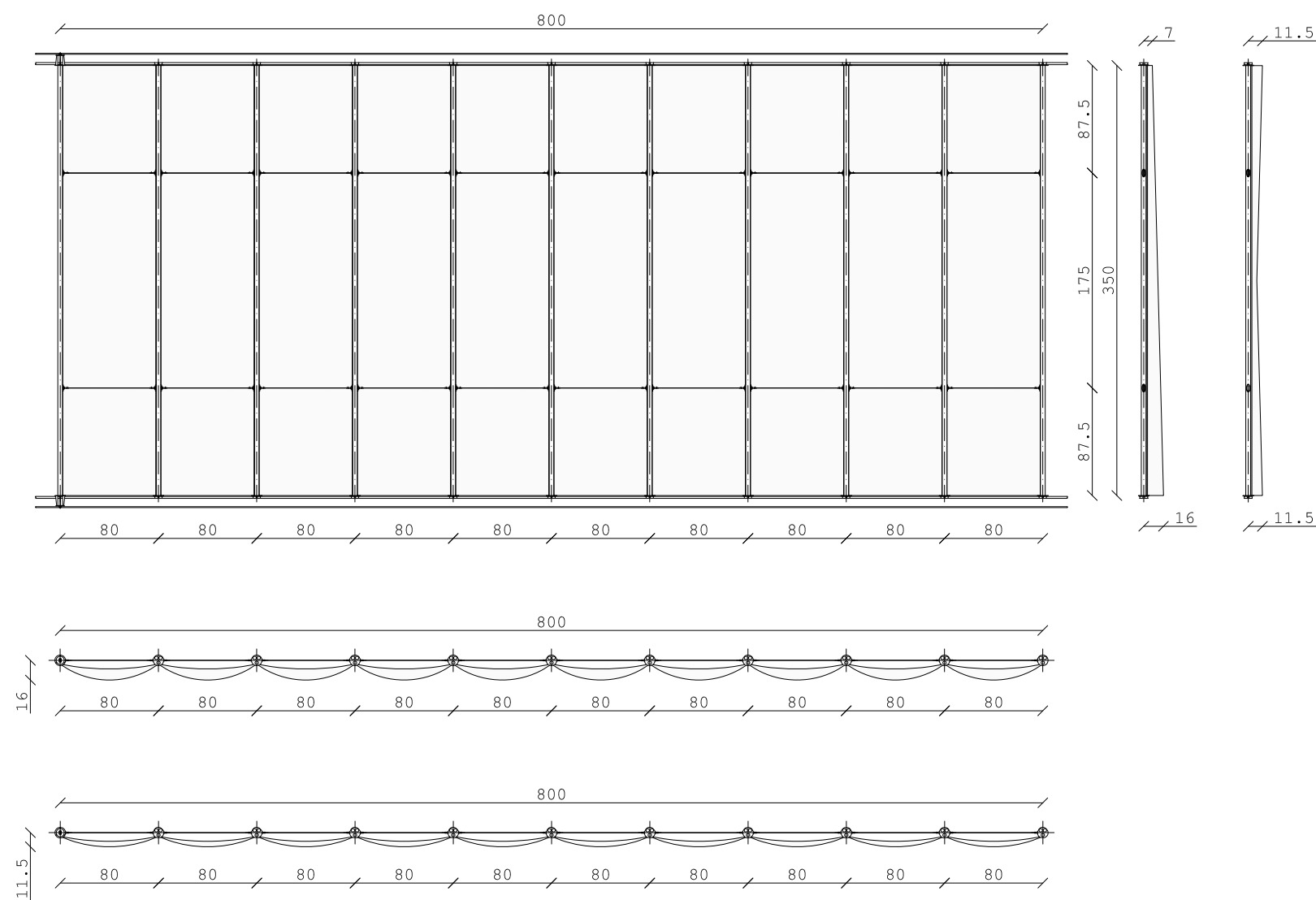
# 6.1



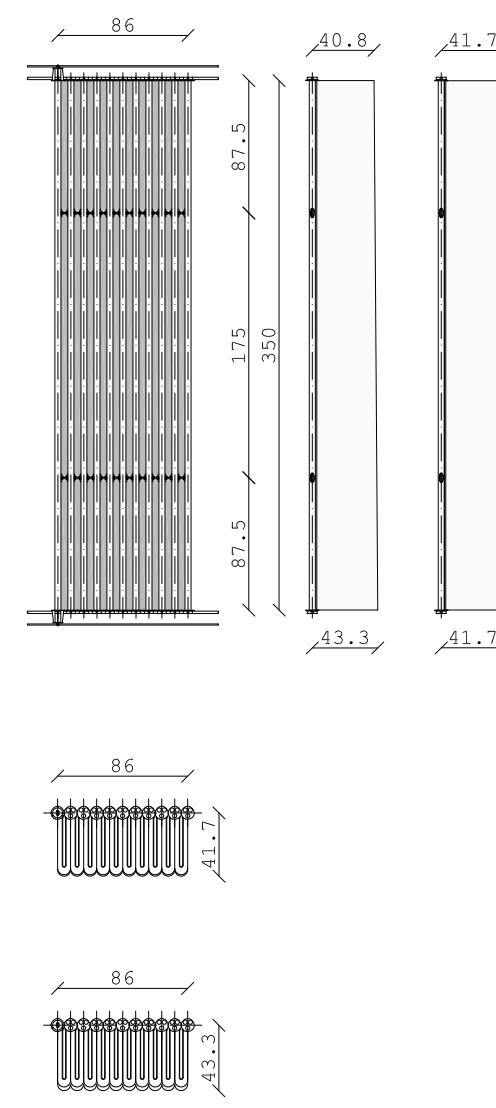
TENDA 9 SPAN APERTA



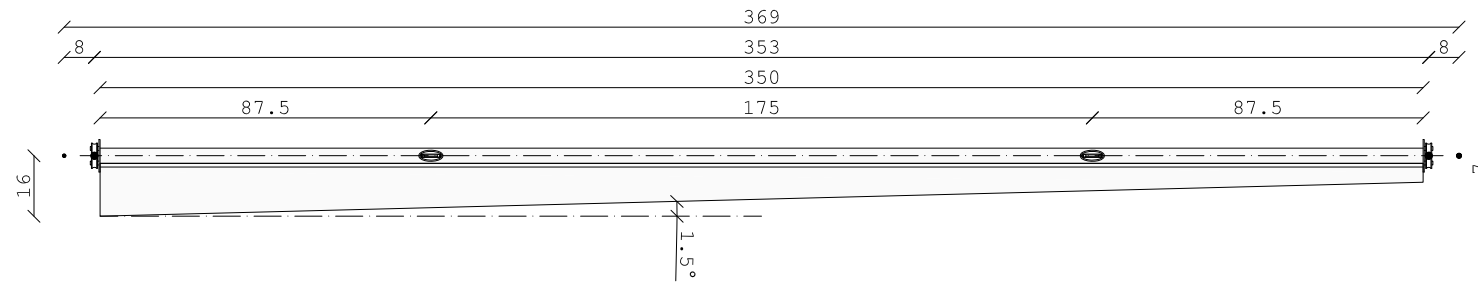
TENDA 9 SPAN CHIUSA



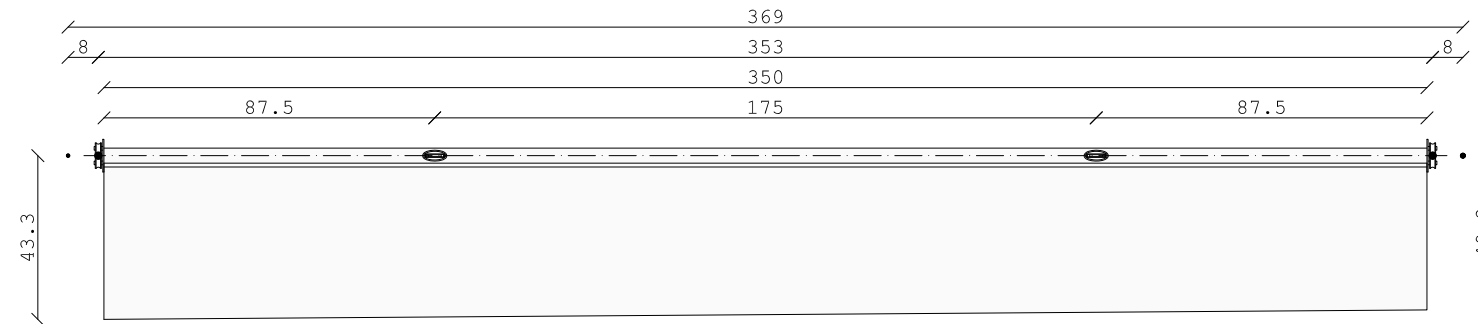
TENDE 10 SPAN APERTE



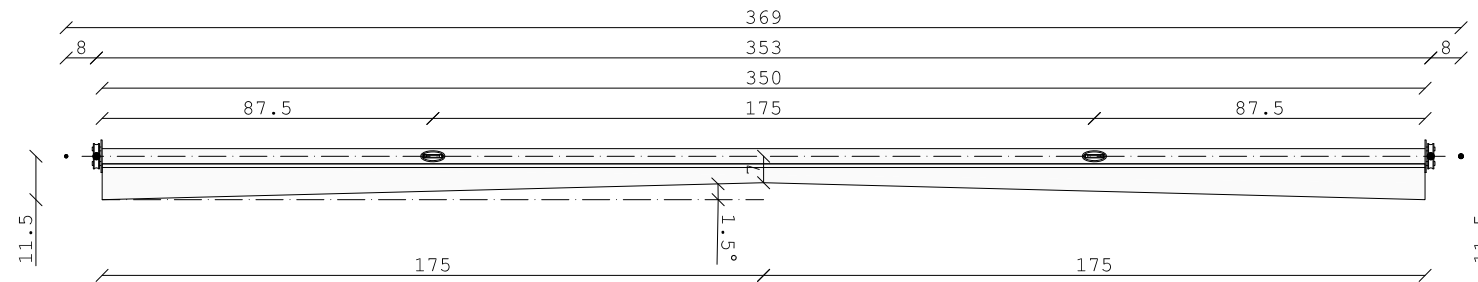
TENDE 10 SPAN CHIUSE



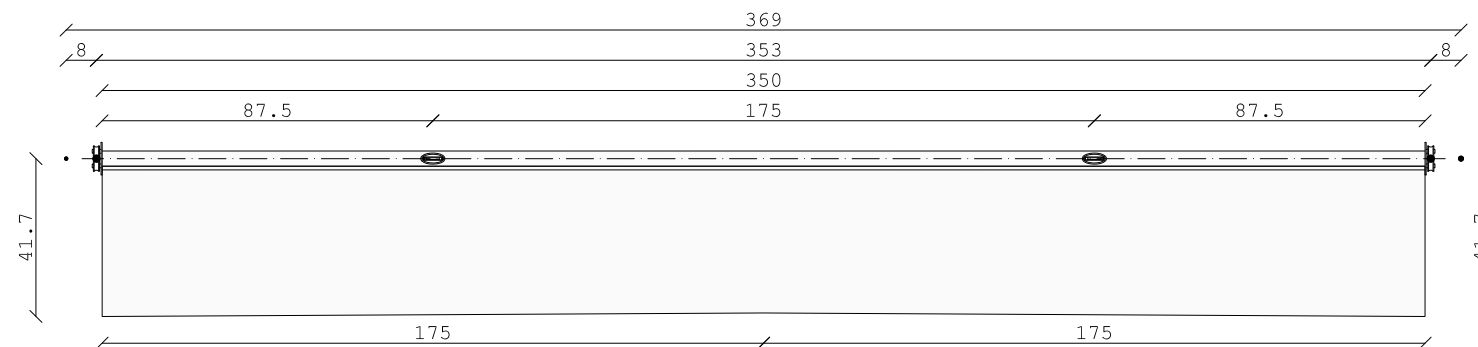
TENDA 9/10 SPAN APERTA



TENDA 9/10 SPAN CHIUSA



TENDA 10 SPAN CENTRALE APERTA



TENDA 10 SPAN CENTRALE CHIUSA



**POLITECNICO DI MILANO**

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### DETTAGLI TENDE

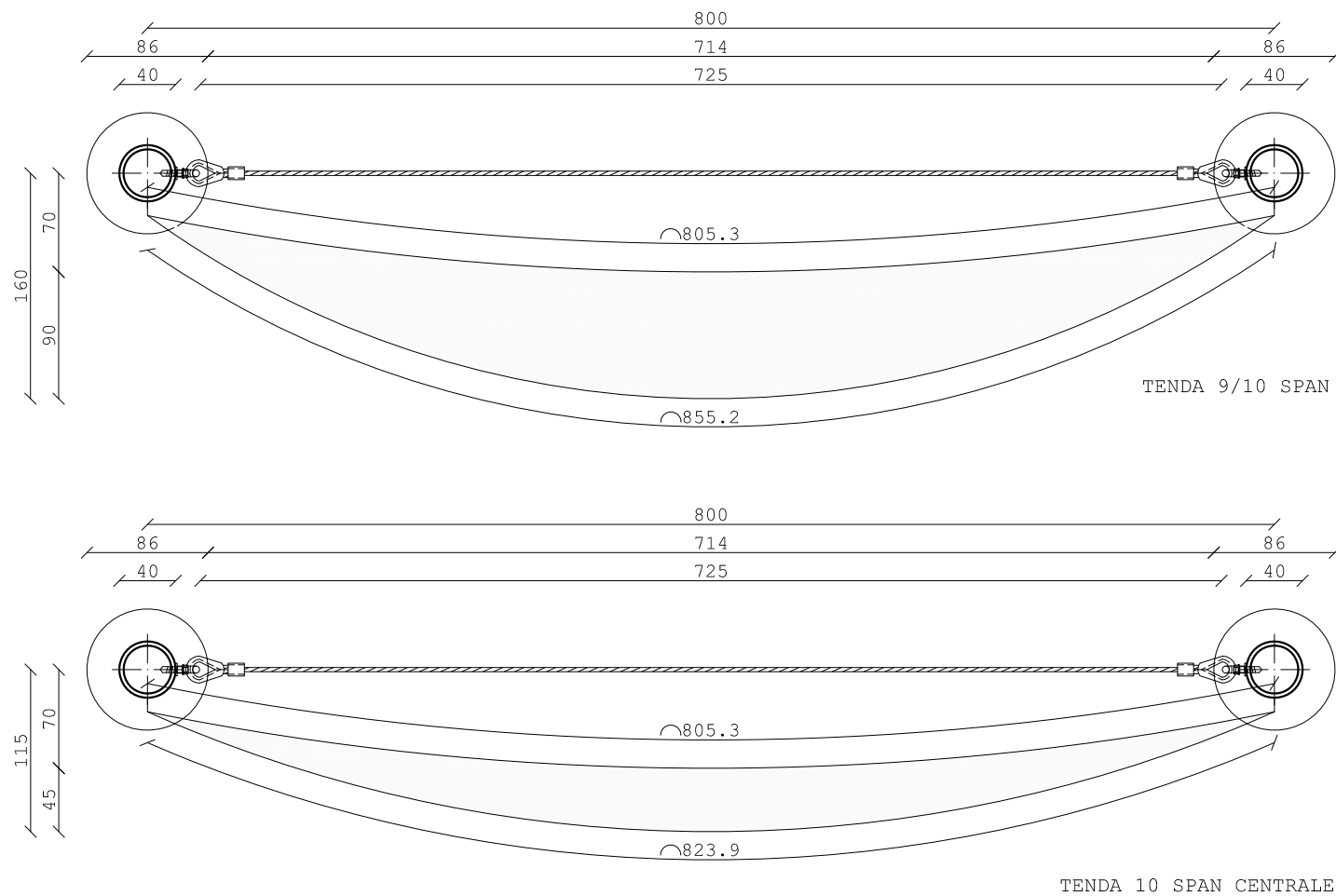
VISTE FRONTALI TENDE  
CONFIGURAZIONE  
APERTA/CHIUSA

SCALA 1:20

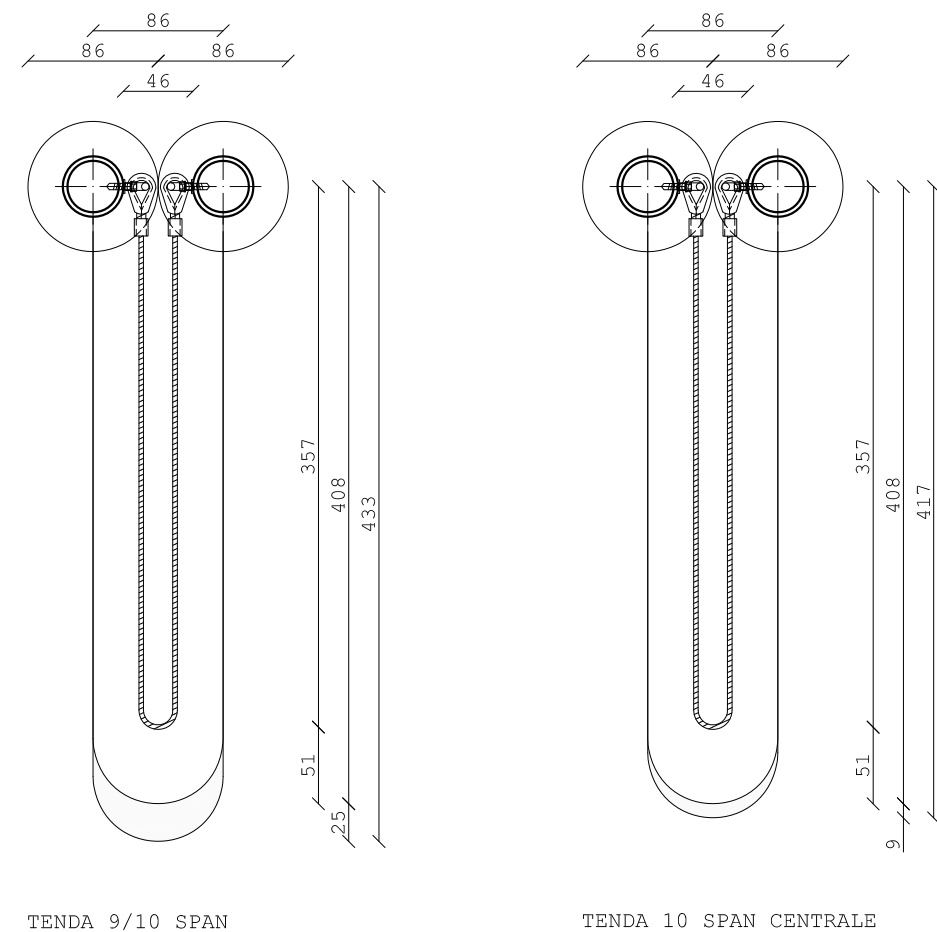
TAVOLA

**6.2**

PARTICOLARI SINGOLI SPAN APERTI



PARTICOLARI SINGOLI SPAN CHIUSI



**POLITECNICO DI MILANO**  
 Facoltà di Architettura  
 e Società  
 Corso di Laurea Specialistica  
 TS6  
 A.A. 2009/2010

**Un Velarium al Politecnico**

Progetto di un sistema  
 di ombreggiamento retrattile  
 per piazza Gardella

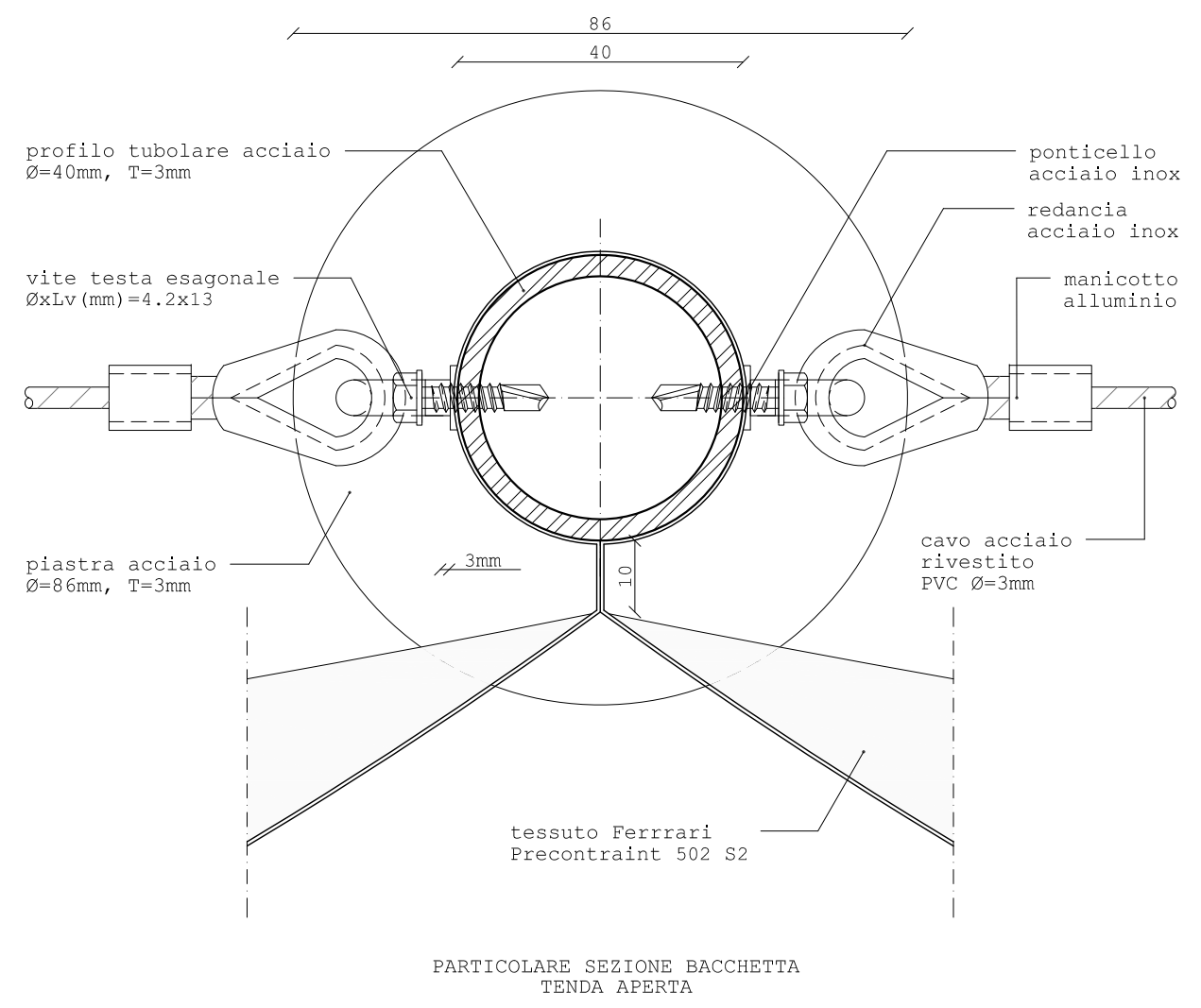
Studente:  
 Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
 Matricola: 709095

Relatrice:  
 Prof.ssa Alessandra Zanelli

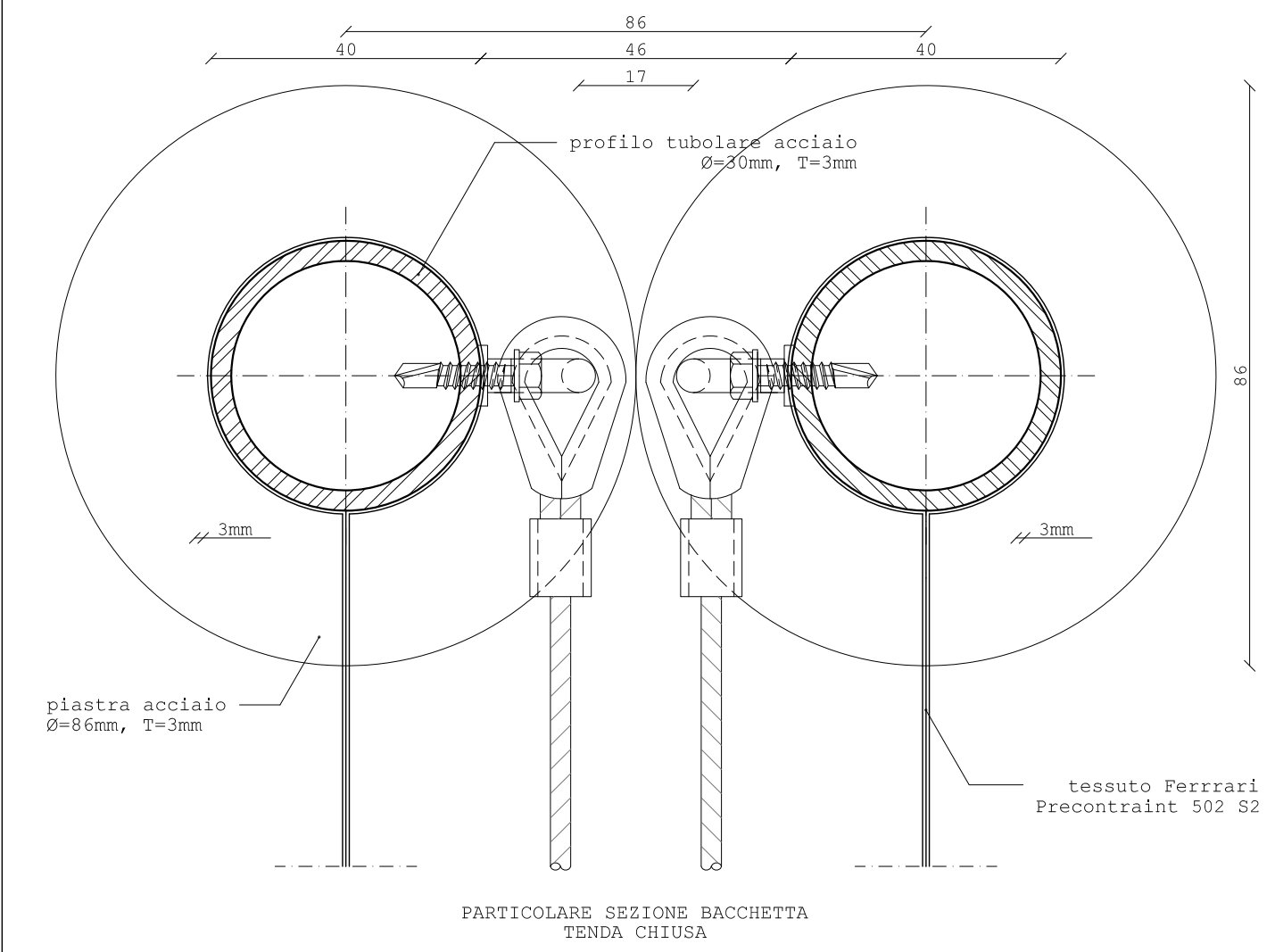
Correlatore:  
 Ing. Paolo Beccarelli

**DETTAGLI TENDE**

PARTICOLARI SINGOLI SPAN  
 SCALA 1:5  
 PARTICOLARI  
 BACCHETTA TENDA  
 E CAVETTO TRAINANTE  
 SCALA 1:1



PARTICOLARE SEZIONE BACCHETTA  
 TENDA APERTA

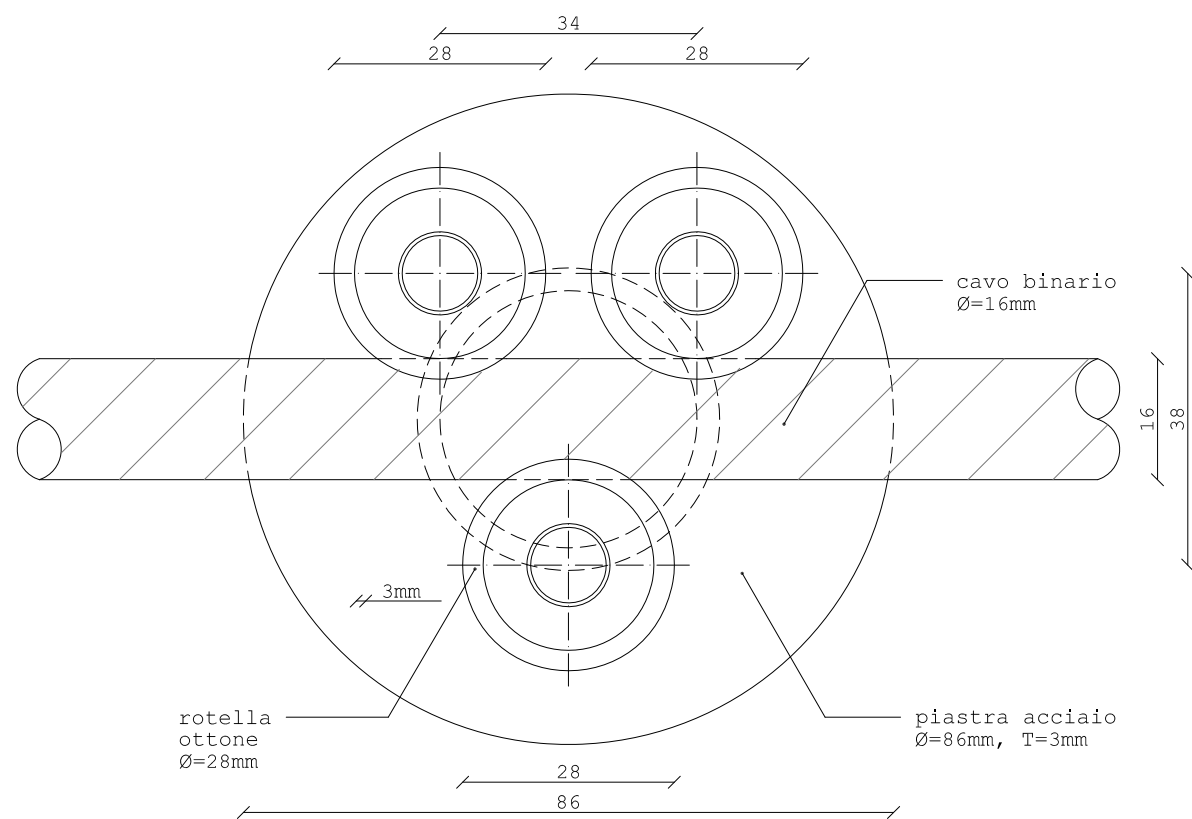


PARTICOLARE SEZIONE BACCHETTA  
 TENDA CHIUSA

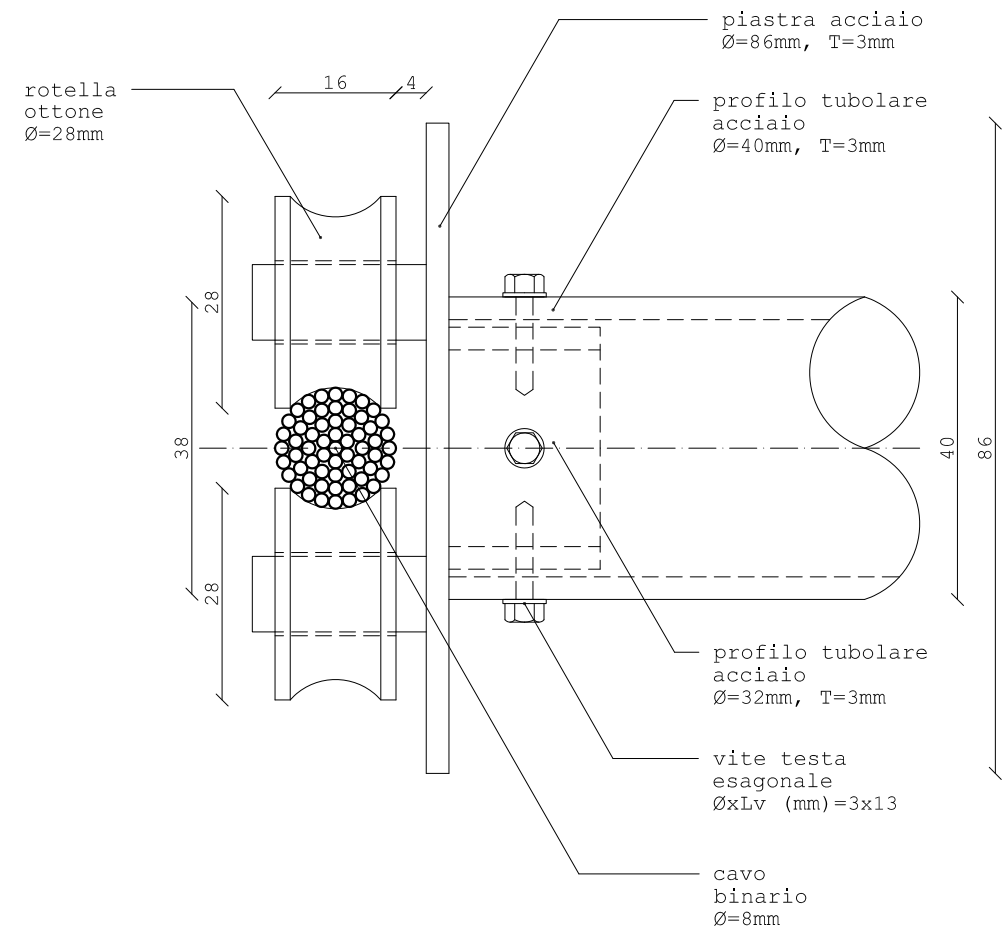
**TAVOLA**

**6.3**

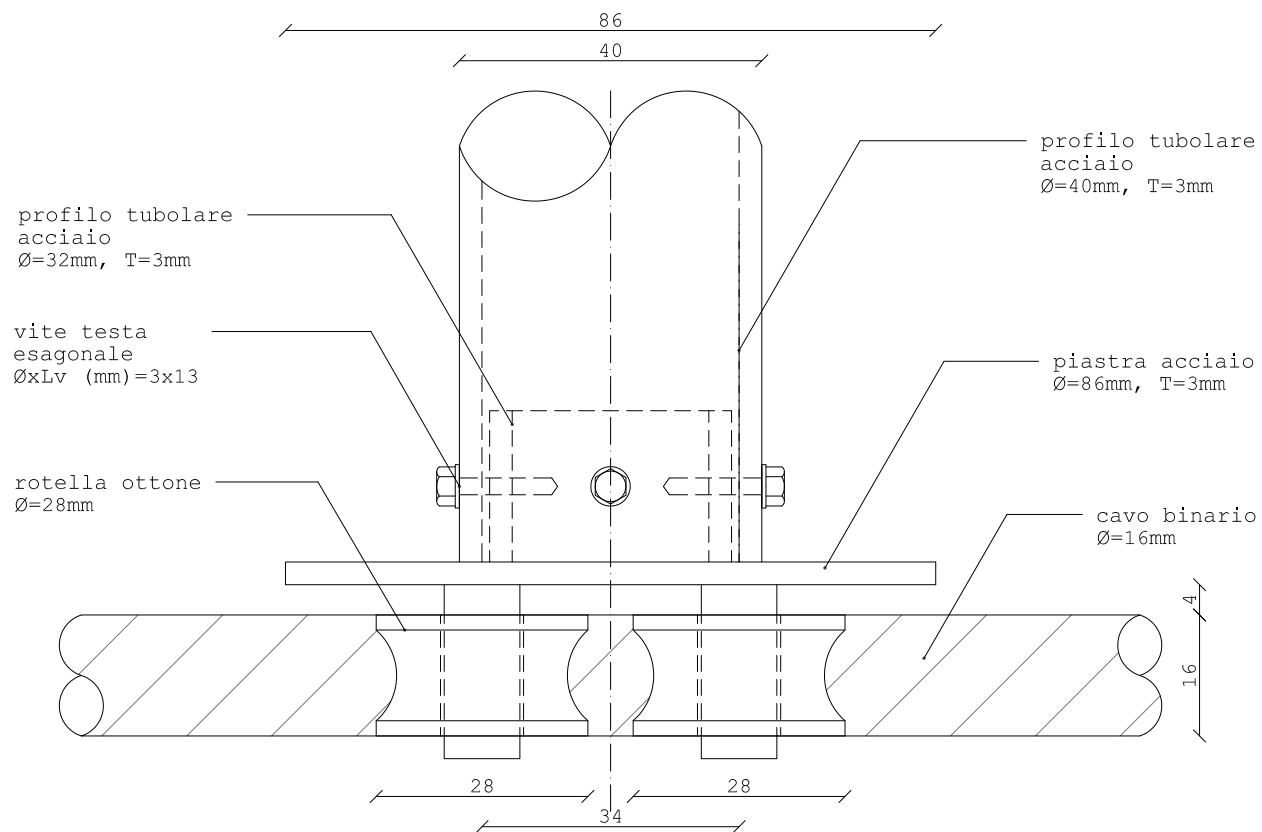
VISTA FRONTALE



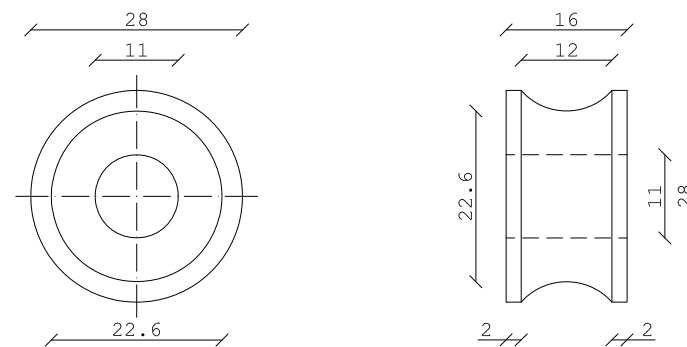
VISTA LATERALE



PIANTA



PARTICOLARE ROTELLA OTTONE



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

DETTAGLI TENDE

PARTICOLARI COLLEGAMENTO ESTREMITA' BACCHETTA TENDA CON CAVO BINARIO

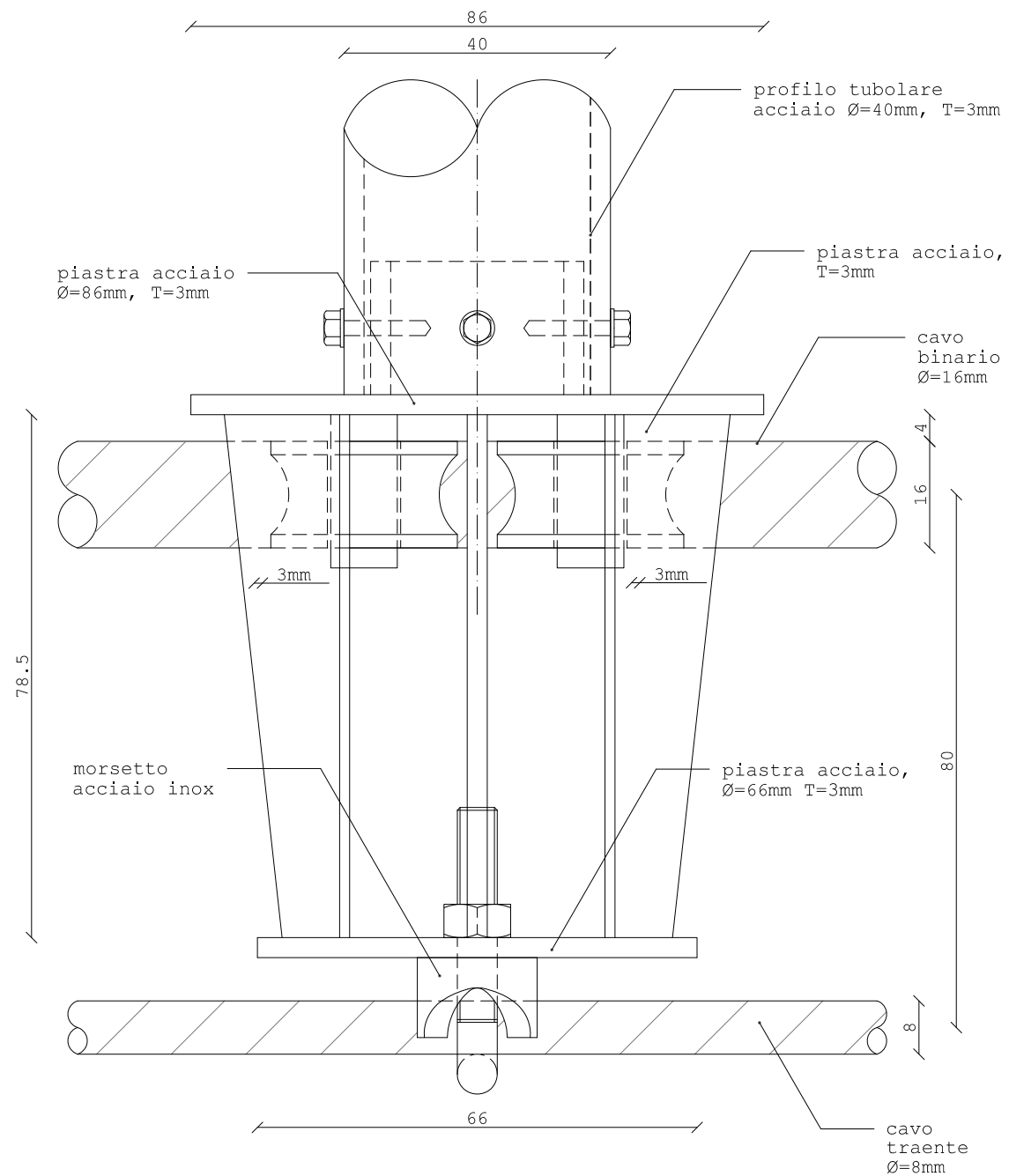
SCALA 1:1

TAVOLA

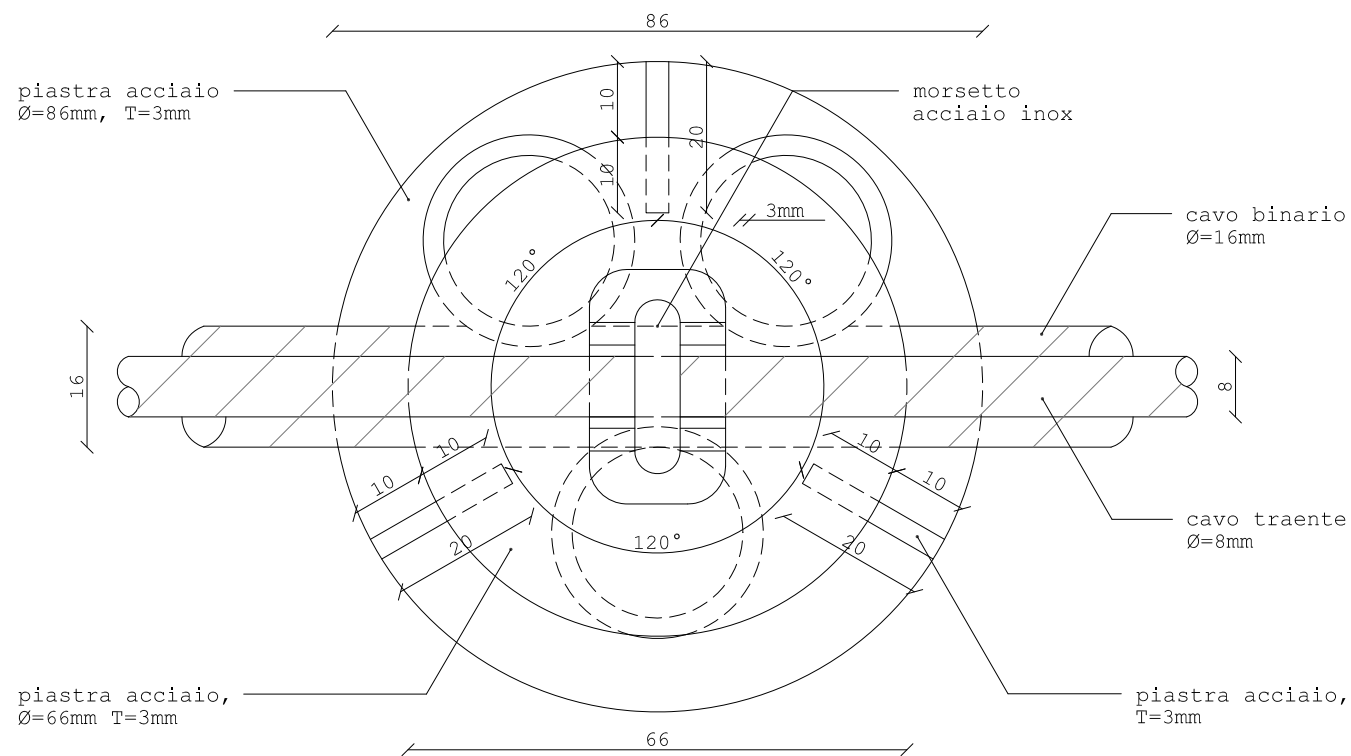
6.4



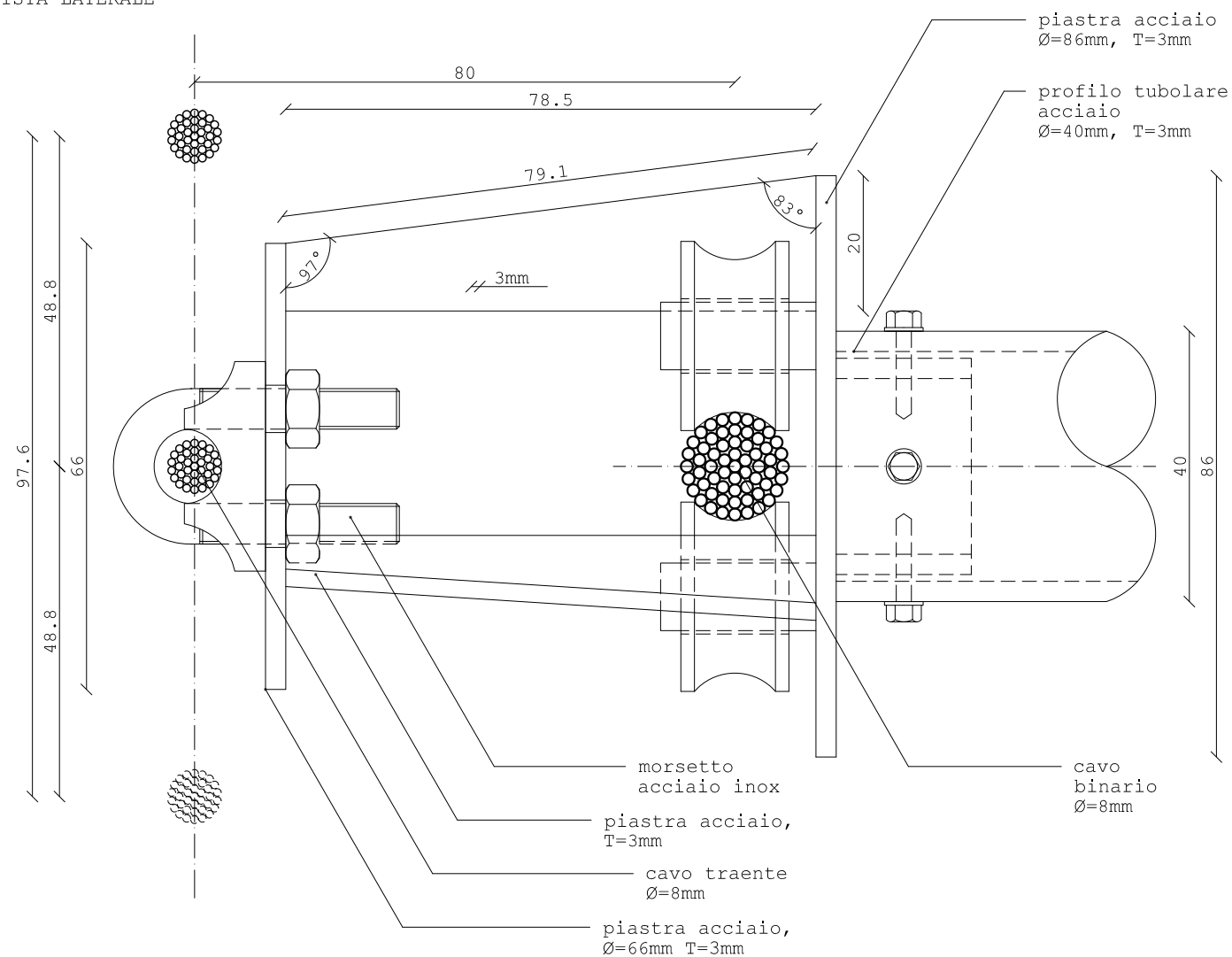
PIANTA



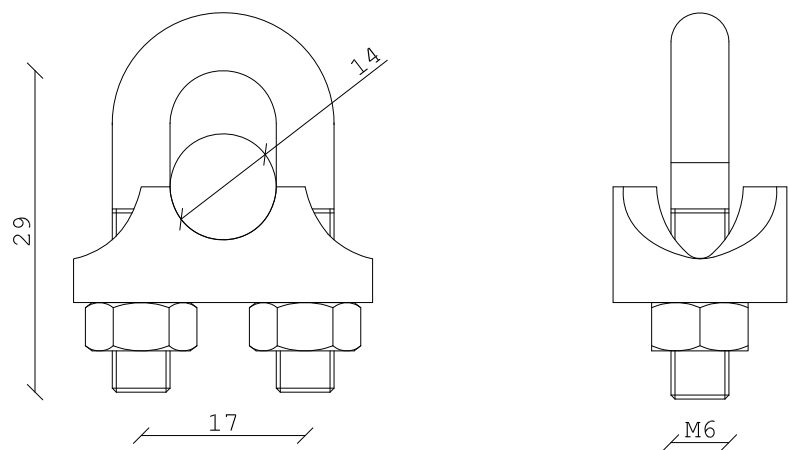
VISTA FRONTALE



VISTA LATERALE



DETTAGLIO MORSETTO



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

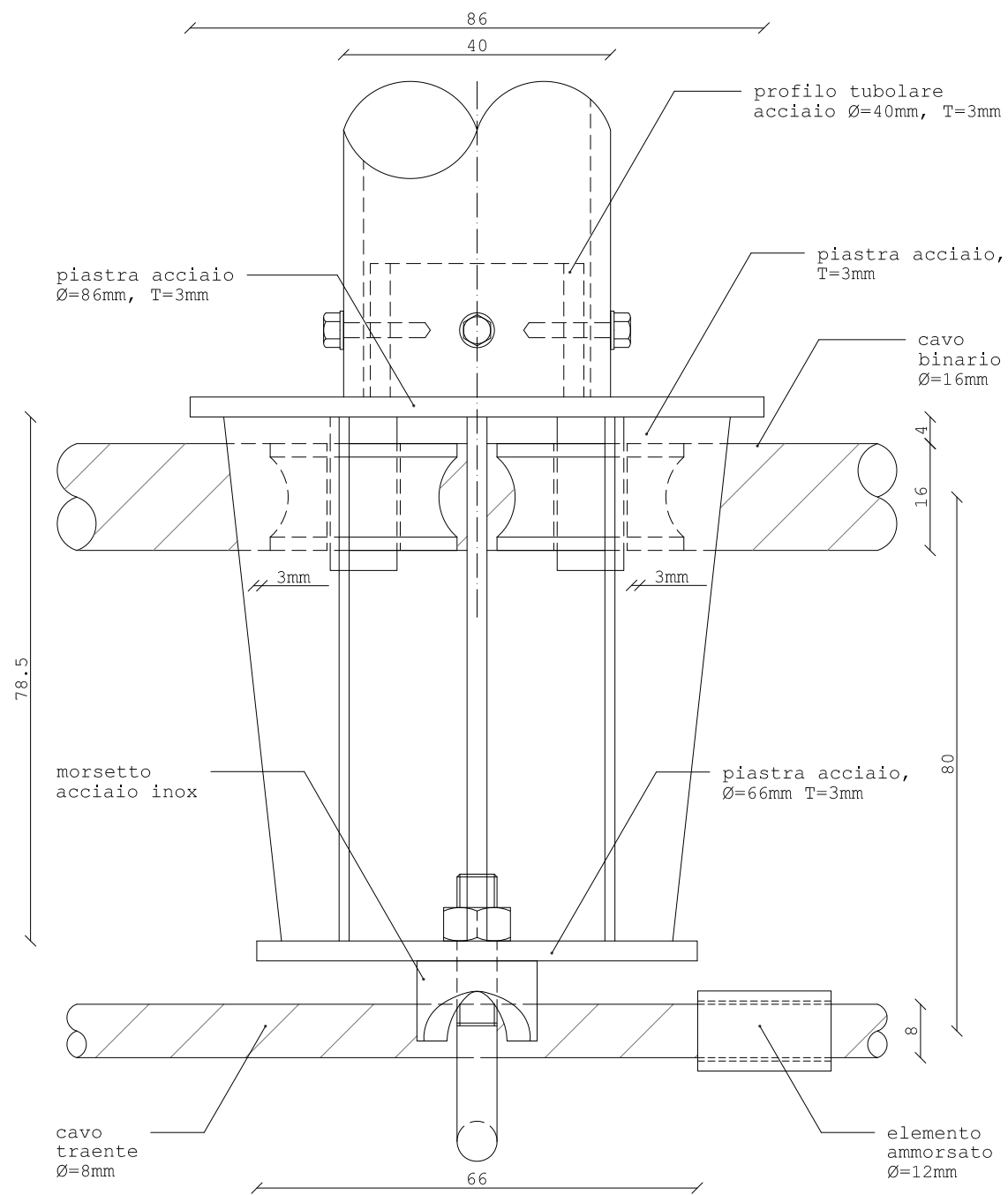
DETTAGLI TENDE

PARTICOLARI COLLEGAMENTO ESTREMITA' BACCHETTA DI TESTA CON CAVI TRAENTE E BINARIO

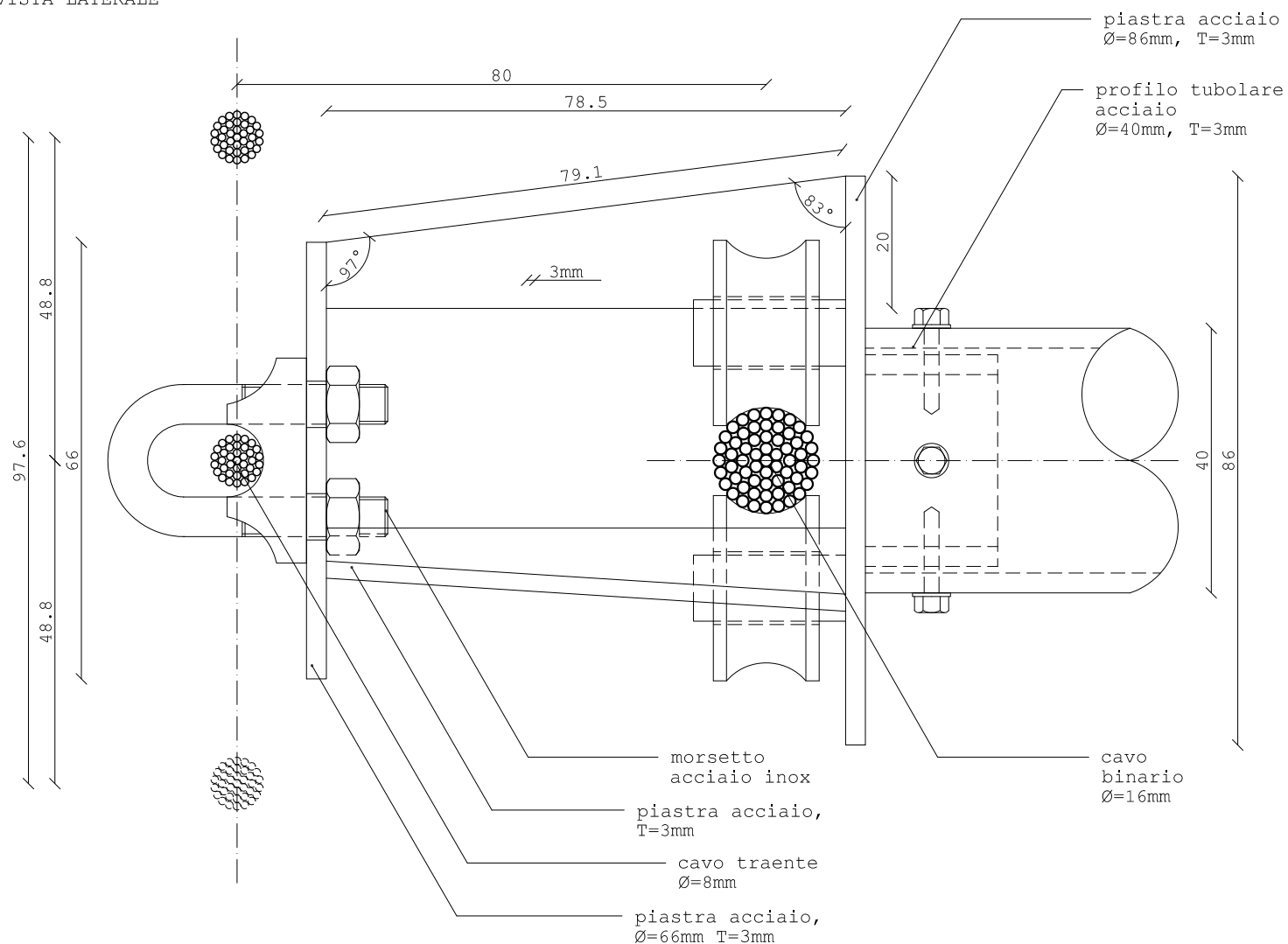
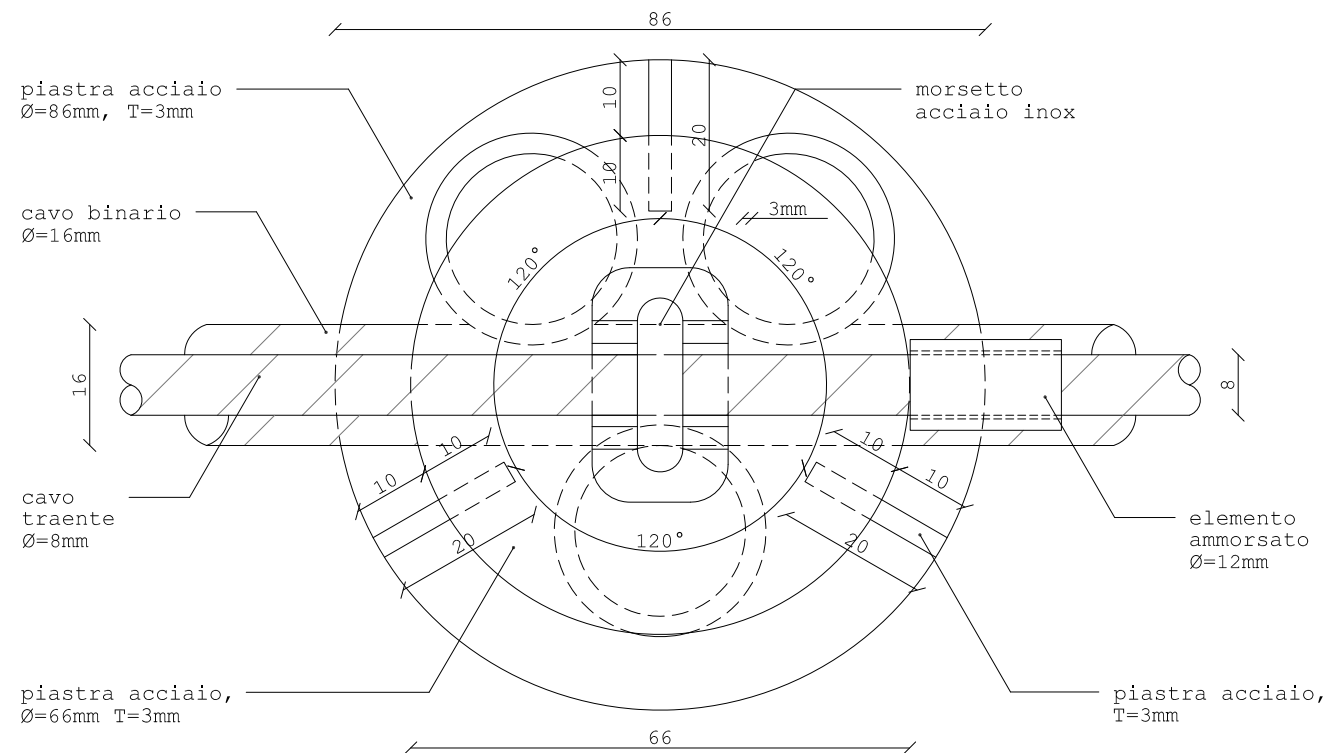
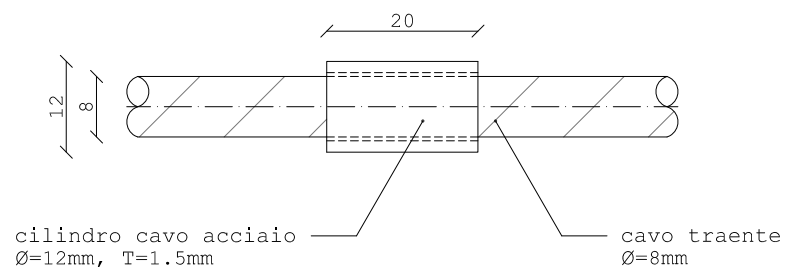
SCALA 1:1

TAVOLA

6.5



DETTAGLIO ELEMENTO TUBOLARE AMMORSATO AL CAVO TRAENTE



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

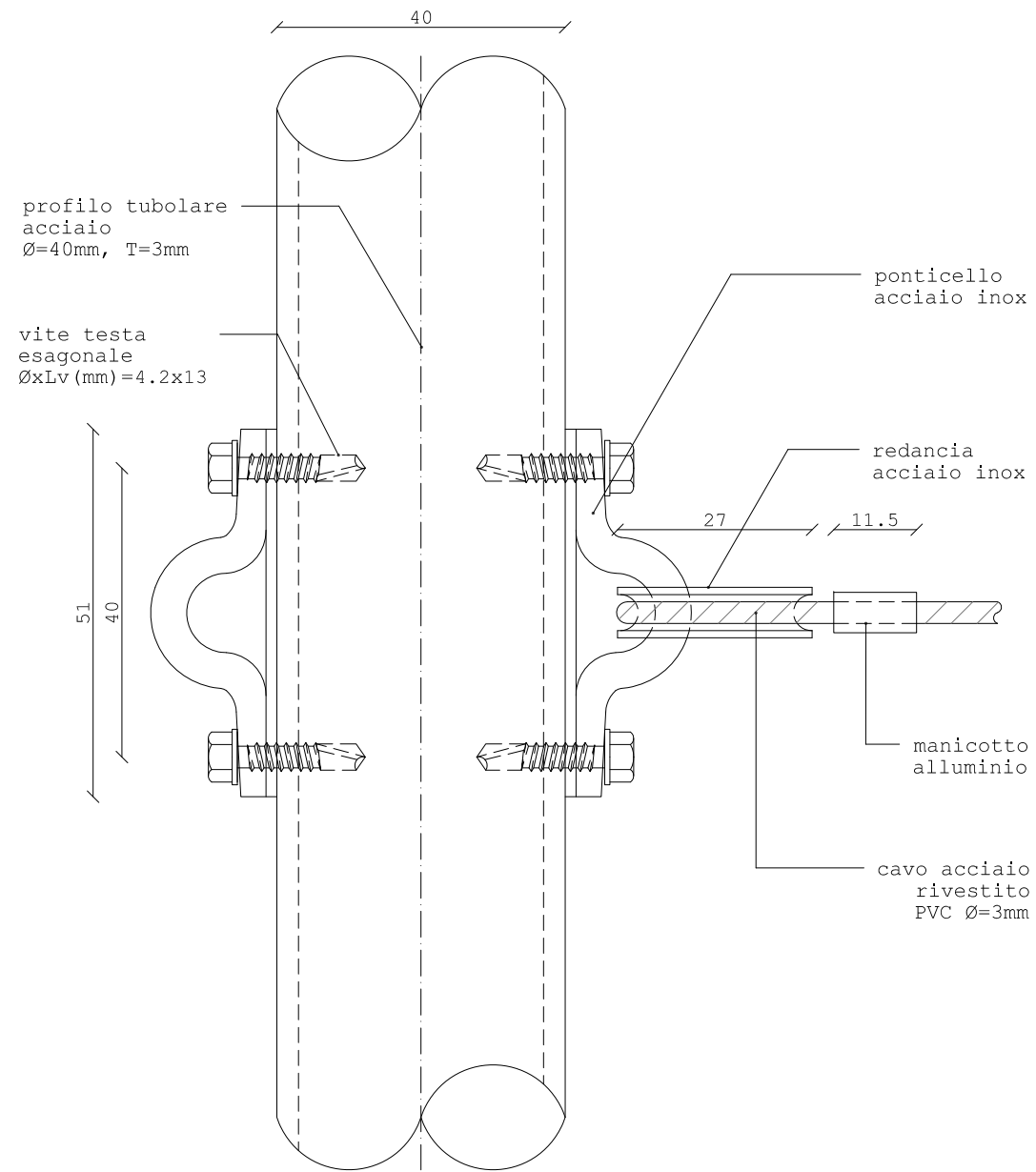
Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

DETTAGLI TENDE

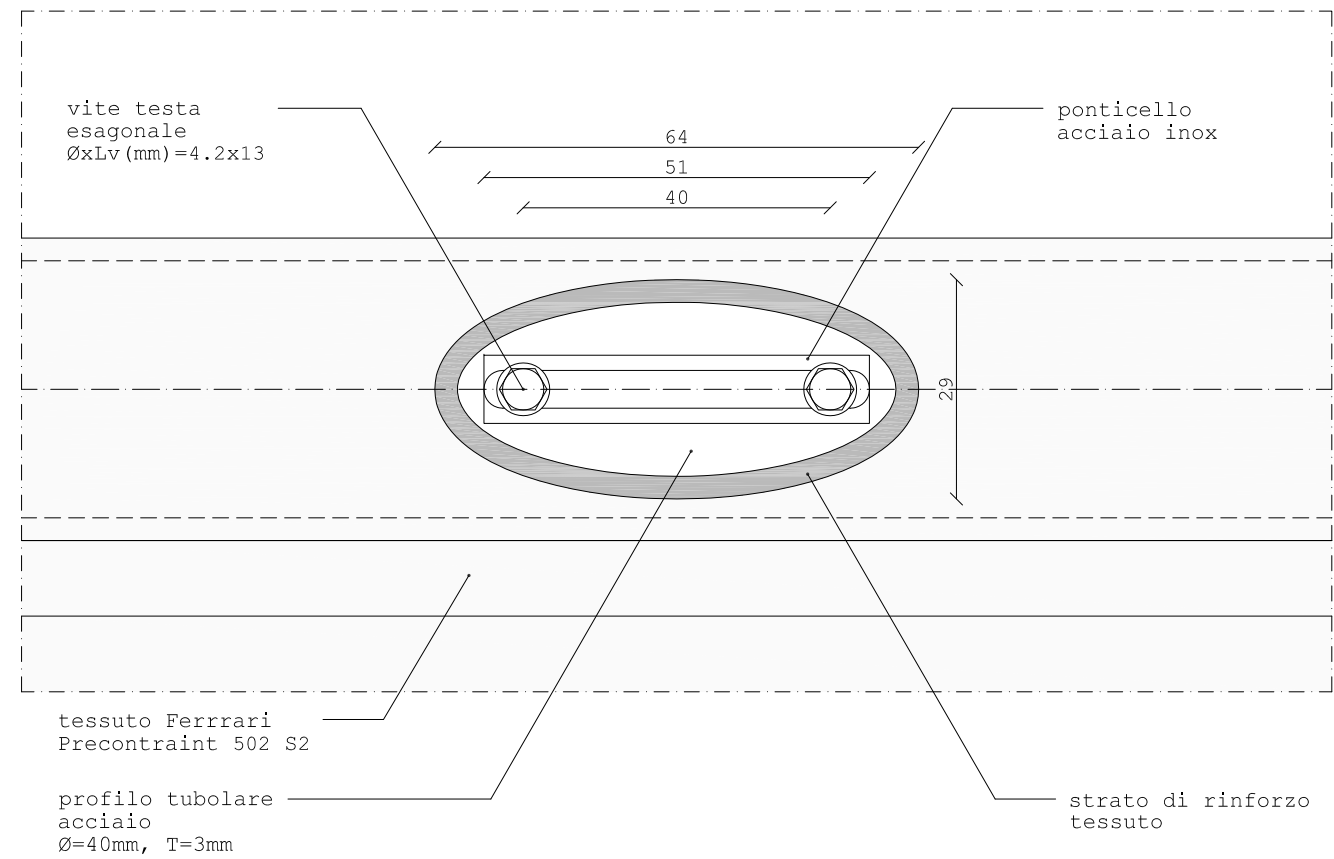
PARTICOLARI ESTREMITA' BACCHETTA DI TESTA TENDA 9 SPAN INTERNA

SCALA 1:1

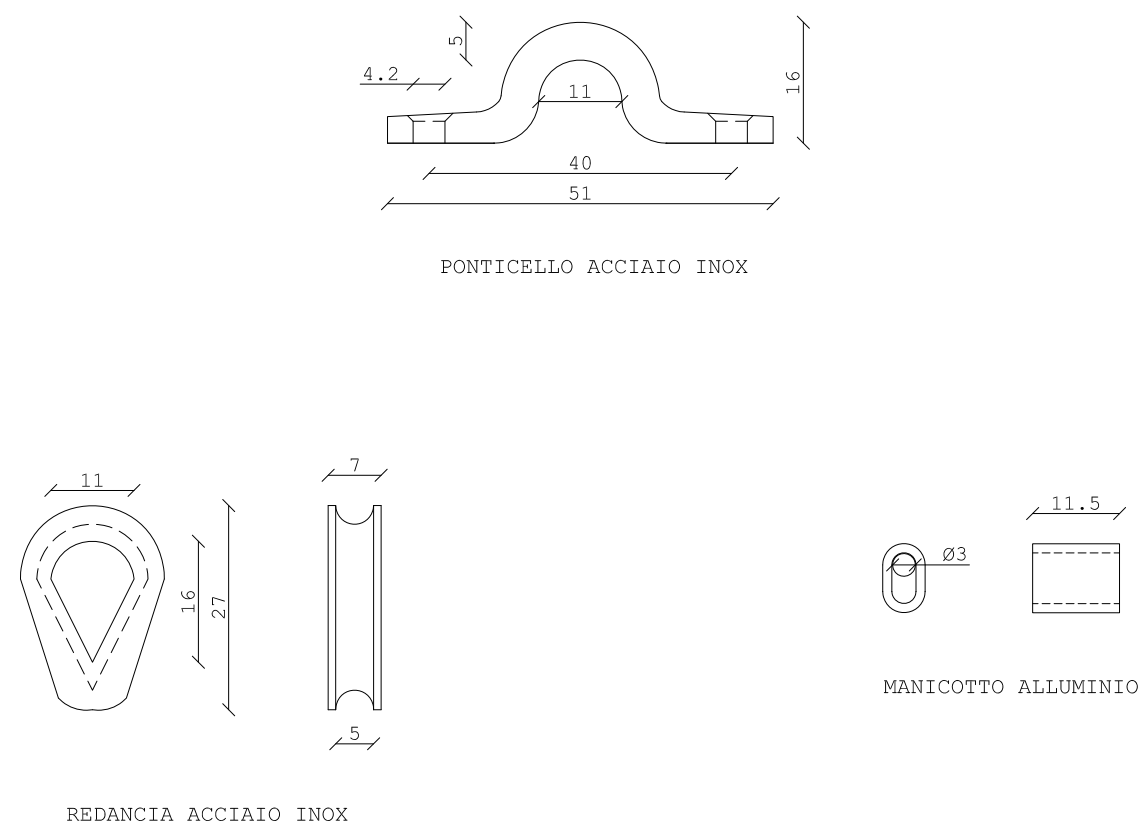
VISTA SUPERIORE



VISTA LATERALE



DETTAGLI ELEMENTI



**POLITECNICO DI MILANO**  
 Facoltà di Architettura  
 e Società  
 Corso di Laurea Specialistica  
 TS6  
 A.A. 2009/2010

**Un Velarium al  
 Politecnico**  
 Progetto di un sistema  
 di ombreggiamento retrattile  
 per piazza Gardella

Studente:  
 Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
 Matricola: 709095

Relatrice:  
 Prof.ssa Alessandra Zanelli

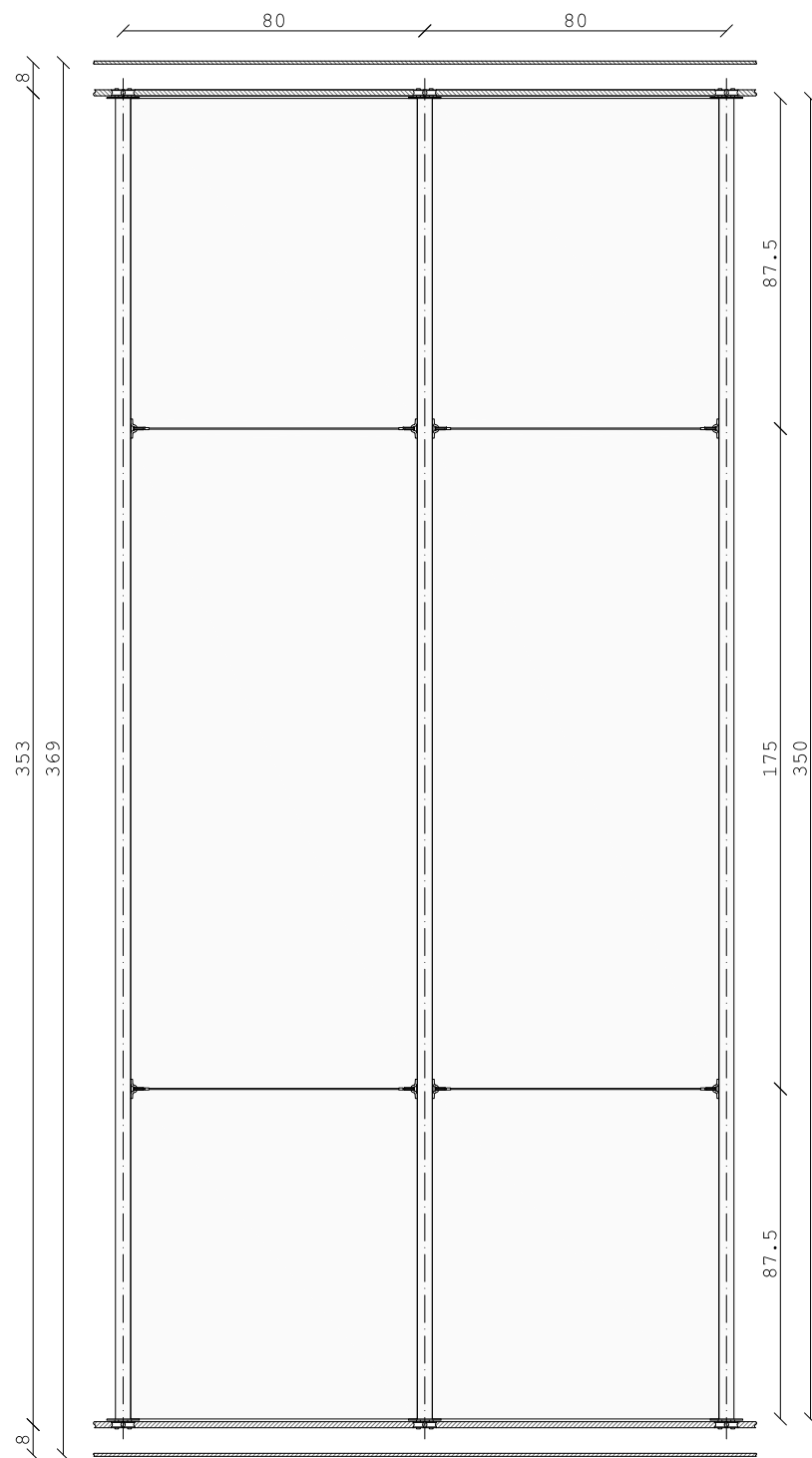
Correlatore:  
 Ing. Paolo Beccarelli

**DETTAGLI TENDE**  
 PARTICOLARI  
 COLLEGAMENTO BACCHETTA  
 TENDA CON  
 CAVETTO TRAINANTE  
 SCALA 1:1  
 ACCESSORI  
 CAVETTO TRAINANTE  
 SCALA 1:1

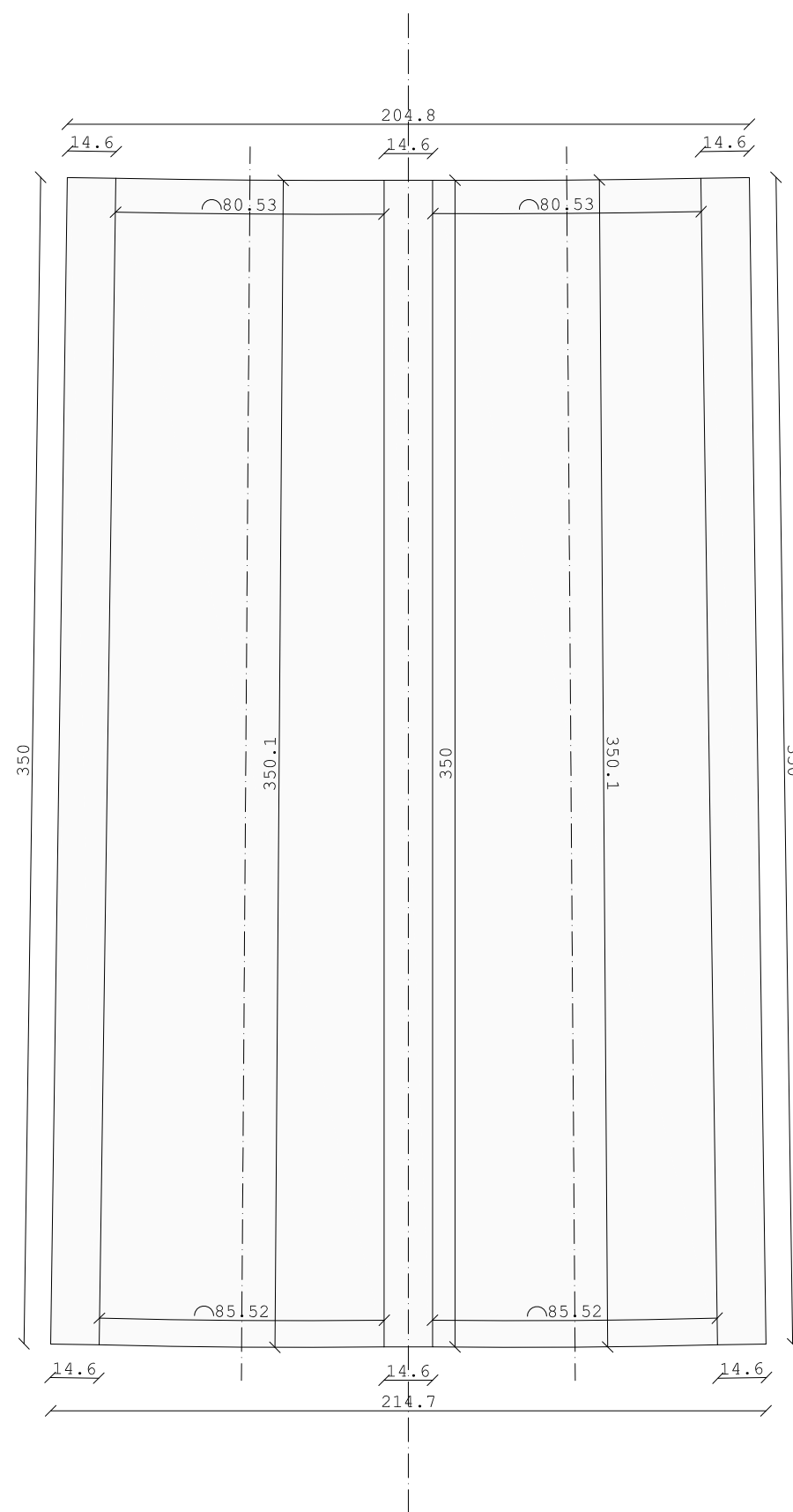
**TAVOLA**

**6.7**

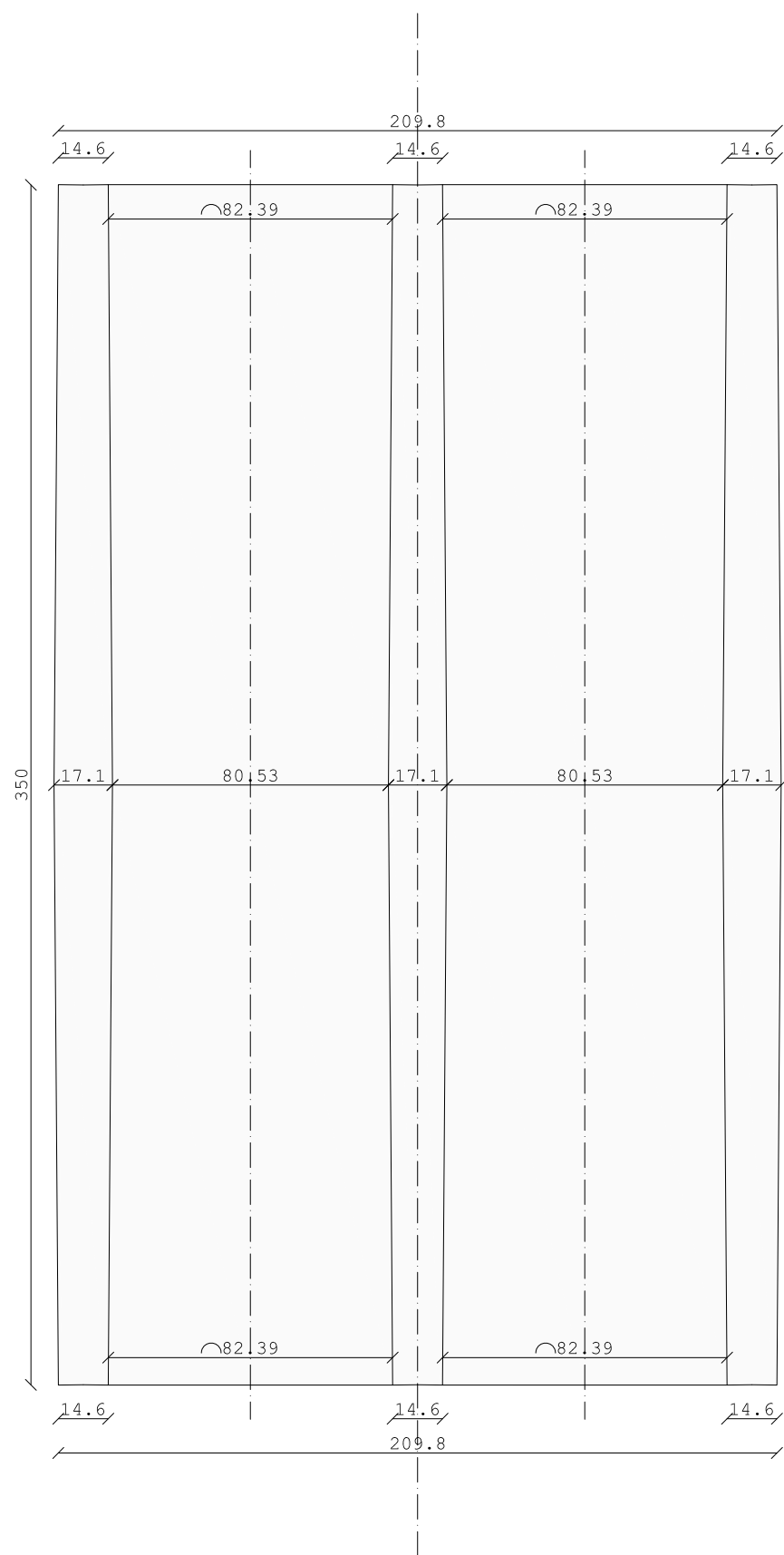
SVILUPPO DI 2 SPAN DELLE TENDE



SVILUPPO 2 SPAN DISTESI, TENDA 9/10 SPAN



SVILUPPO 2 SPAN DISTESI, TENDA 10 SPAN CENTRALE



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### DETTAGLI TENDE

SVILUPPO TESSUTO TENDE  
LUNGO 2 SPAN

SCALA 1:20

TAVOLA

6.8



**POLITECNICO DI MILANO**

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di  
ombreggiamento retrattile per  
piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

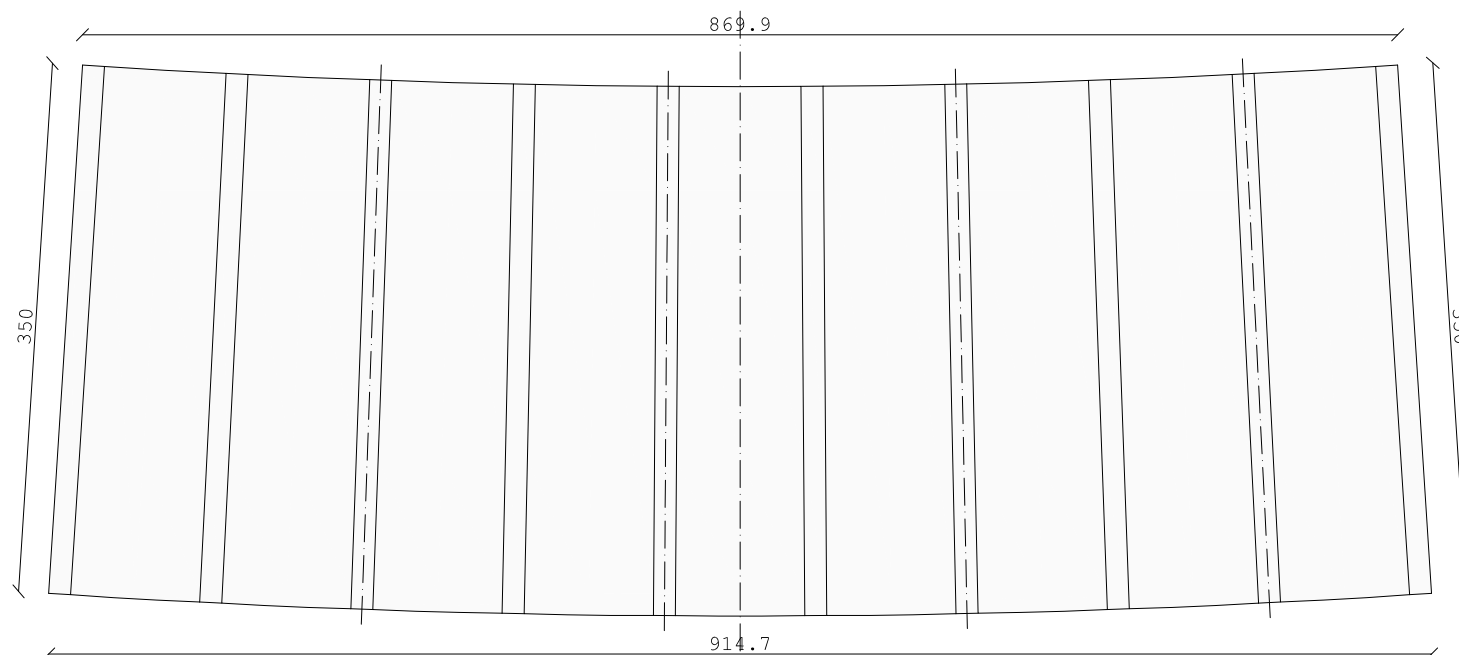
### DETTAGLI TENDE

TESSUTO TENDE  
DISTESO

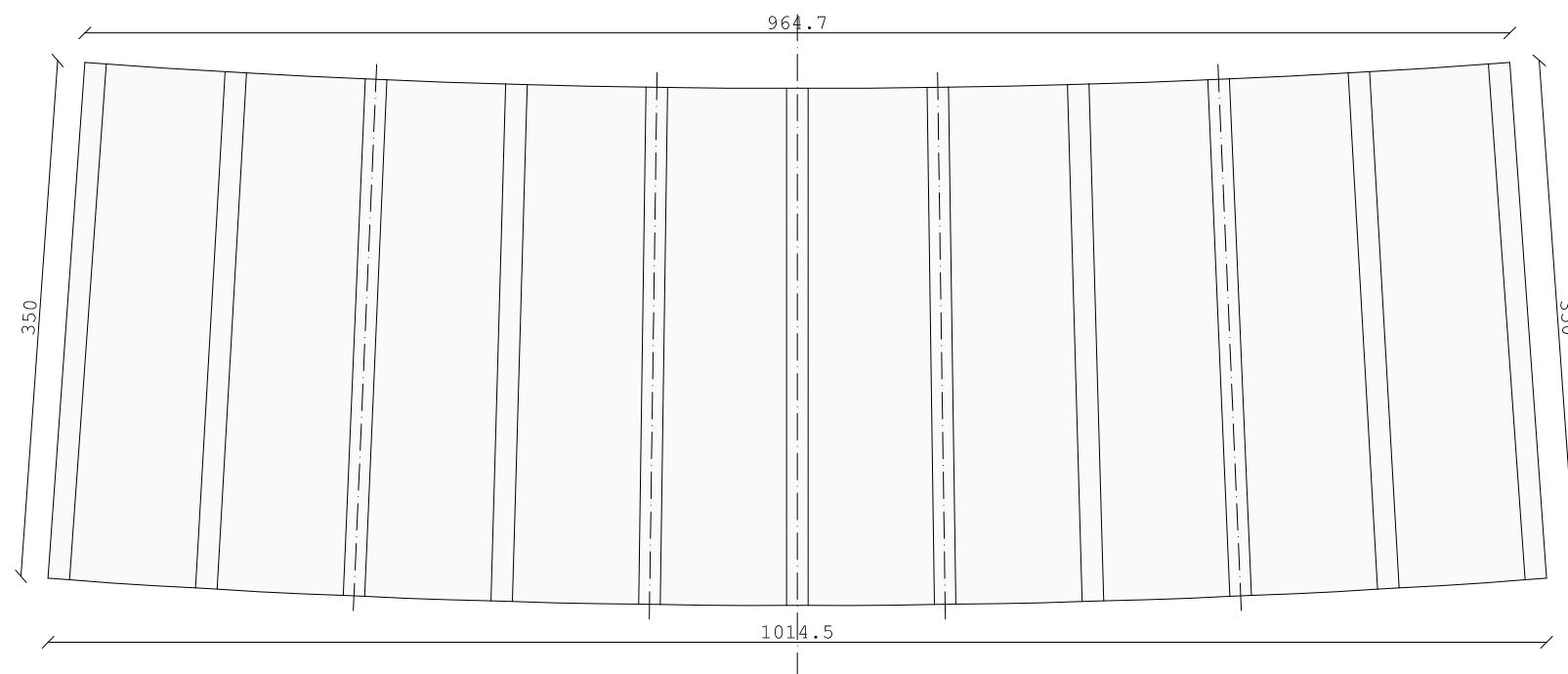
SCALA 1:50

TAVOLA

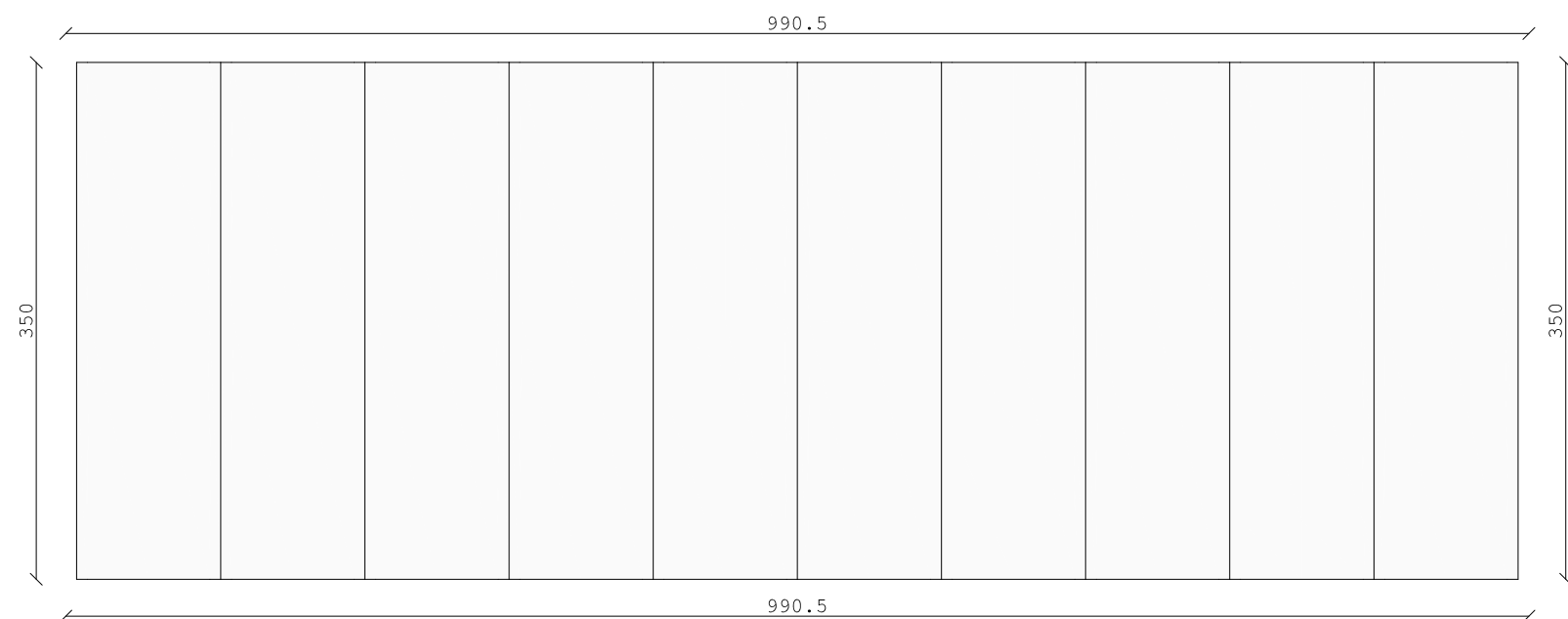
# 6.9



TESSUTO DISTESO TENDA 9 SPAN  
SUPERFICIE TESSUTO: 32.25mq  
NUMERO FERZI: 5



TESSUTO DISTESO TENDA 10 SPAN  
SUPERFICIE TESSUTO: 34.6mq  
NUMERO FERZI: 5



TESSUTO DISTESO TENDA 10 SPAN CENTRALE  
SUPERFICIE TESSUTO: 34.67mq  
NUMERO FERZI: 5



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di  
ombreggiamento retrattile per  
piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### DETTAGLI TENDE

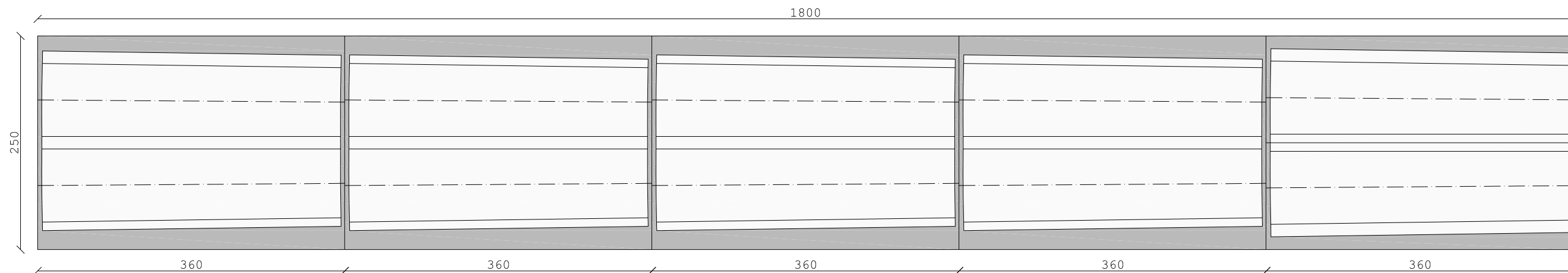
DISPOSIZIONE FERZI  
SU BOBINA TESSUTO

DISEGNO NON IN SCALA

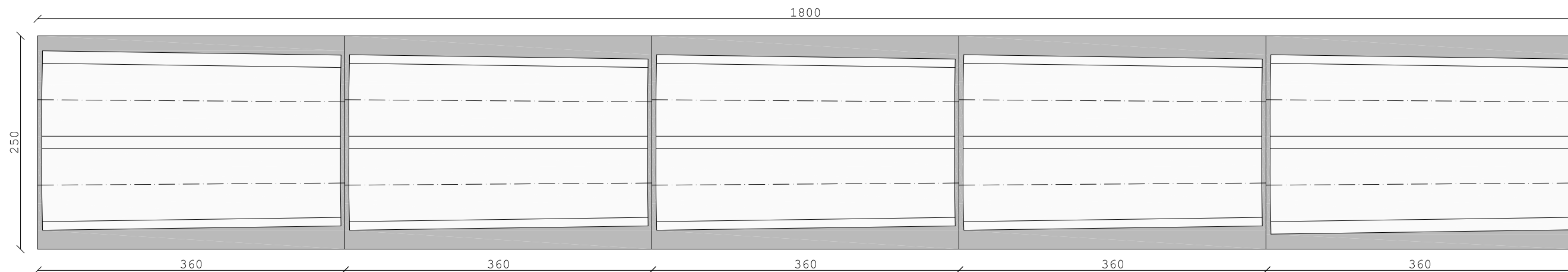
TAVOLA

# 6.10

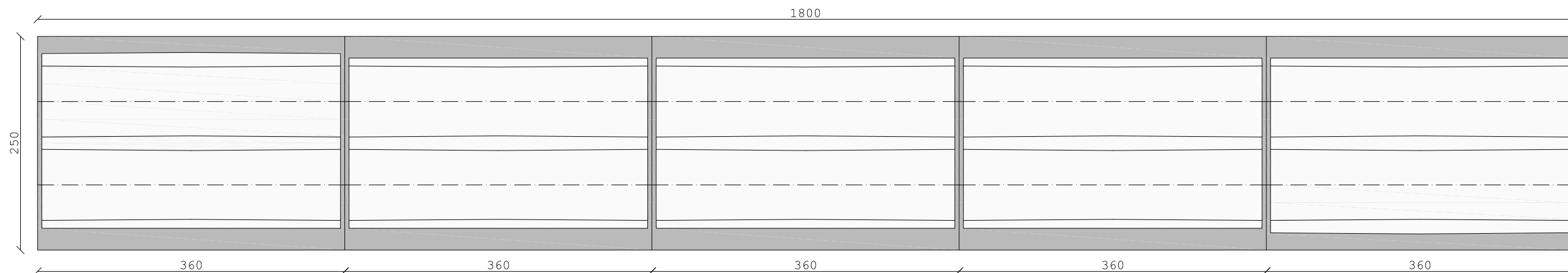
DISPOSIZIONE FERZI TENDA 9 SPAN



DISPOSIZIONE FERZI TENDA 10 SPAN

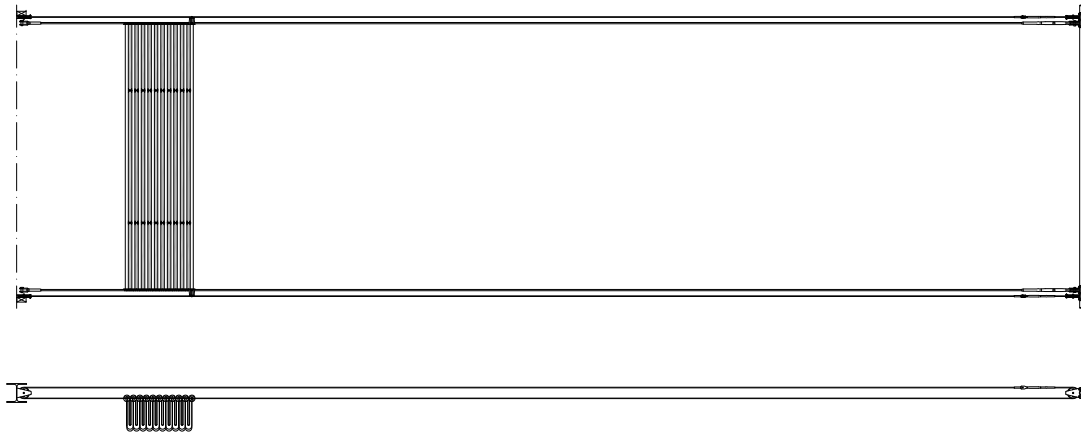


DISPOSIZIONE FERZI TENDA 10 SPAN CENTRALE

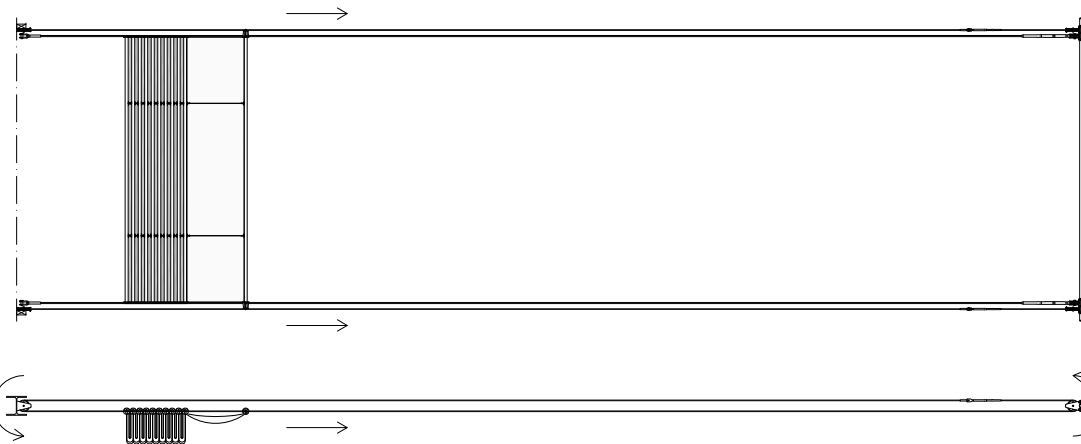


FASI APERTURA

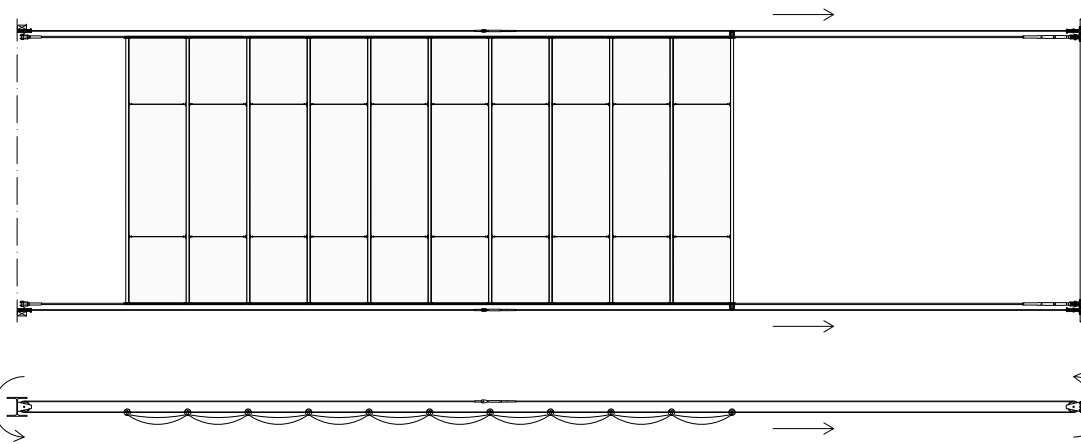
fase 1



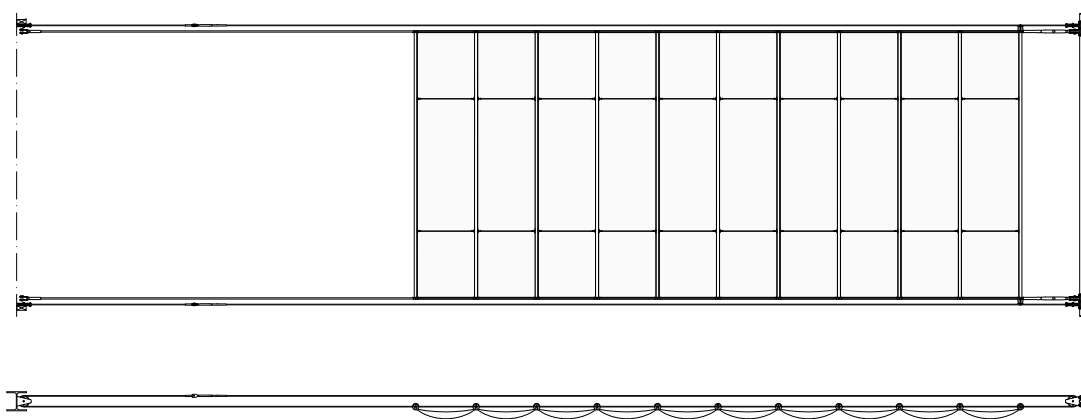
fase 2



fase 3

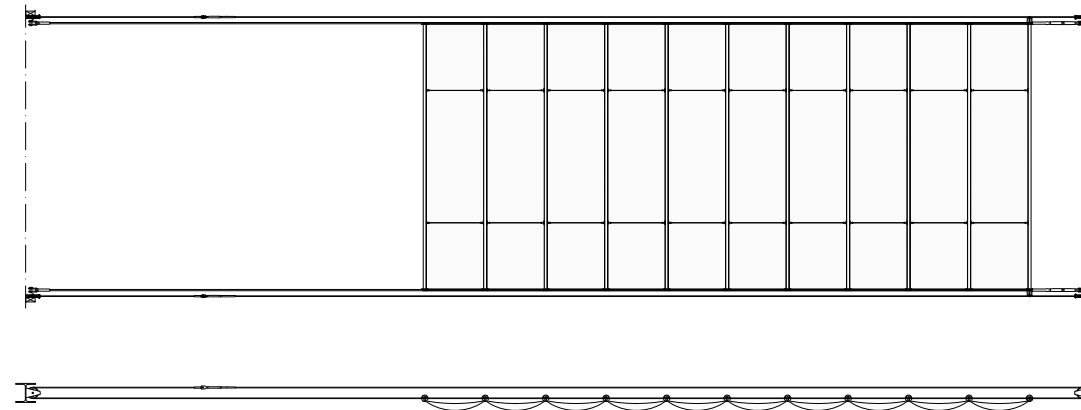


fase 4

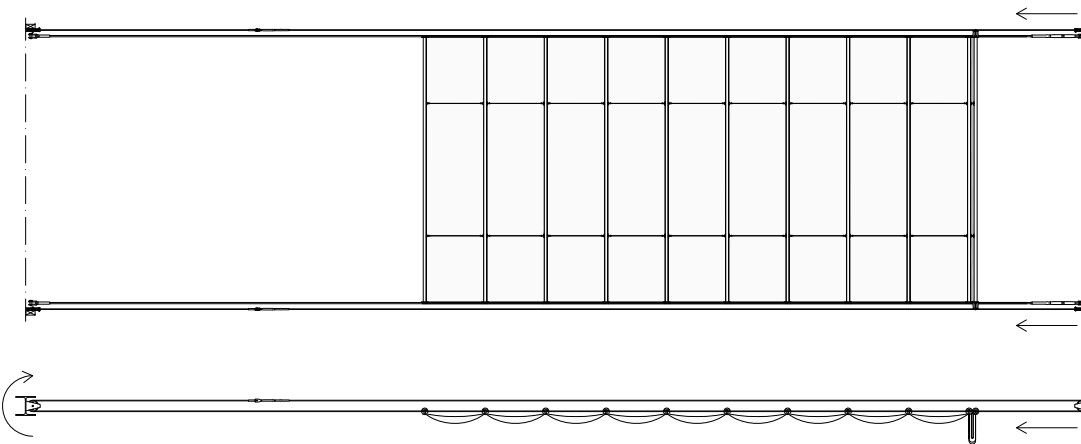


FASI CHIUSURA

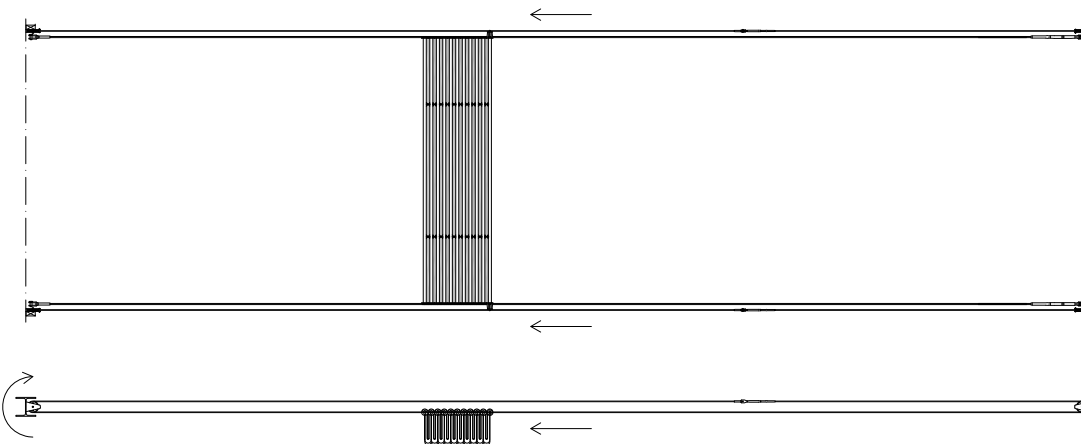
fase 1



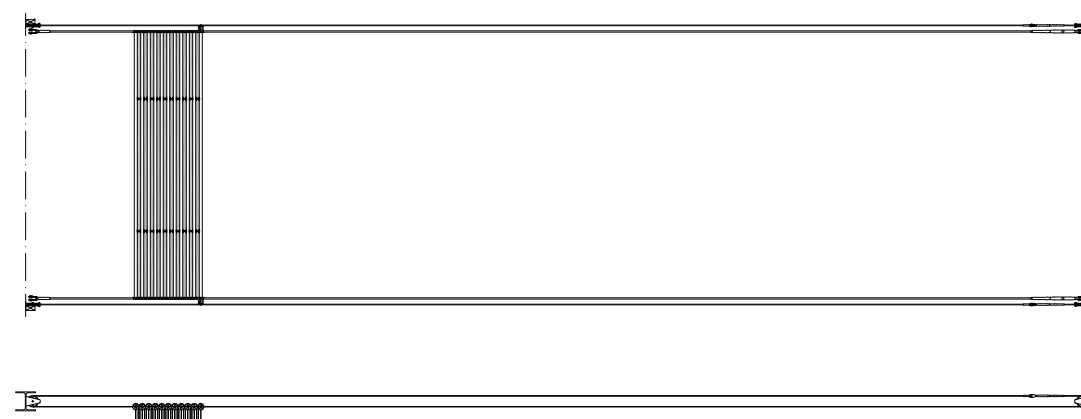
fase 2



fase 3



fase 4



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

Un Velarium al  
Politecnico

Progetto di un sistema di  
ombreggiamento retrattile per  
piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

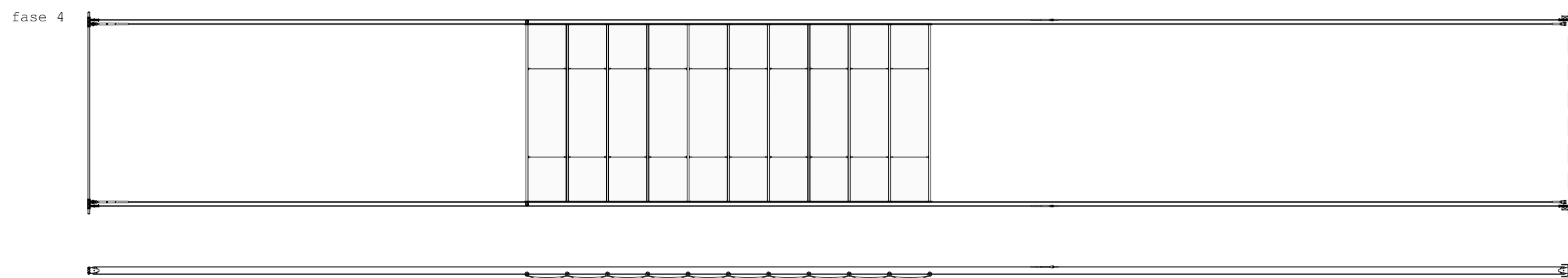
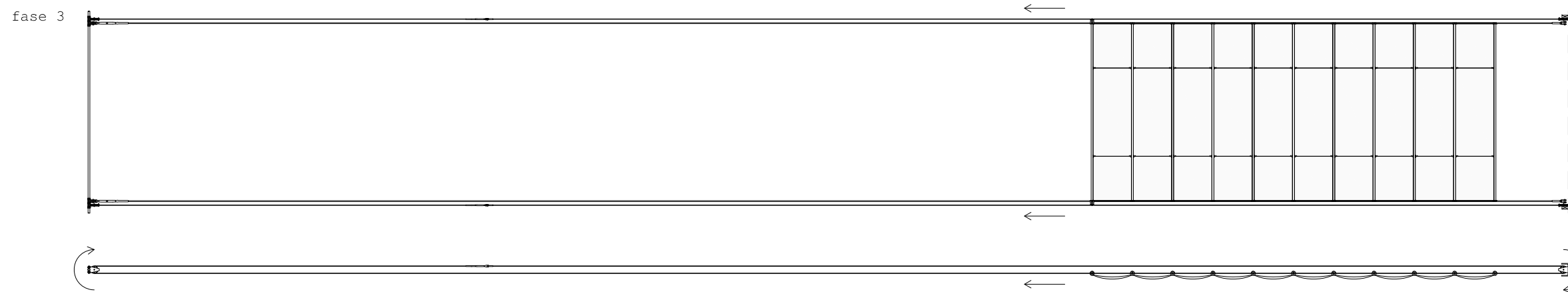
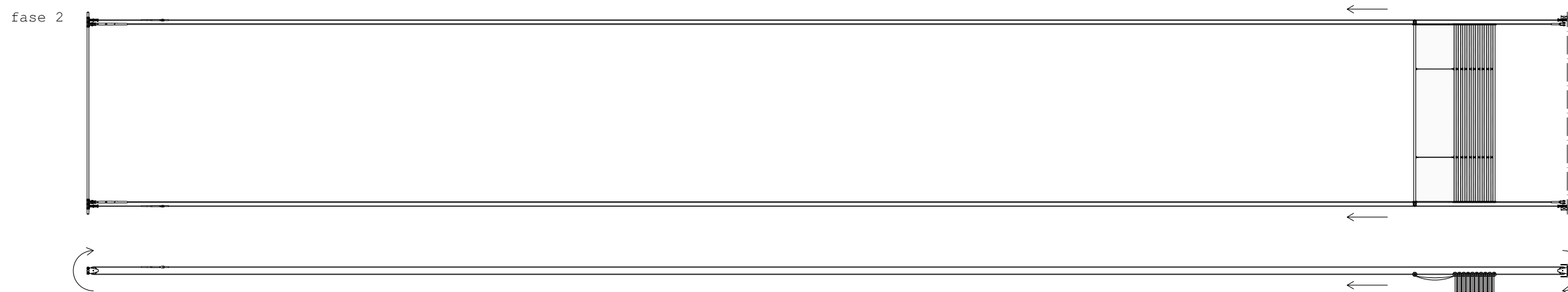
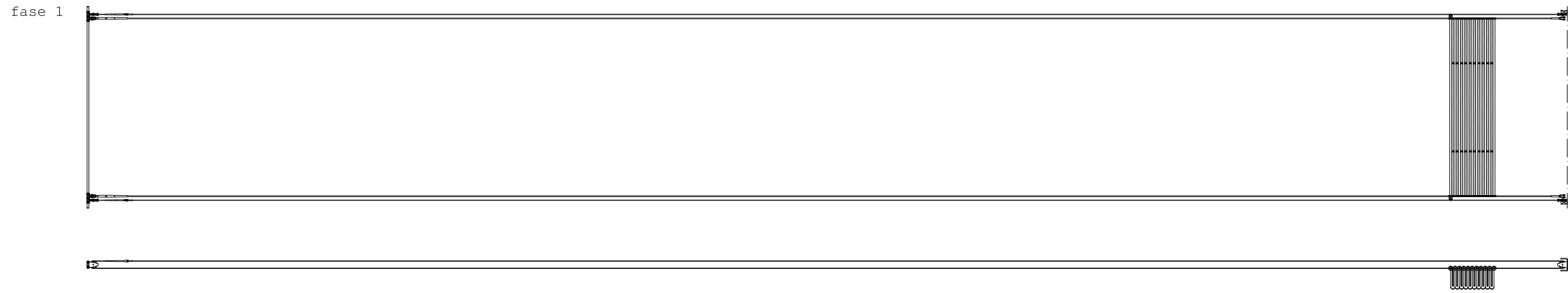
APERTURA E  
CHIUSURA TENDE

TENDA 10 SPAN

SCALA 1:100

TAVOLA

6.11



**POLITECNICO DI MILANO**

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### APERTURA E CHIUSURA TENDE

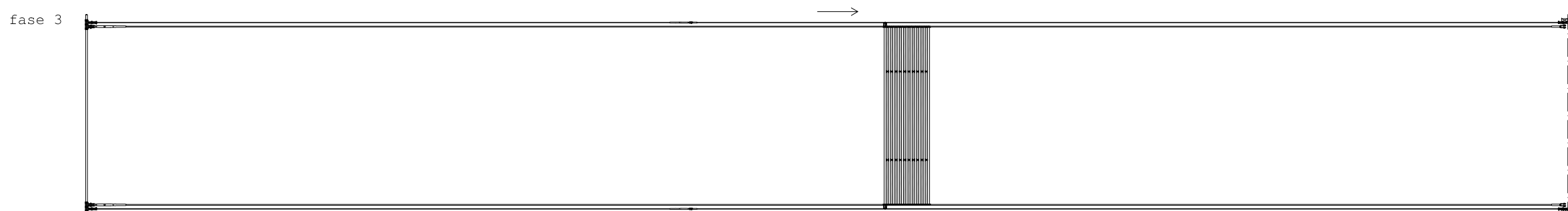
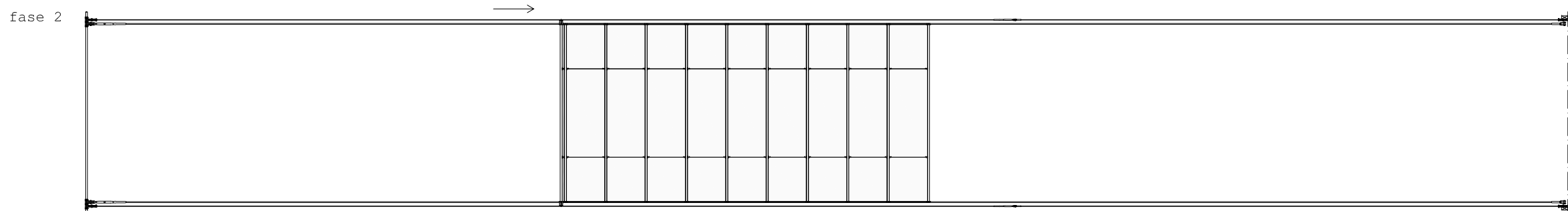
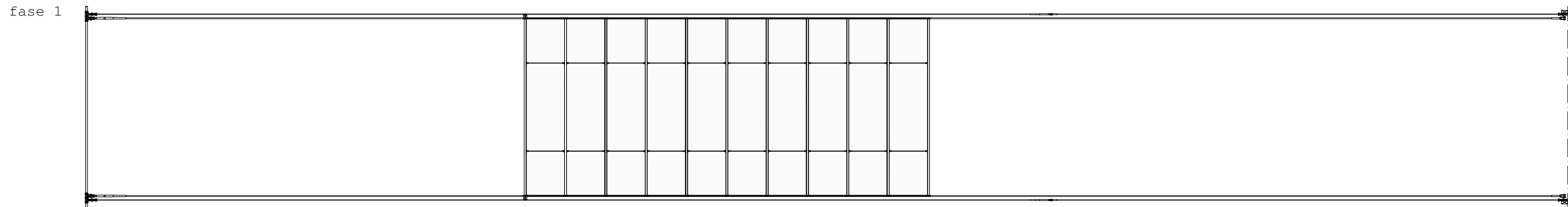
APERTURA TENDA 10 SPAN  
CENTRALE

SCALA 1:100

TAVOLA

# 6.12





**POLITECNICO DI MILANO**

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

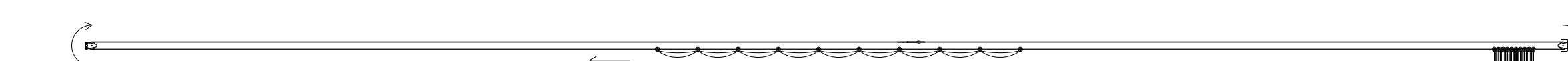
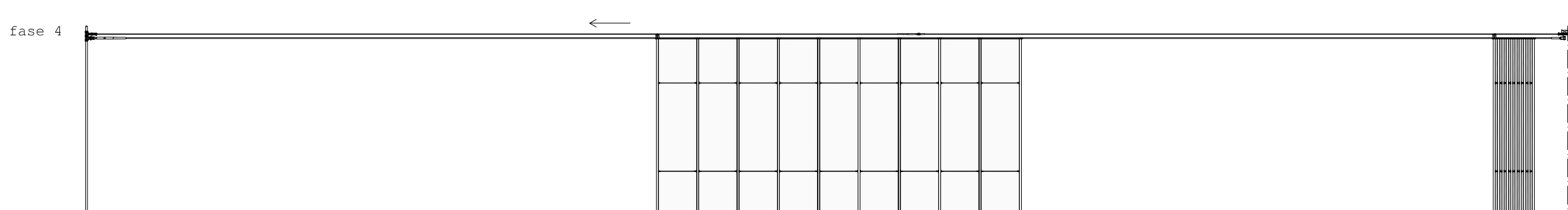
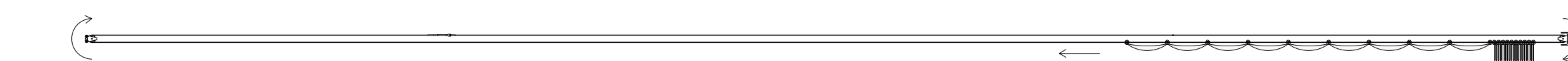
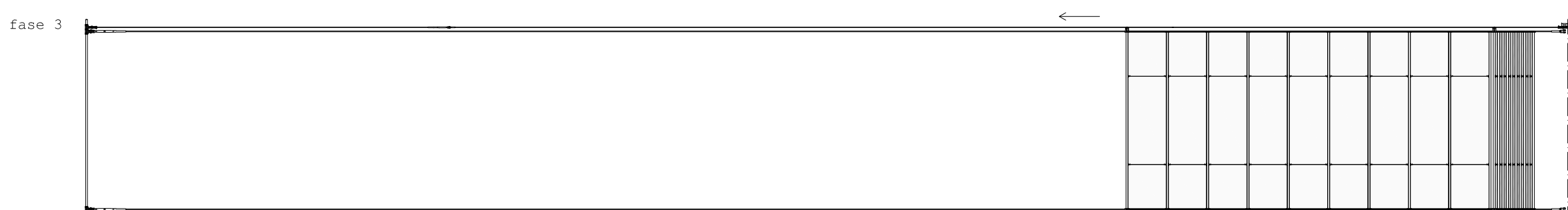
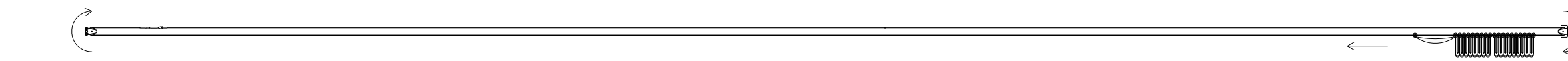
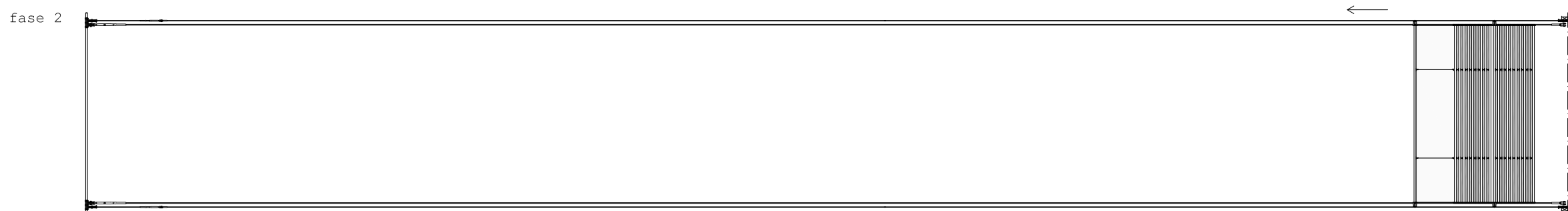
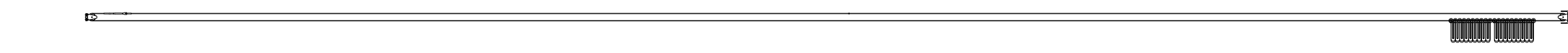
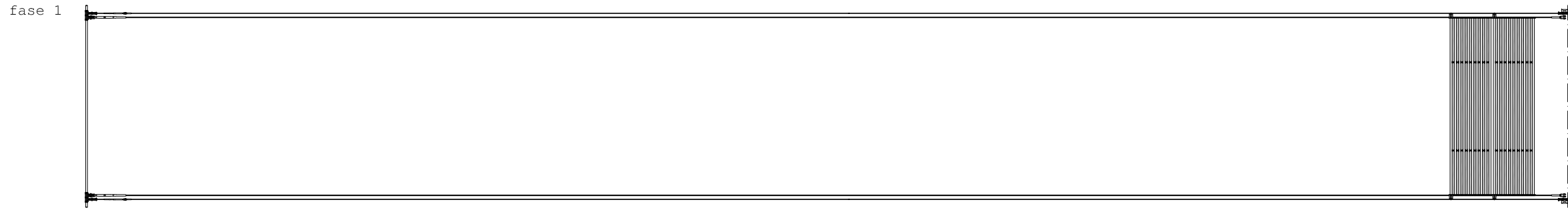
### APERTURA E CHIUSURA TENDE

CHIUSURA TENDA 10 SPAN  
CENTRALE

SCALA 1:100

TAVOLA

# 6.13



**POLITECNICO DI MILANO**  
Facoltà di Architettura  
e Società  
Corso di Laurea Specialistica  
TS6  
A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### APERTURA E CHIUSURA TENDE

APERTURA TENDE 9 SPAN  
SCALA 1:100

TAVOLA

# 6.14



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

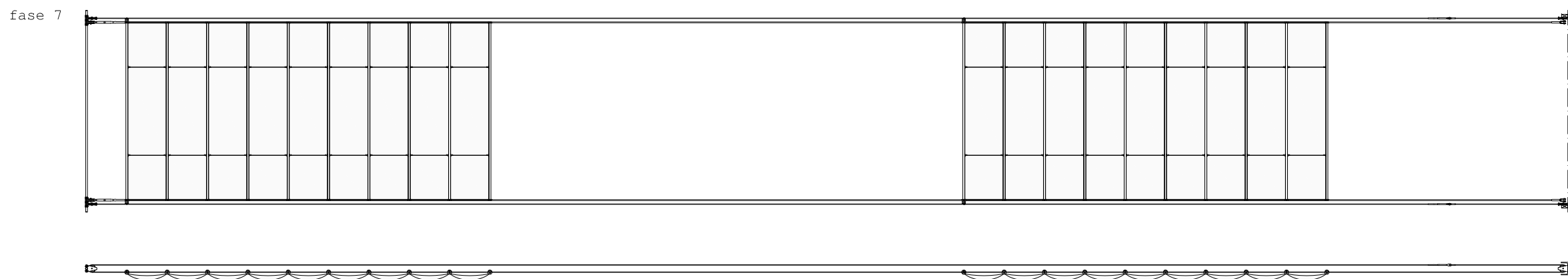
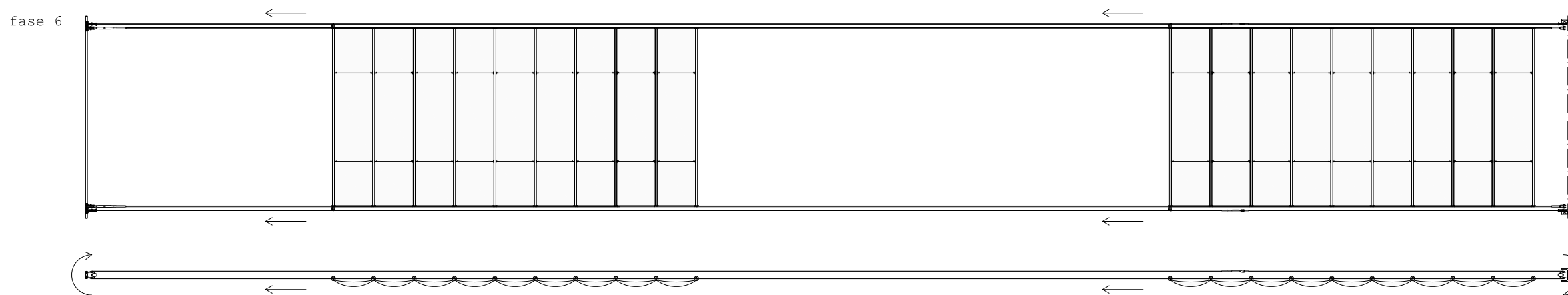
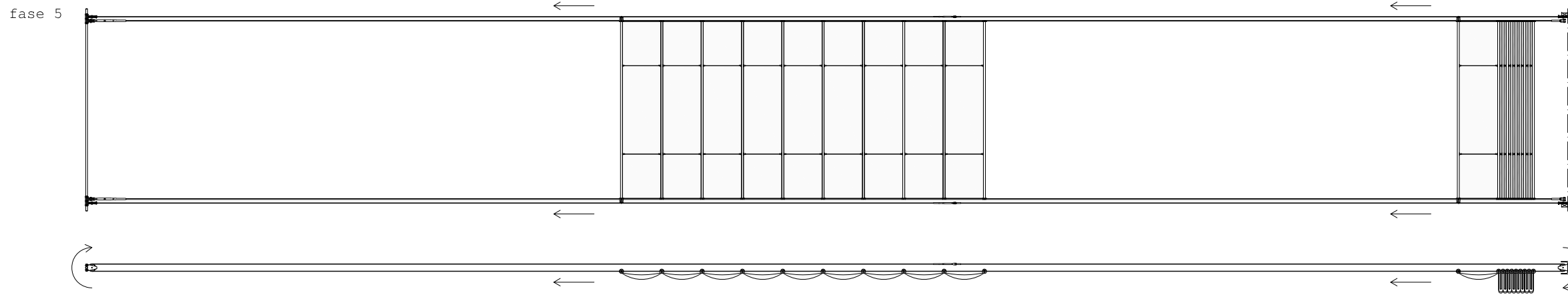
### APERTURA E CHIUSURA TENDE

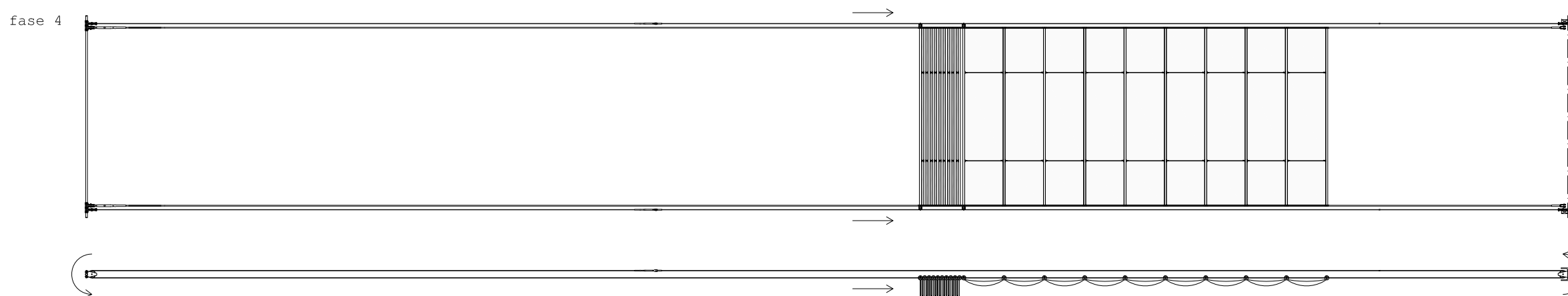
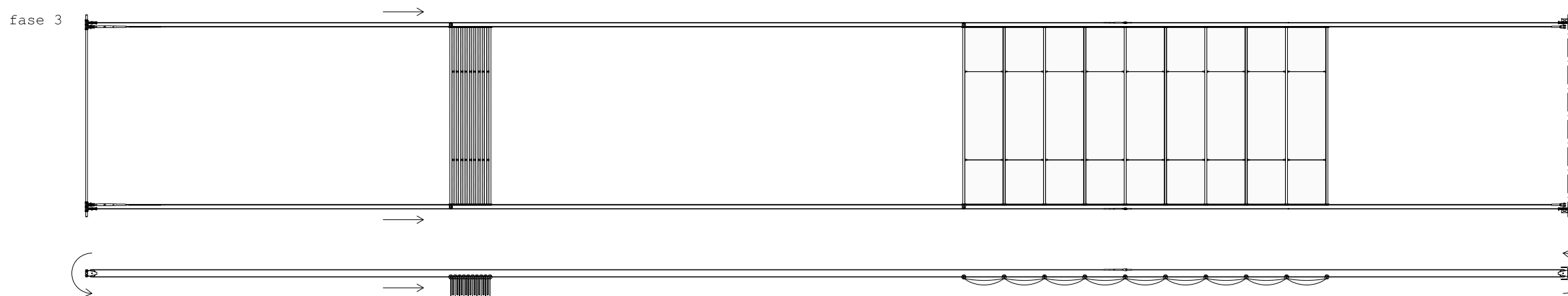
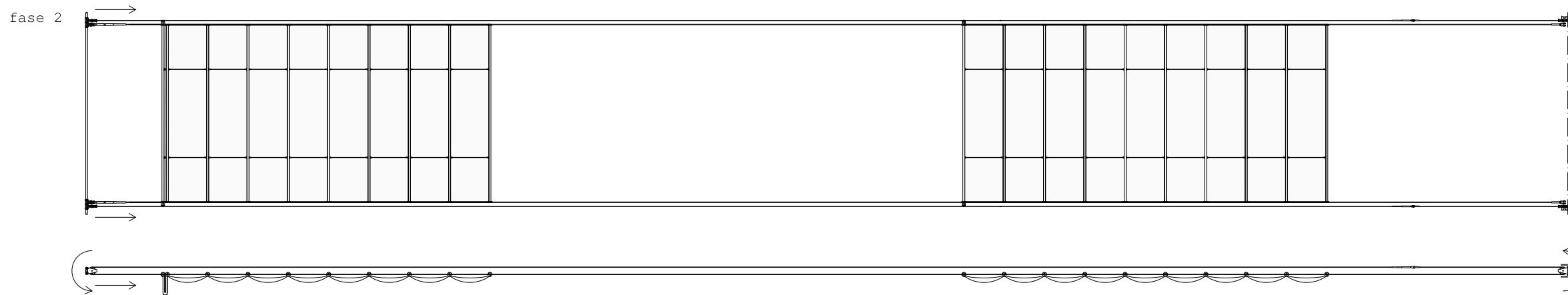
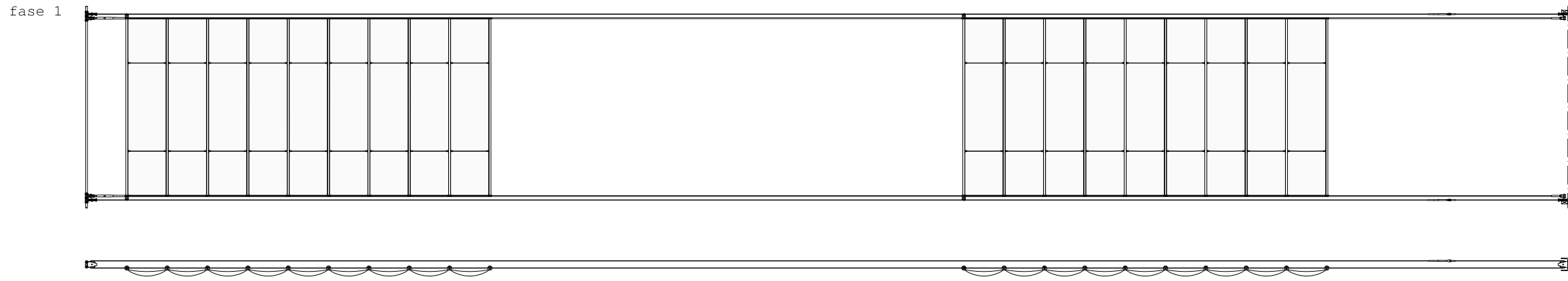
APERTURA TENDE 9 SPAN

SCALA 1:100

TAVOLA

# 6.15





POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### APERTURA E CHIUSURA TENDE

CHIUSURA TENDE 9 SPAN

SCALA 1:100

TAVOLA

# 6.16



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

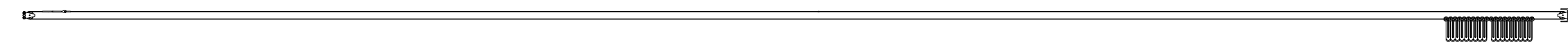
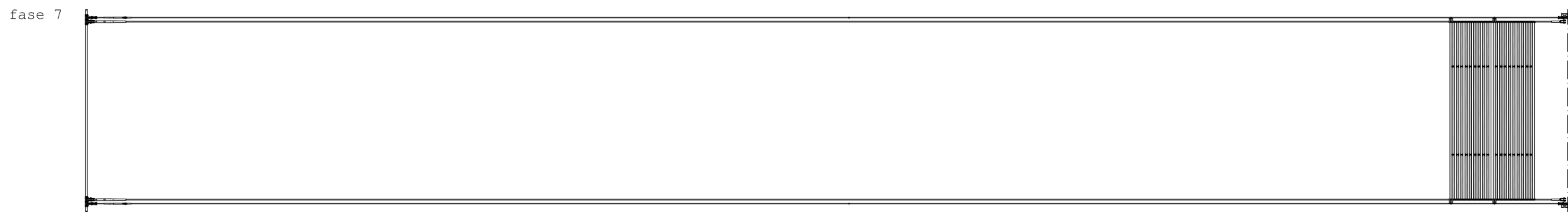
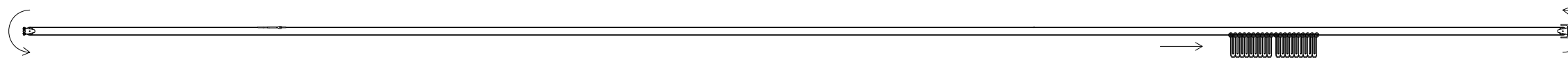
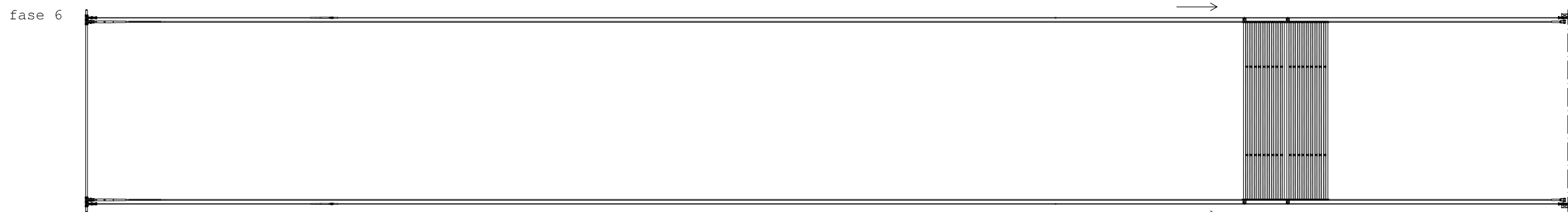
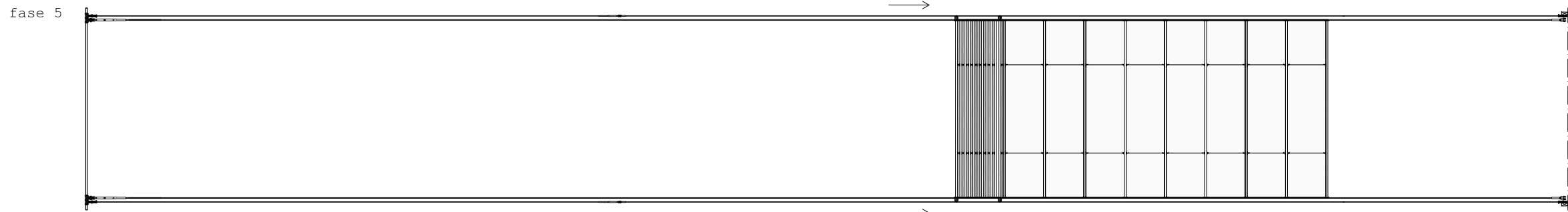
### APERTURA E CHIUSURA TENDE

CHIUSURA TENDE 9 SPAN

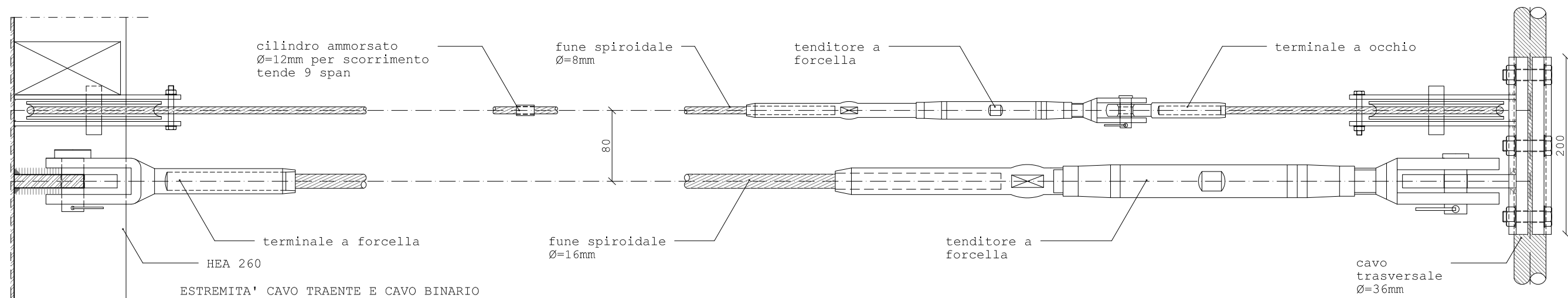
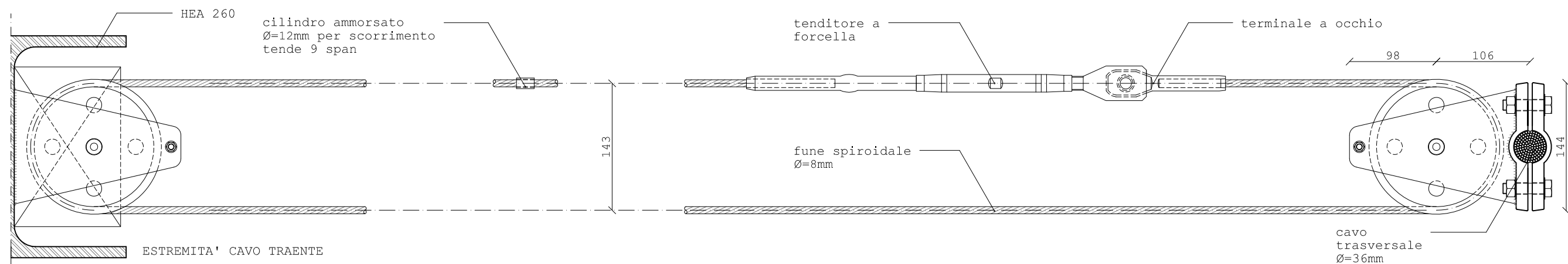
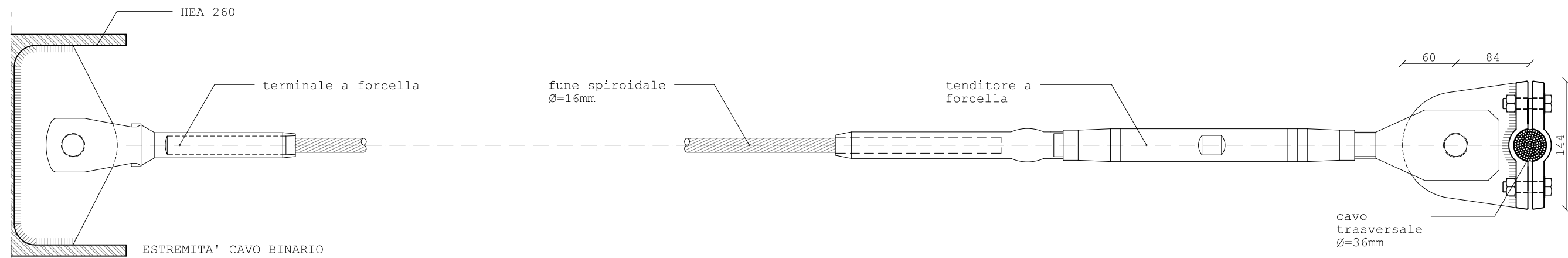
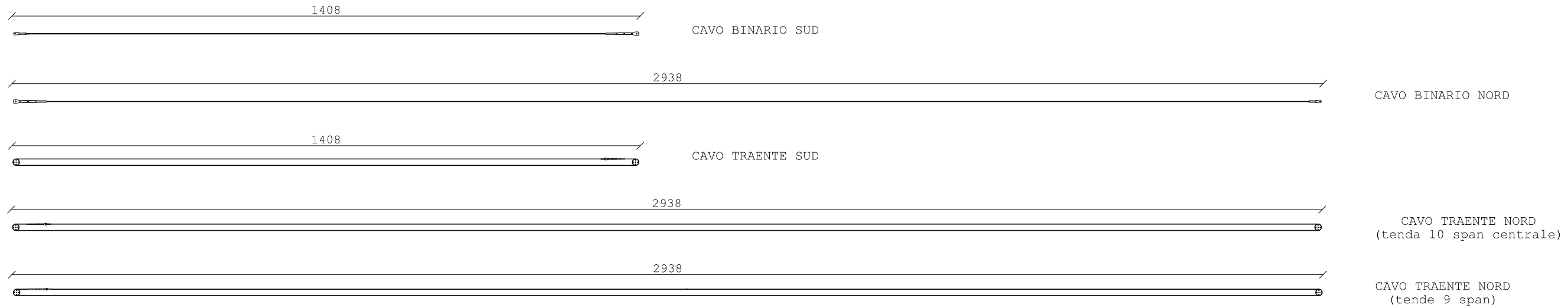
SCALA 1:100

TAVOLA

# 6.17



PROSPETTI CAVI BINARIO E CAVI TRAENTI



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

STRUTTURA CAVI

PROSPETTI CAVI BINARIO  
CAVI TRAENTI

SCALA 1:100

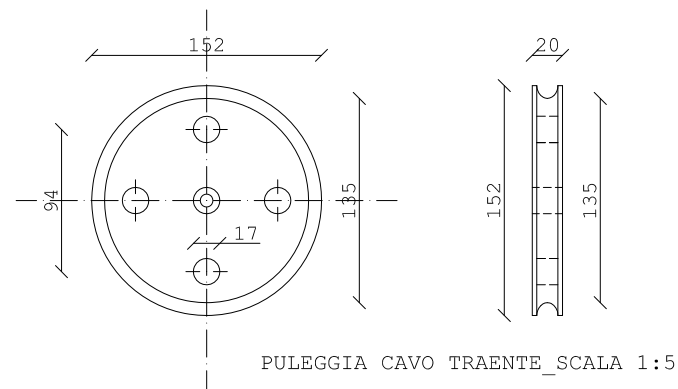
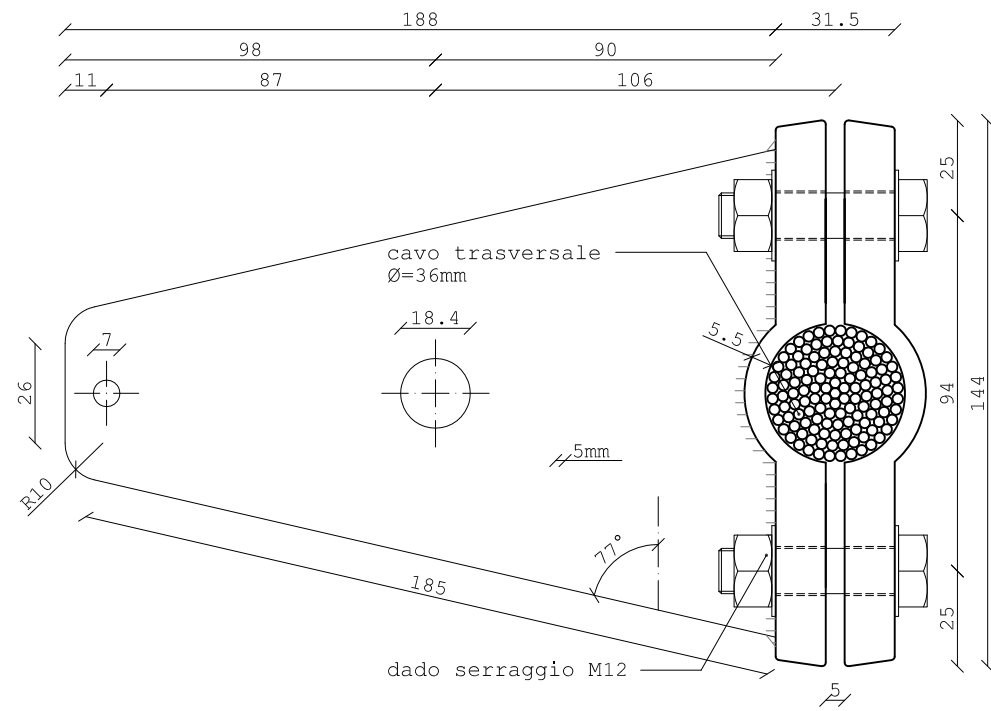
PARTICOLARI ESTREMITA'  
CAVO BINARIO  
E CAVO TRAENTE

SCALA 1:5

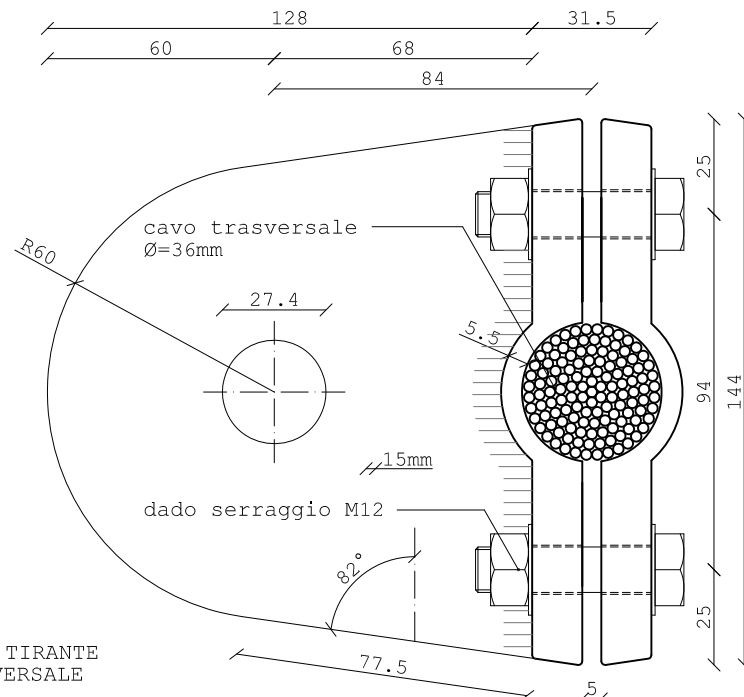
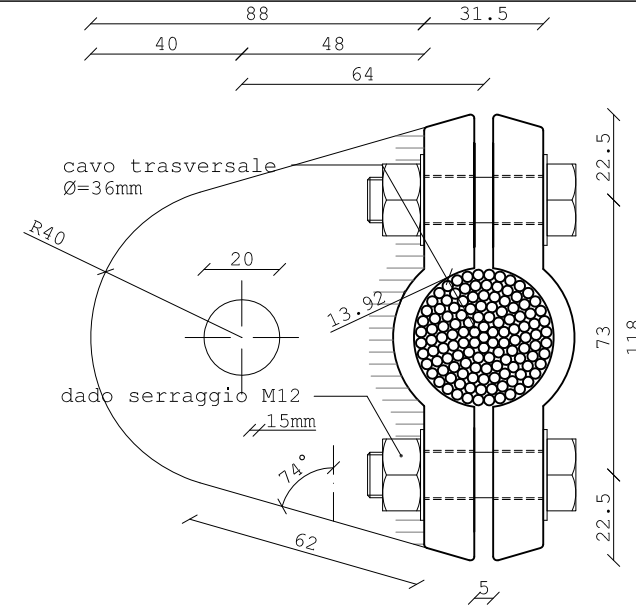
TAVOLA

6.18

APPRODO CAVO TRAENTE SU CAVO TRASVERSALE

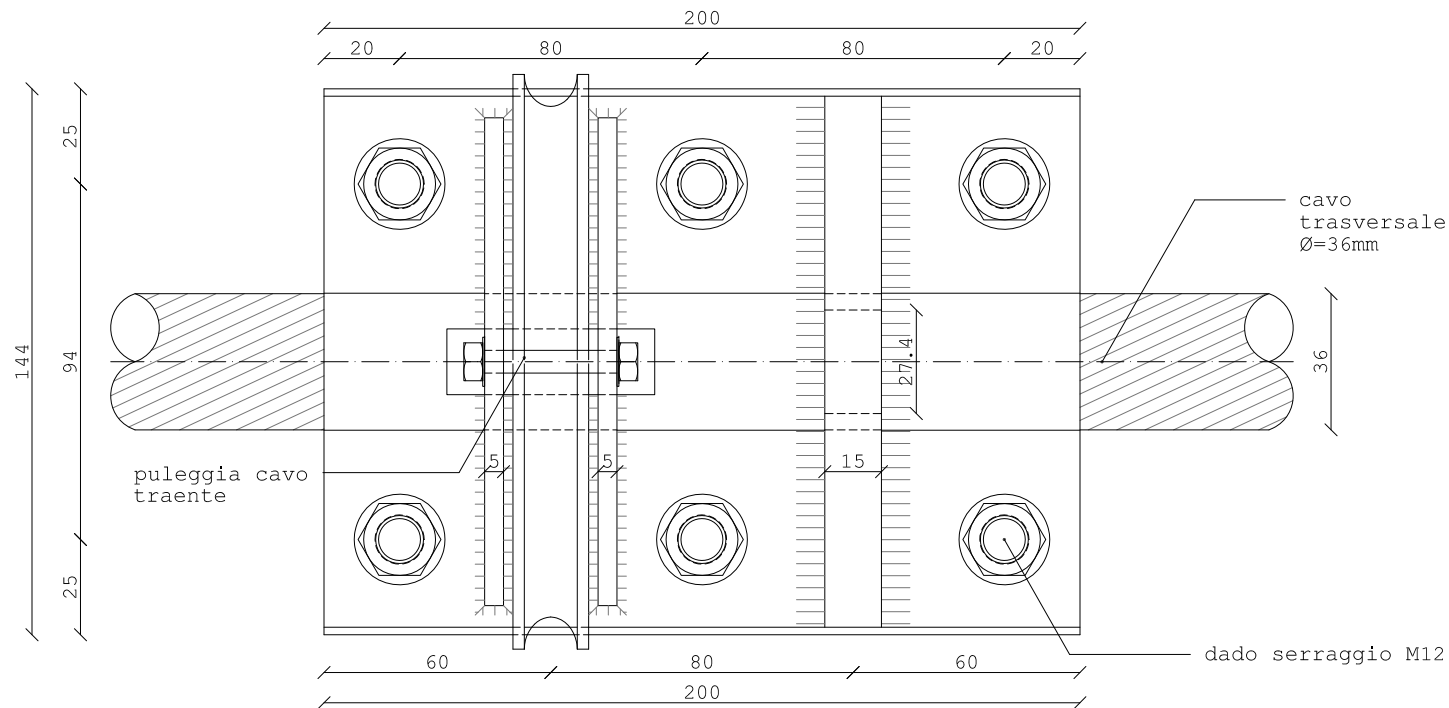


APPRODO CAVO TIRANTE SU CAVO TRASVERSALE

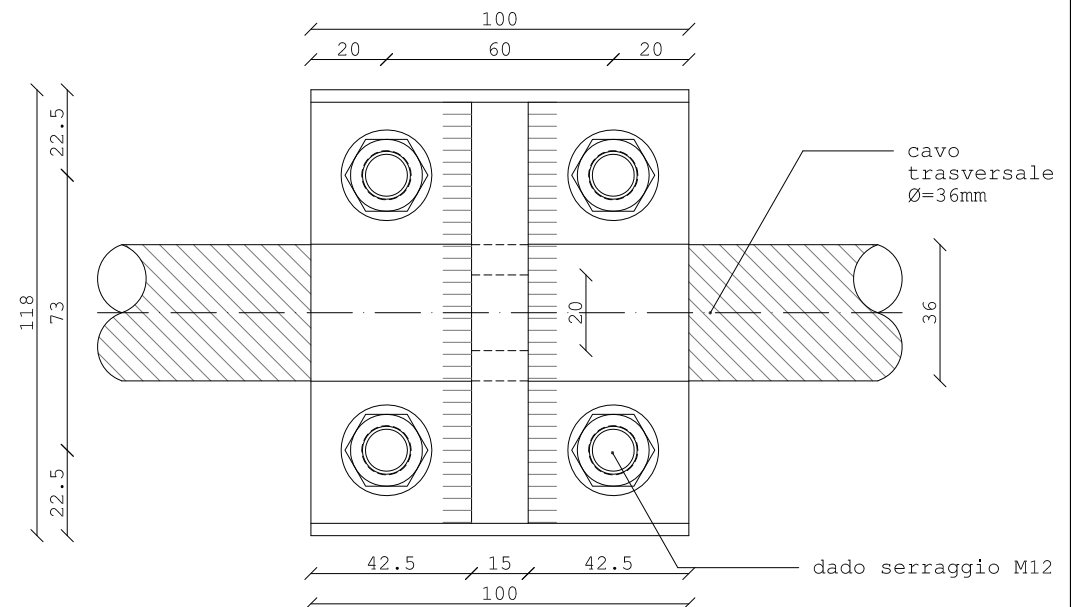


APPRODO CAVO TIRANTE SU CAVO TRASVERSALE

APPRODO CAVO TRAENTE-CAVO BINARIO SU CAVO TRASVERSALE



APPRODO CAVO TIRANTE SU CAVO TRASVERSALE



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

STRUTTURA CAVI

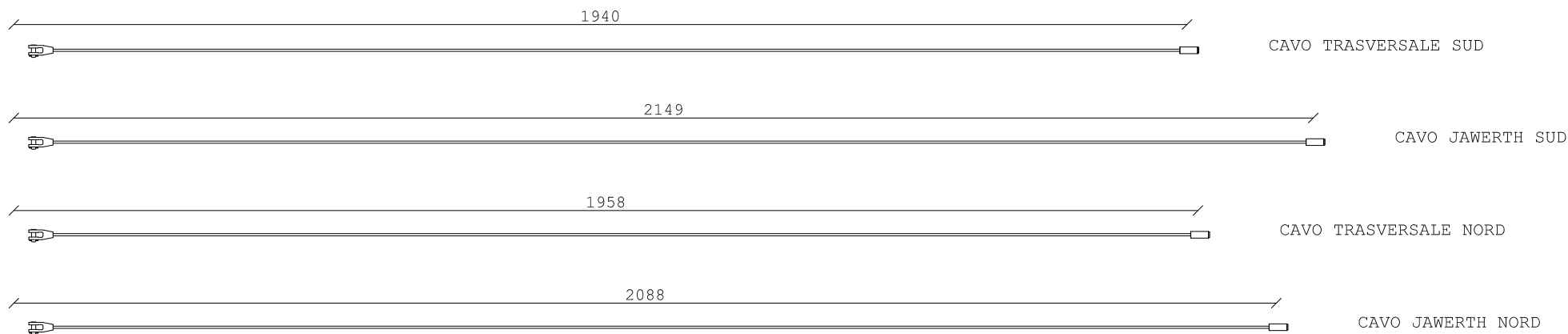
APPRODO CAVI BINARIO, TRAENTI E TIRANTI SU CAVO TRASVERSALE

SCALA 1:2

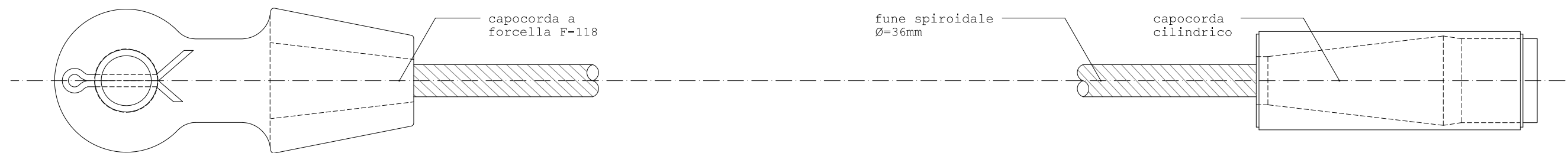
TAVOLA

6.19

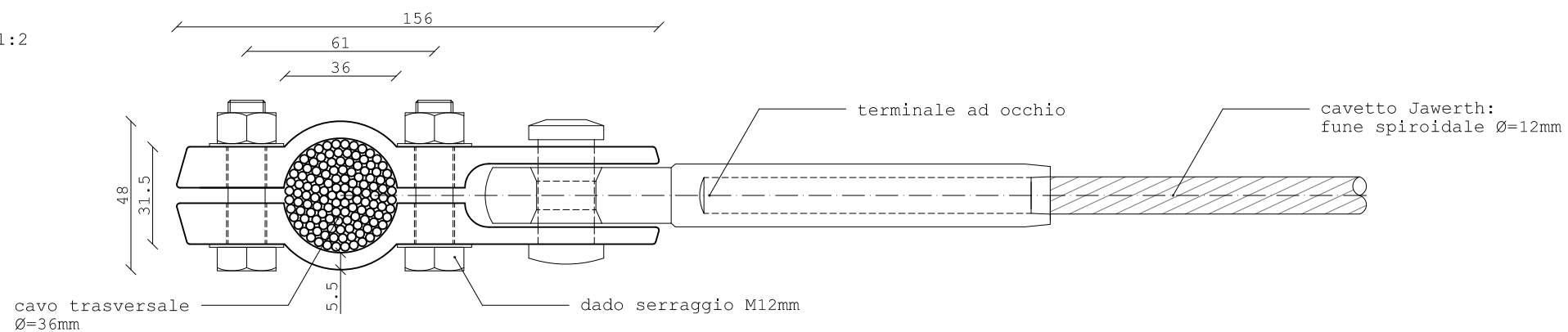
PROSPETTI CAVI TRASVERSALI E CAVI JAWERTH\_SCALA 1:100



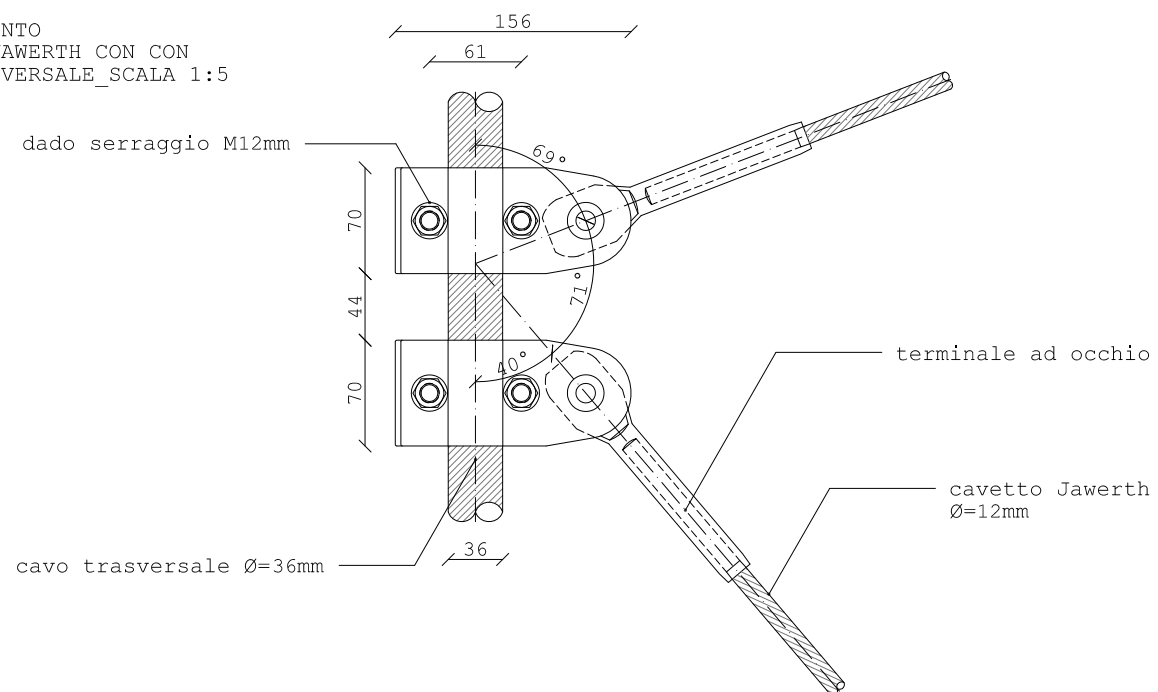
DETTAGLIO ESTREMITA' CAVO TRASVERSALE - CAVO JAWERTH\_SCALA 1:5



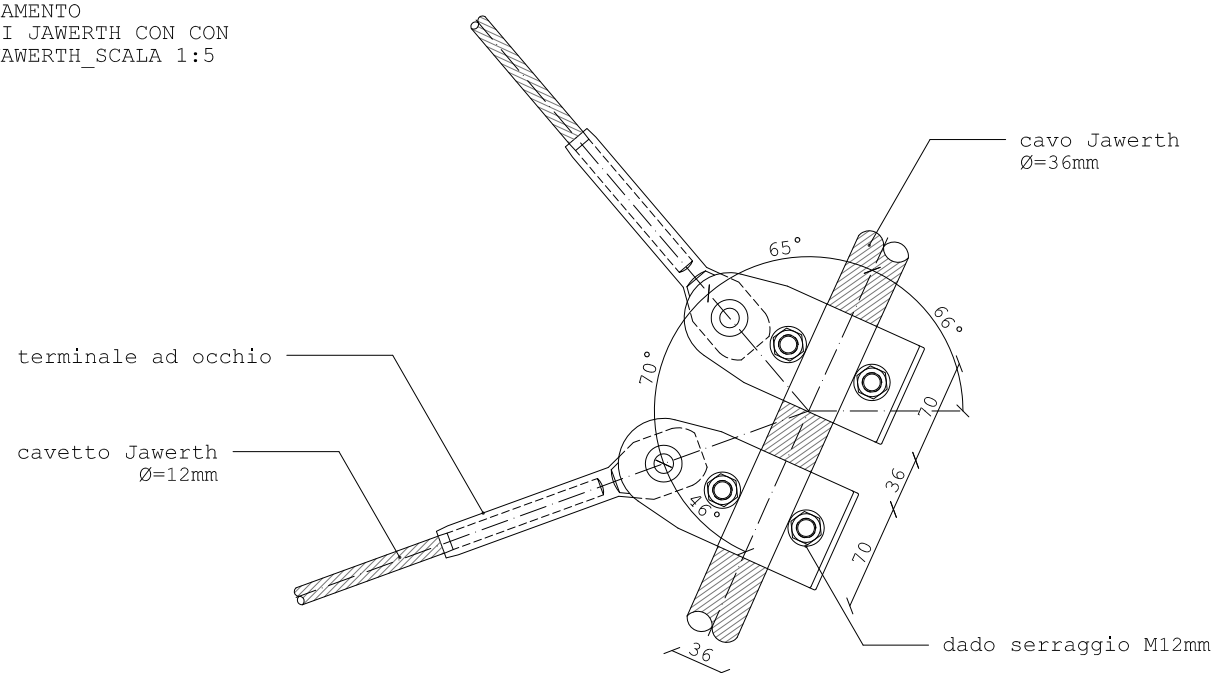
SEZIONE GIUNTO DI COLLEGAMENTO CAVETTO JAWERTH CON CAVO TRASVERSALE/JAWERTH\_SCALA 1:2



COLLEGAMENTO CAVETTI JAWERTH CON CAVO TRASVERSALE\_SCALA 1:5



COLLEGAMENTO CAVETTI JAWERTH CON CAVO JAWERTH\_SCALA 1:5



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

STRUTTURA CAVI

PROSPETTI CAVI TRASVERSALI E CAVI JAWERTH

SCALA 1:100

PARTICOLARE ESTREMITA' CAVO TRASVERSALE E CAVO JAWERTH

SCALA 1:5

PARTICOLARI COLLEGAMENTO CAVETTI JAWERTH SU CAVO JAWERTH/TRASVERSALE

SCALA 1:2/1:5

TAVOLA

6.20





POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

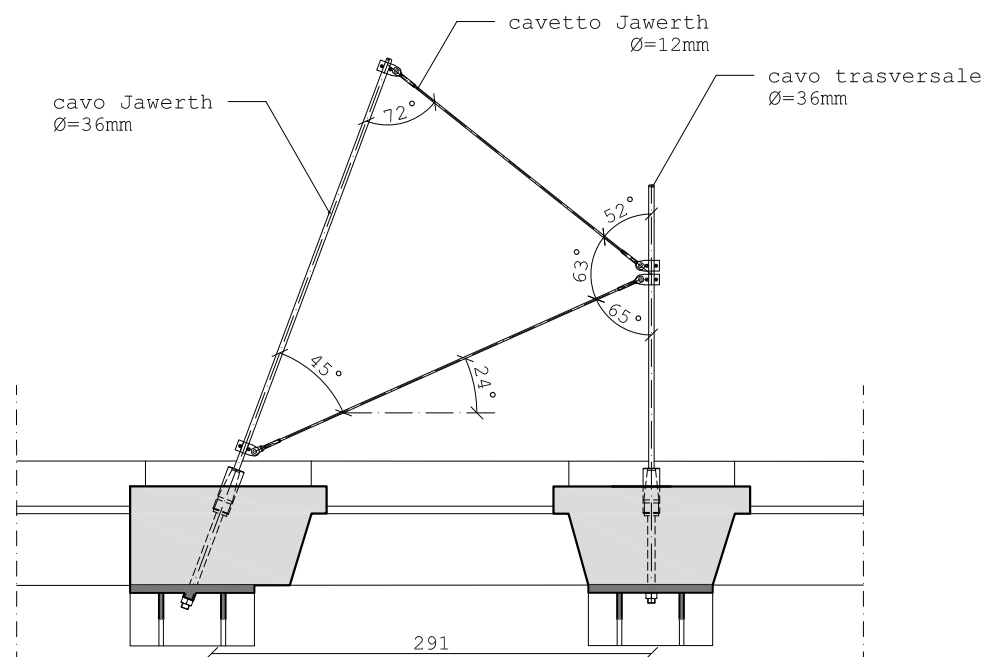
Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### STRUTTURA CAVI

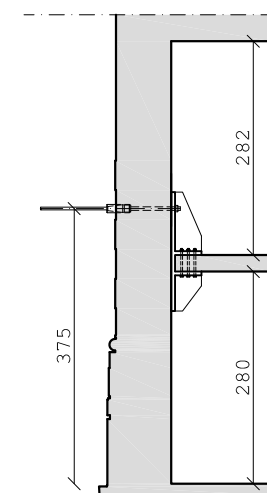
IPOTESI APPRODO STRUTTURA NORD SU MURATURA EDIFICIO OVEST

TAVOLA

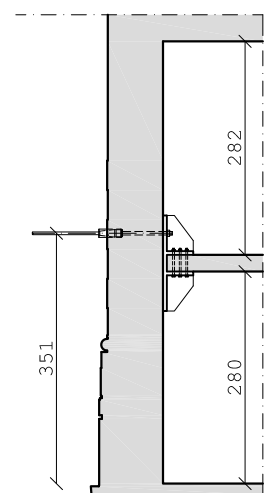
# 6.21



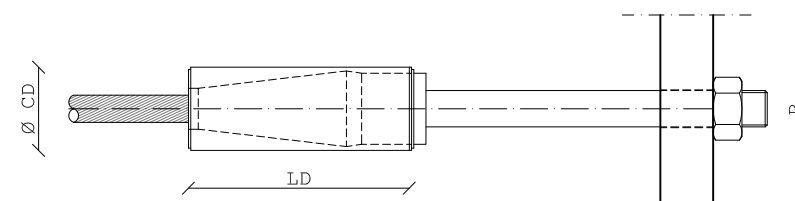
PIANTA APPRODO STRUTTURA NORD SU PILASTRI EDIFICIO OVEST\_Scala 1:50



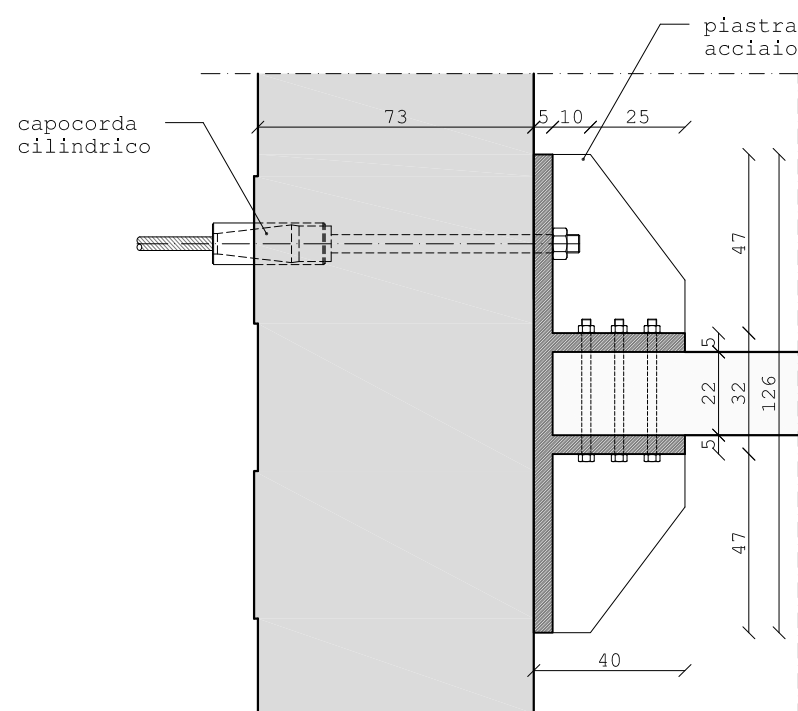
SEZIONE PILASTRO EDIFICIO OVEST SU APPRODO CAVO TRASVERSALE Scala 1:100



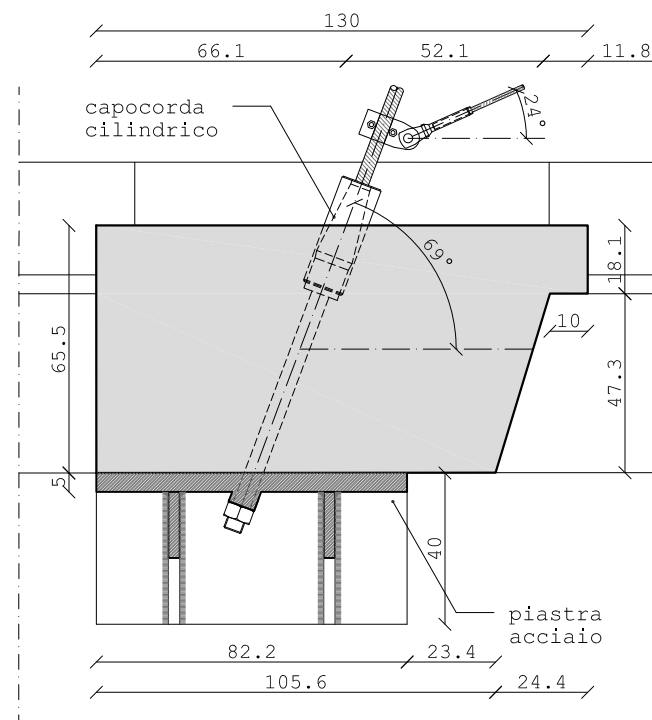
SEZIONE PILASTRO EDIFICIO OVEST SU APPRODO CAVO JAWERTH Scala 1:100



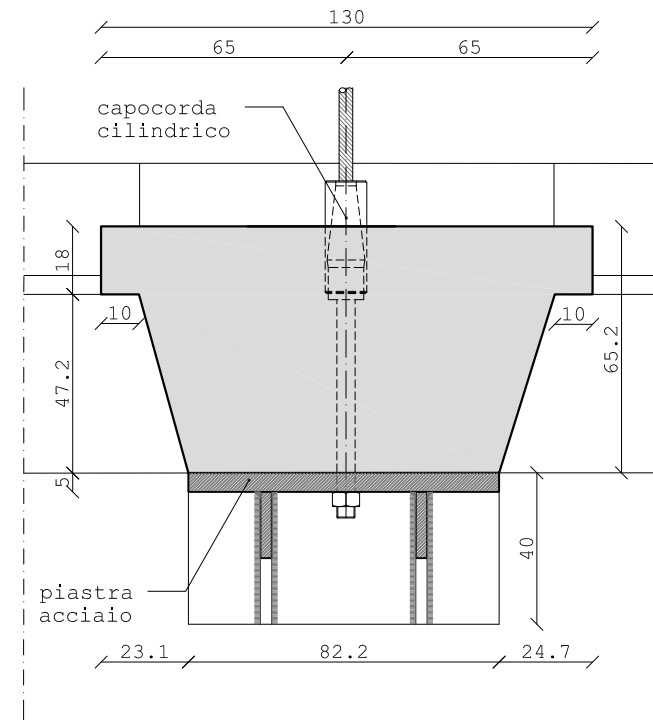
TENSOTECI				
capocorda cilindrico con asta filettata	Diam. Cavo (mm)	Ø CD (mm)	LD (mm)	R (mm)
	36	110	295	48



DETTAGLIO SEZIONE PILASTRO EDIFICIO OVEST SU APPRODO CAVO JAWERTH



PIANTA APPRODO CAVO E CAVETTO JAWERTH SU PILASTRO EDIFICIO OVEST\_Scala 1:20



PIANTA APPRODO CAVO TRASVERSALE SU PILASTRO EDIFICIO OVEST\_Scala 1:20



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

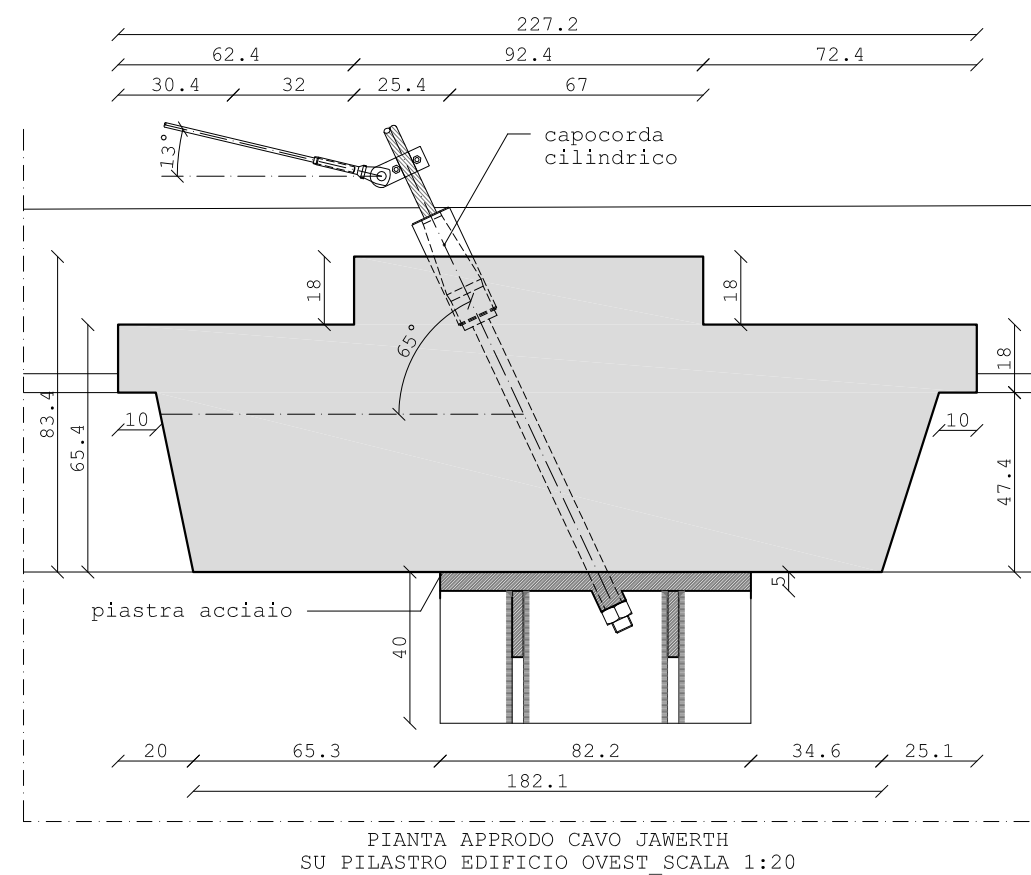
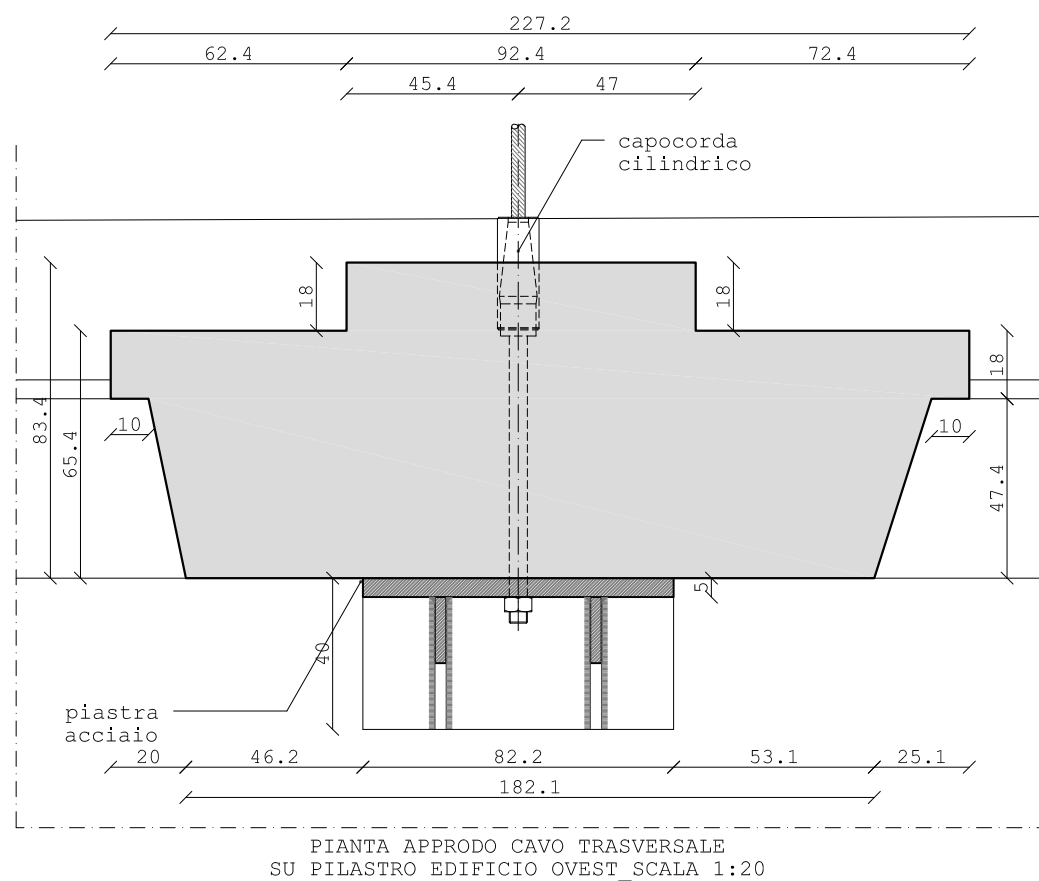
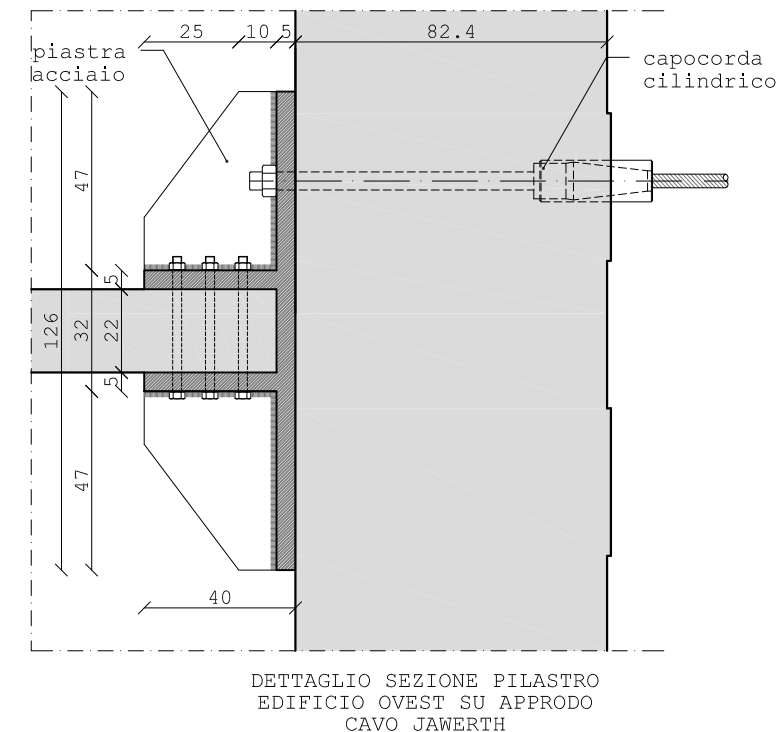
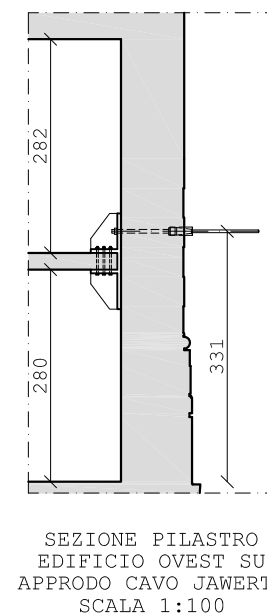
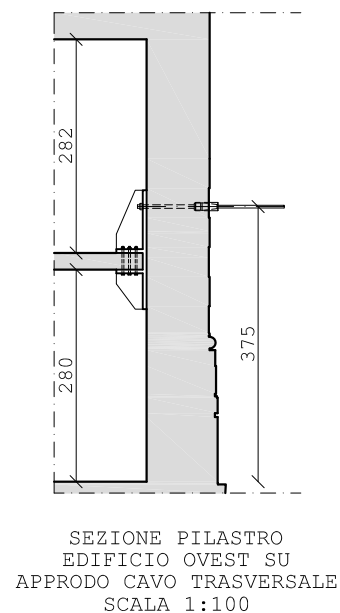
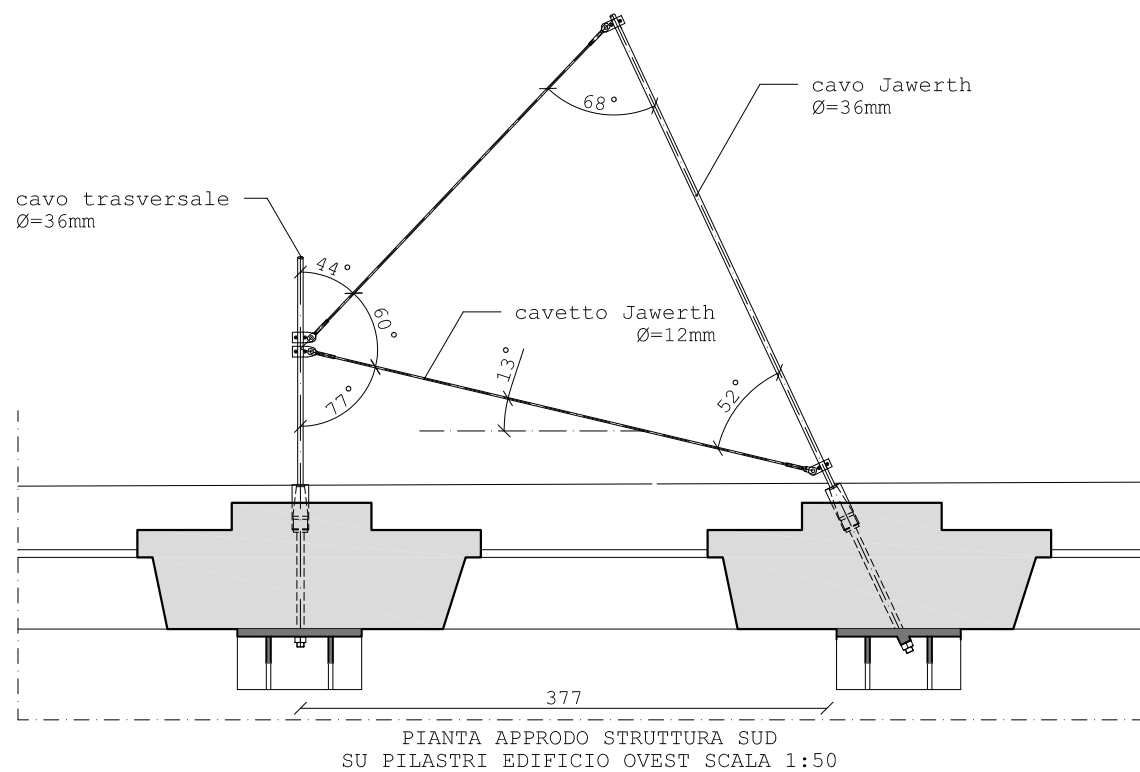
Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

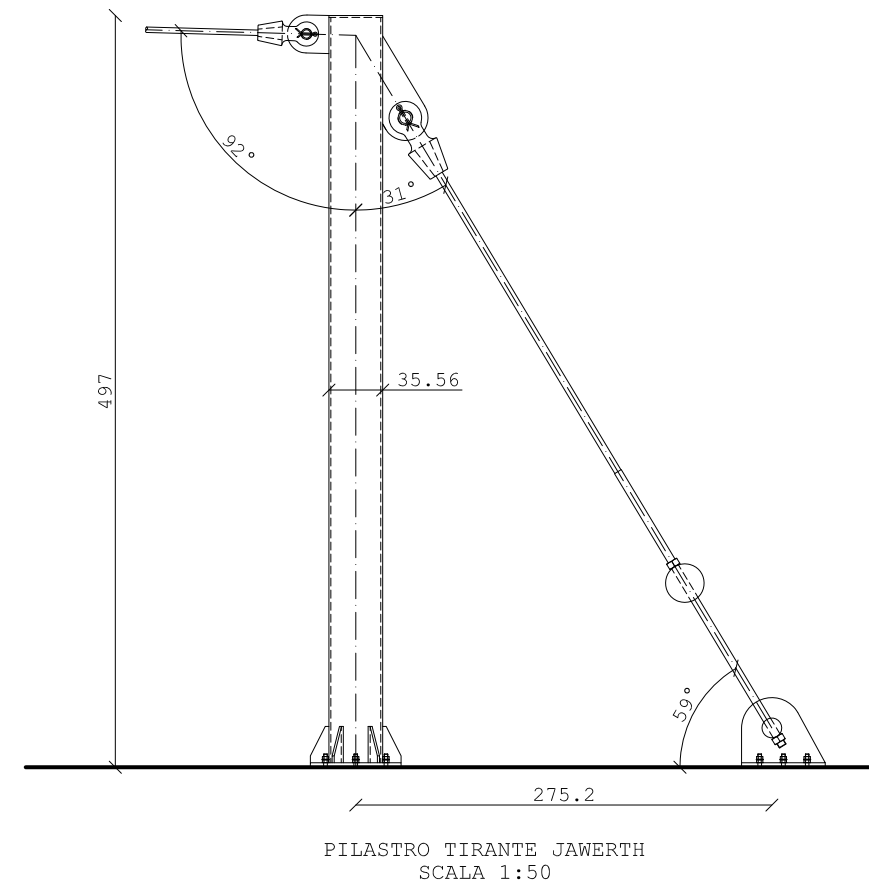
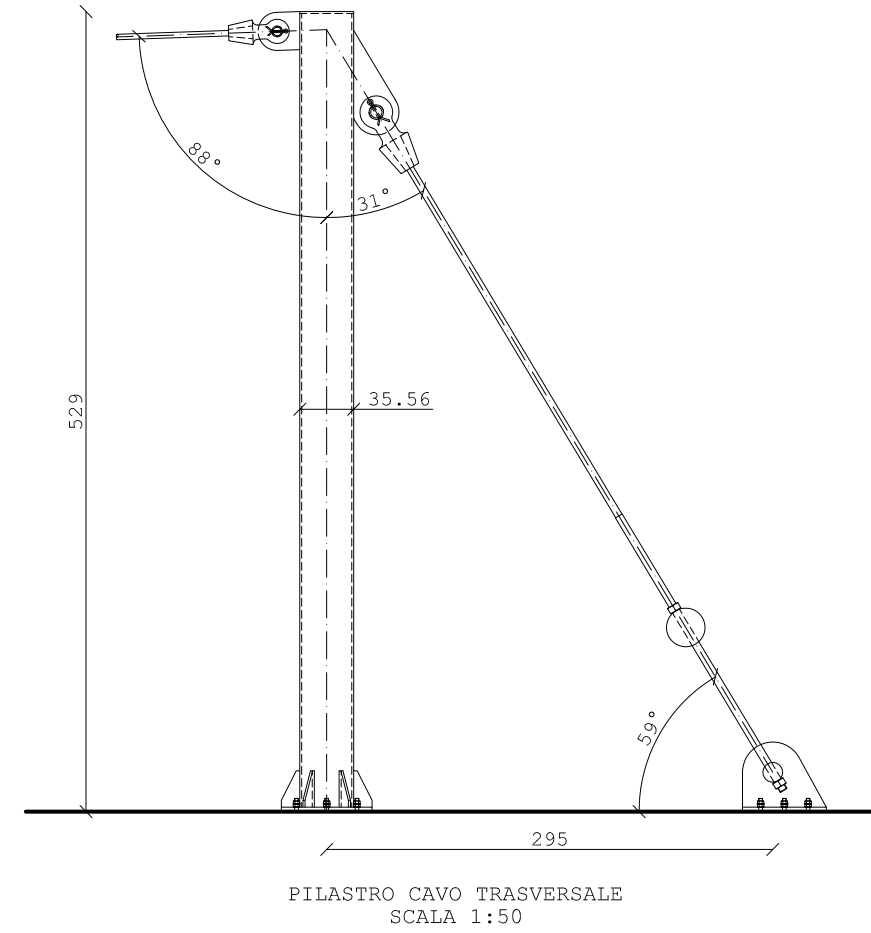
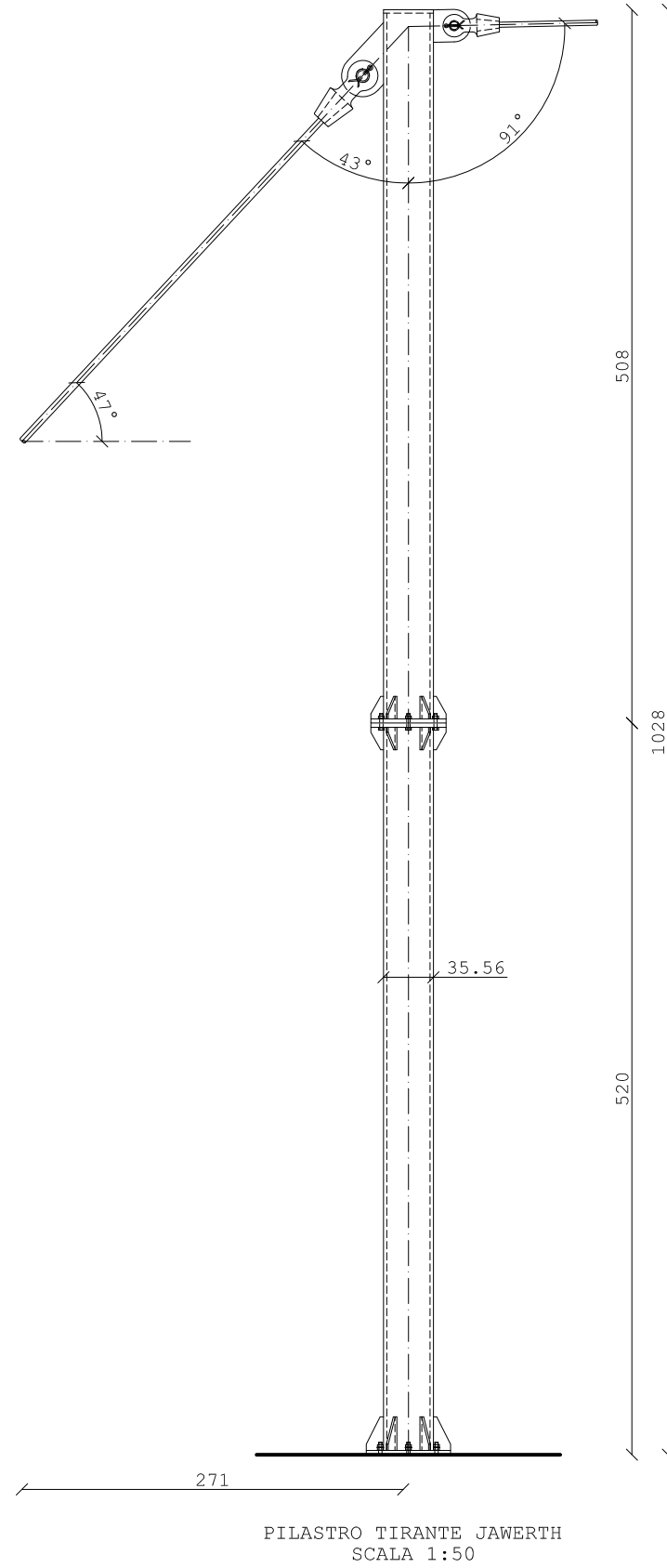
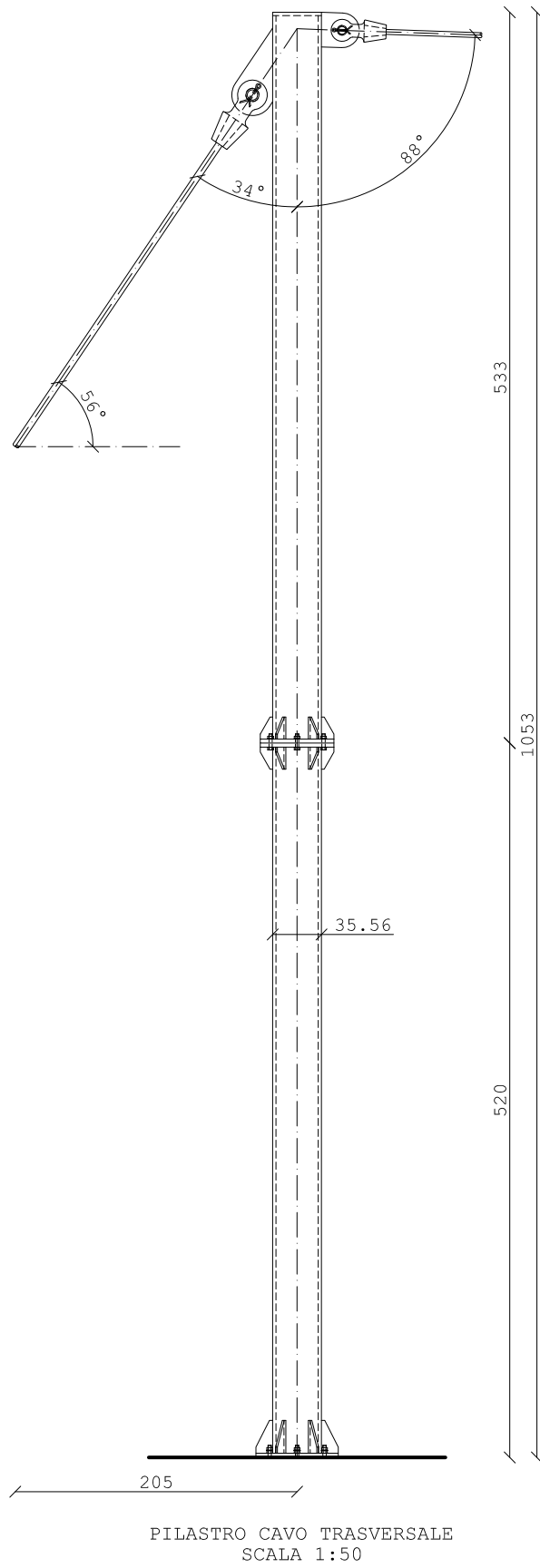
### STRUTTURA CAVI

IPOTESI APPRODO  
STRUTTURA SUD  
SU MURATURA  
EDIFICIO OVEST

### TAVOLA

# 6.22





POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### PILASTRI

PROSPETTI  
DEGLI ELEMENTI

SCALA 1:50

TAVOLA

# 6.23



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### PILASTRI NORD

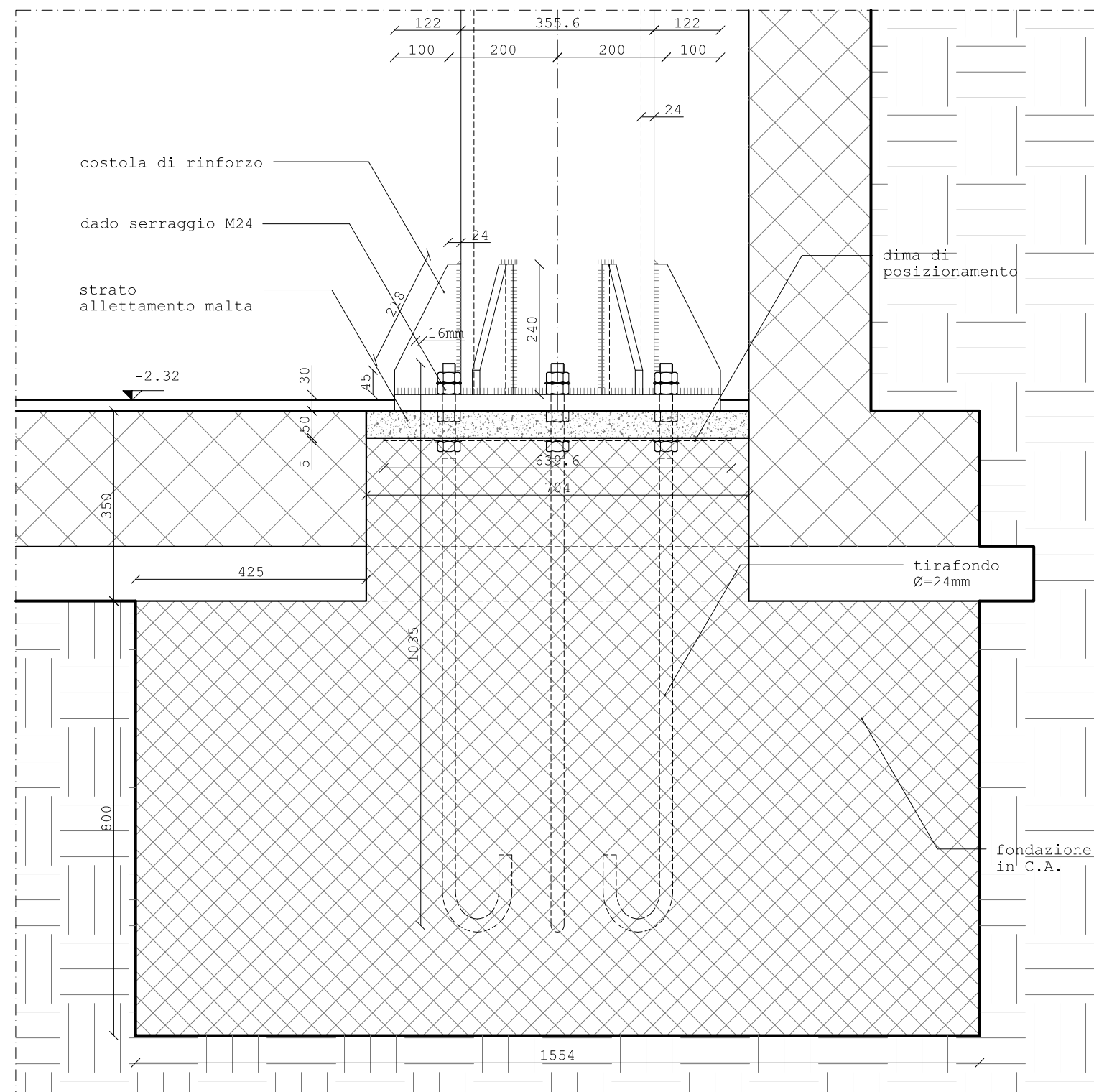
ATTACCO A TERRA

SCALA 1:10

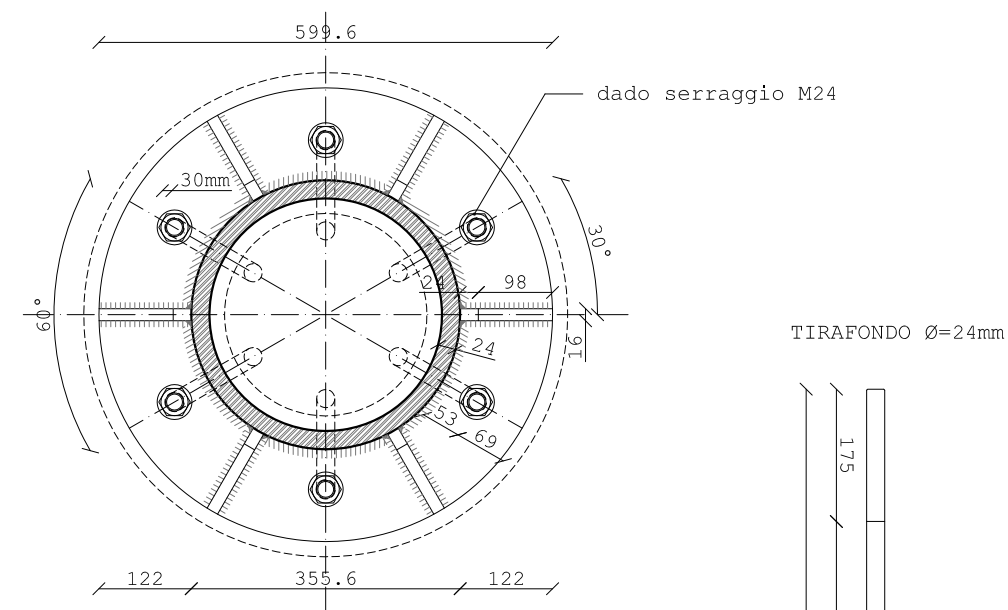
TAVOLA

# 6.24

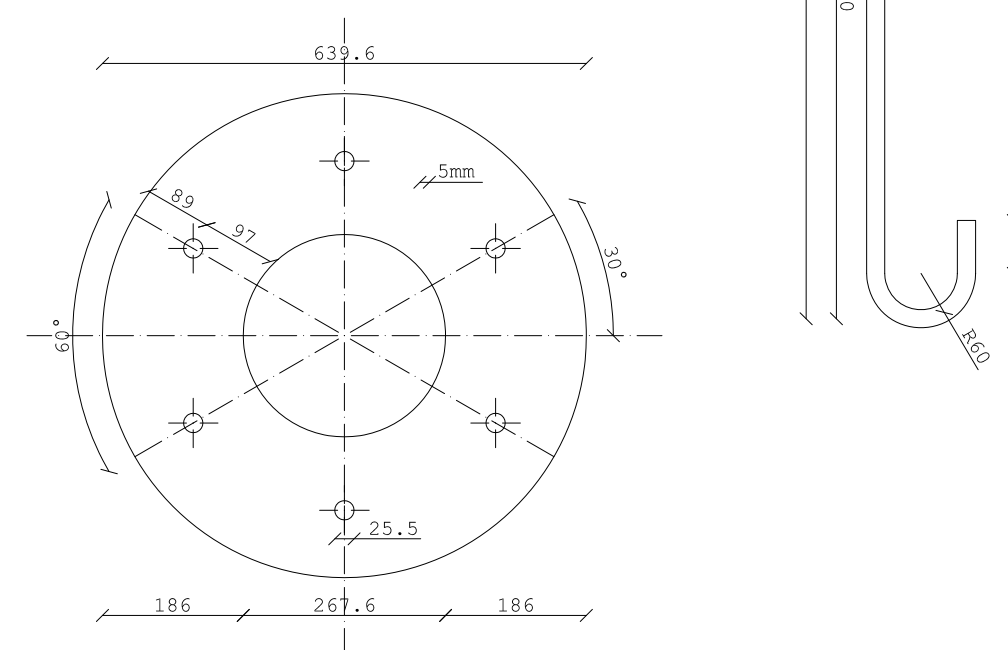
### ATTACCO A TERRA LIVELLO CORRIDOIO IMPIANTI



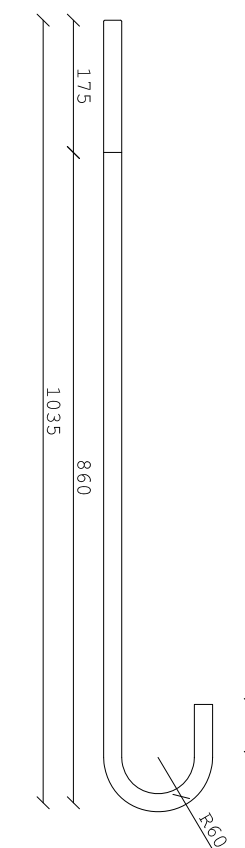
### PIANTA BASE PILASTRO

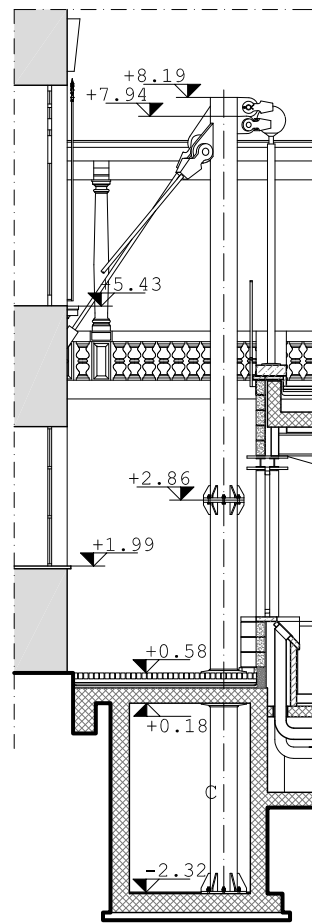


### DIMA DI POSIZIONAMENTO

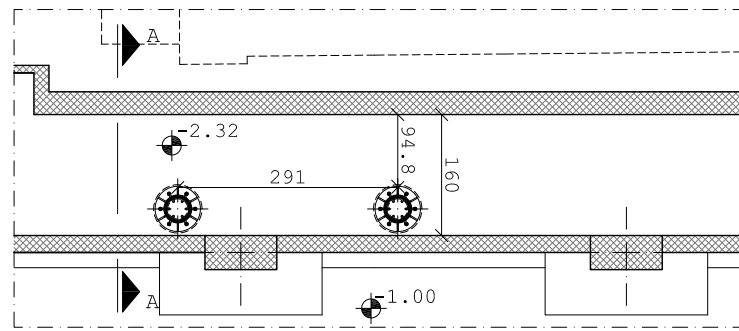


TIRAFONDO Ø=24mm

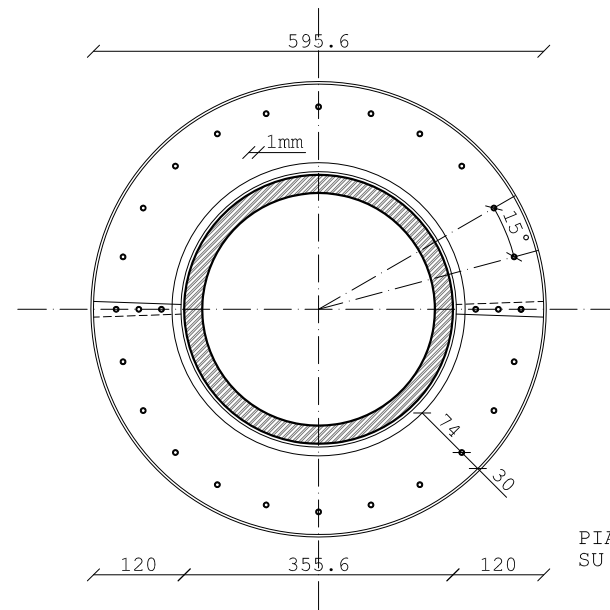




SEZIONE A-A  
SCALA 1:100

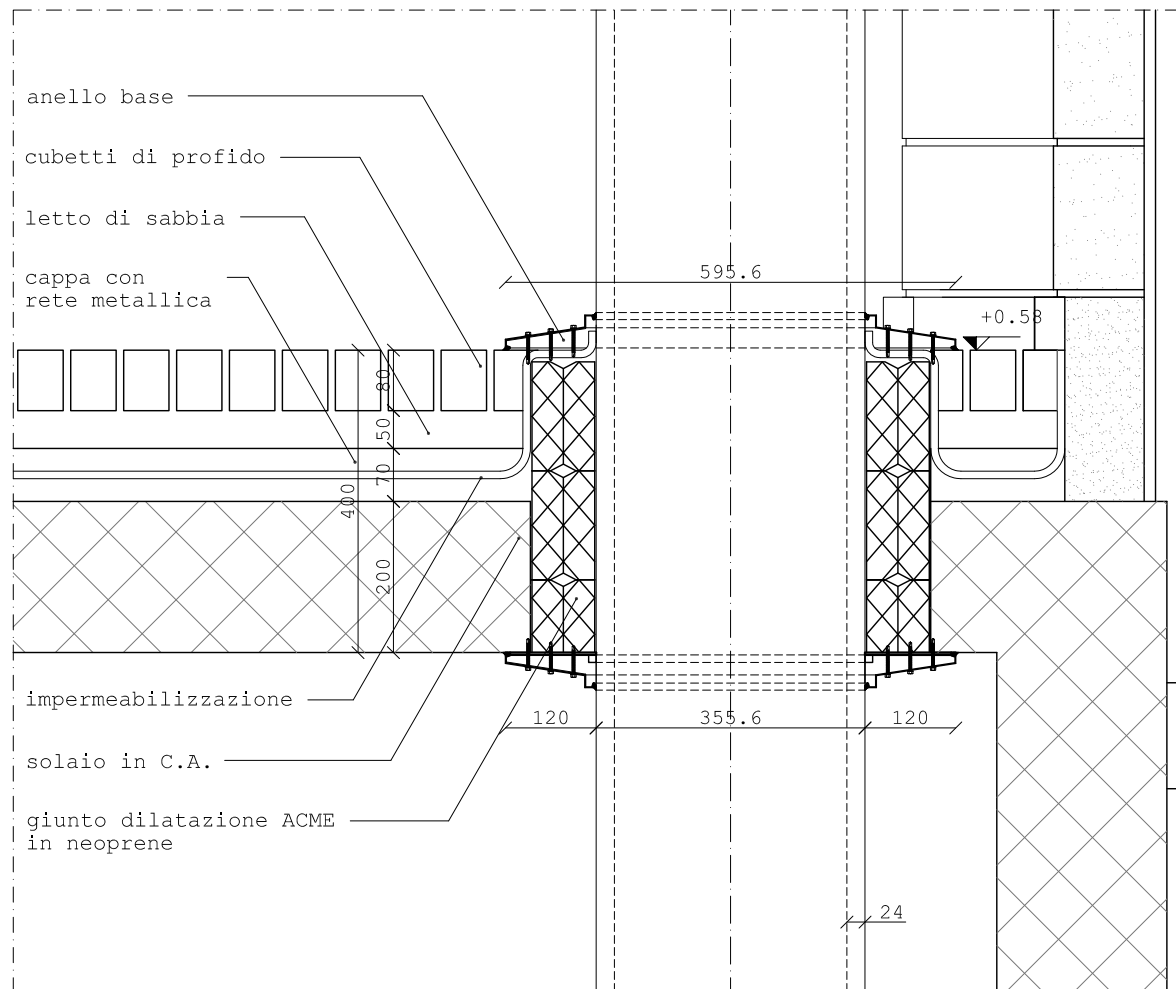


PIANTA LIVELLO CORRIDOIO IMPIANTI\_SCALA 1:100

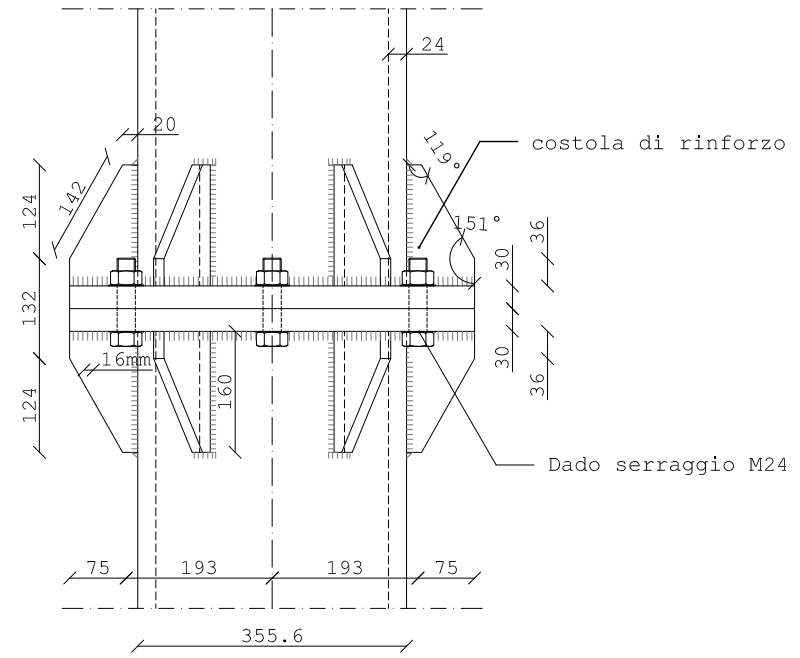


PIANTA BASE PILASTRO  
SU LIVELLO SALA LETTURA

DETTAGLIO BASE PILASTRO SU LIVELLO SALA LETTURA

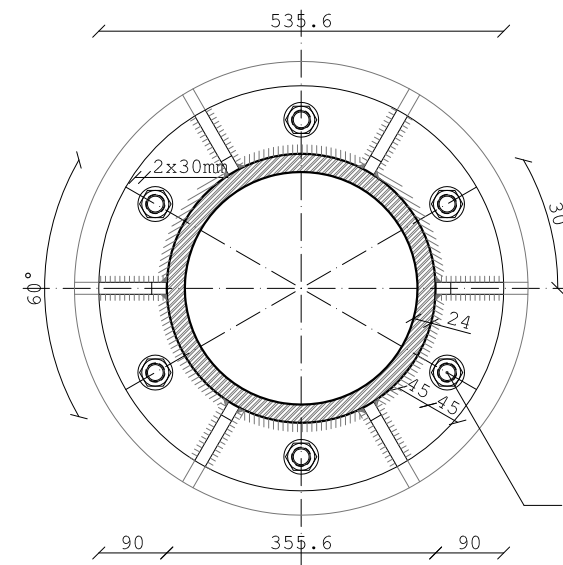


DETTAGLI COLLEGAMENTO  
SEZIONI PILASTRO



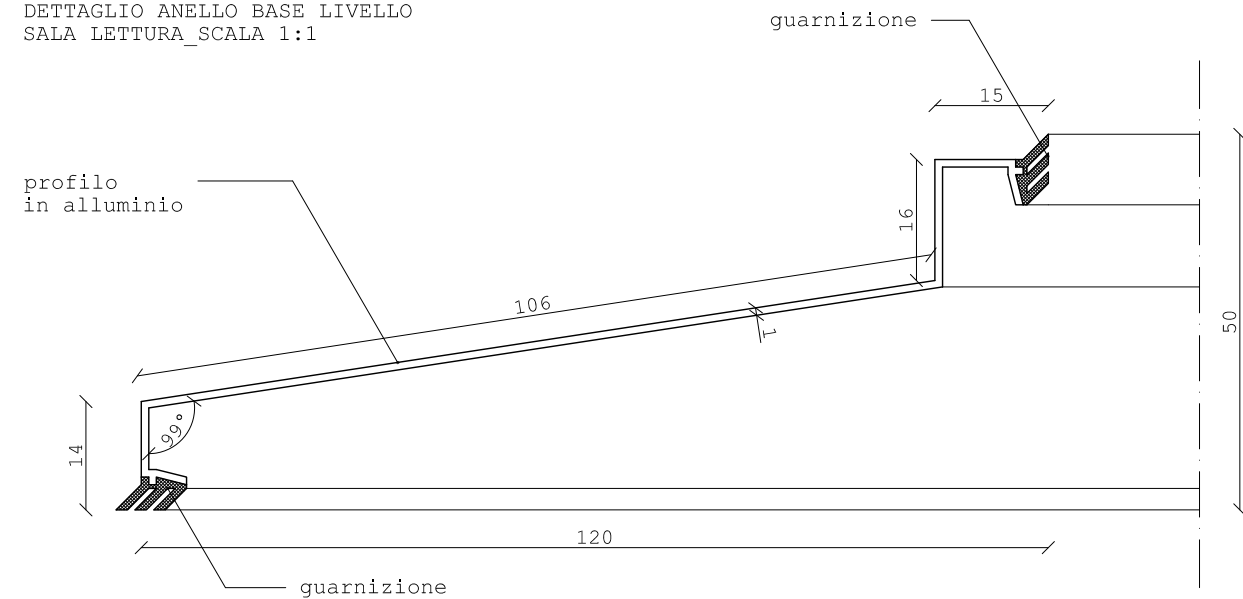
costola di rinforzo

Dado serraggio M24



Dado serraggio M24

DETTAGLIO ANELLO BASE LIVELLO  
SALA LETTURA\_SCALA 1:1



guarnizione

profilo  
in alluminio

guarnizione



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

Un Velarium al  
Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

PILASTRI NORD

BASE PILASTRI  
LIVELLO SALA LETTURA

SCALA 1:10 / 1:1

COLLEGAMENTO  
SEZIONI PILASTRI

SCALA 1:10

TAVOLA

6.25



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### PILASTRI NORD

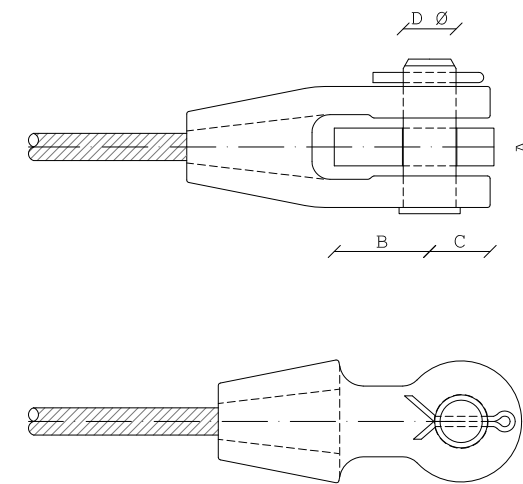
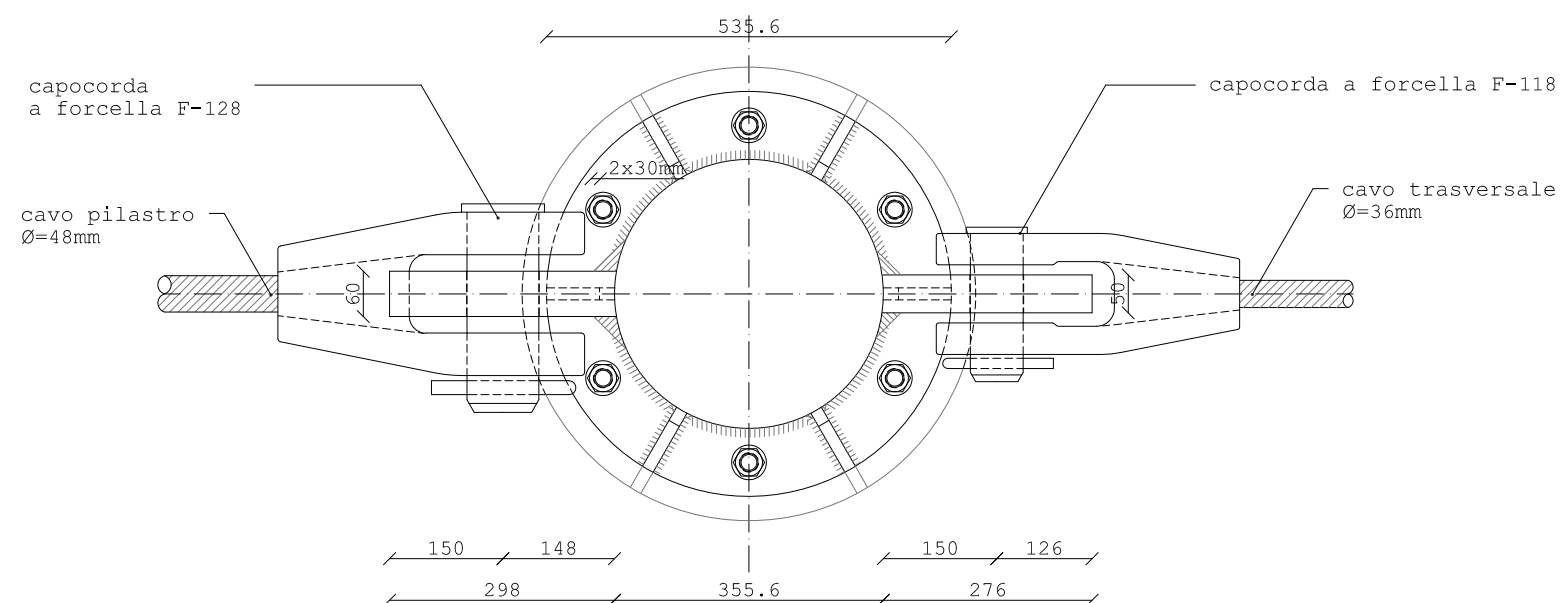
CIMA PILASTRO  
CAVO TRASVERSALE

SCALA 1:10

TAVOLA

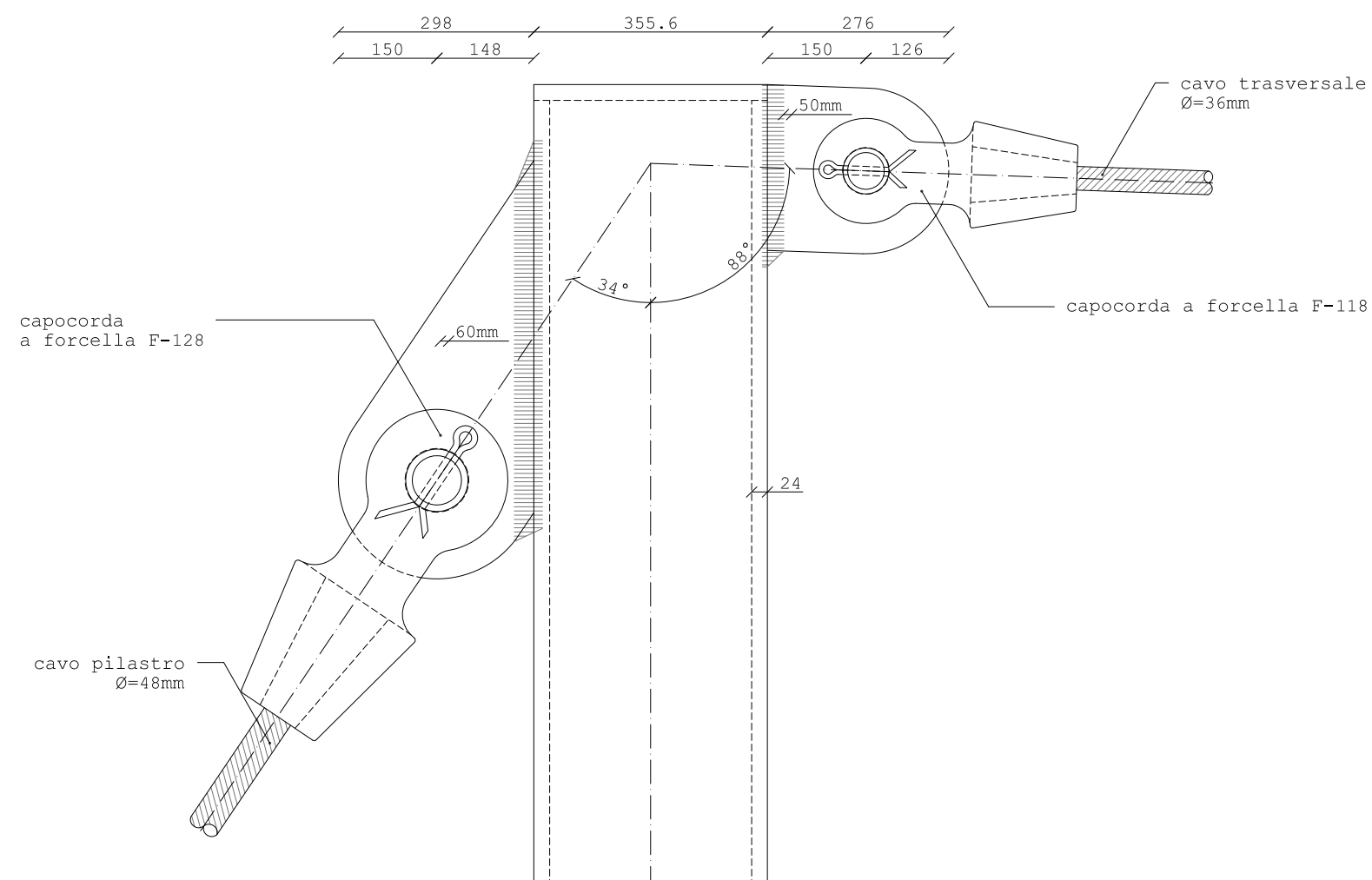
# 6.26

PIANTA CIMA PILASTRO CAVO TRASVERSALE

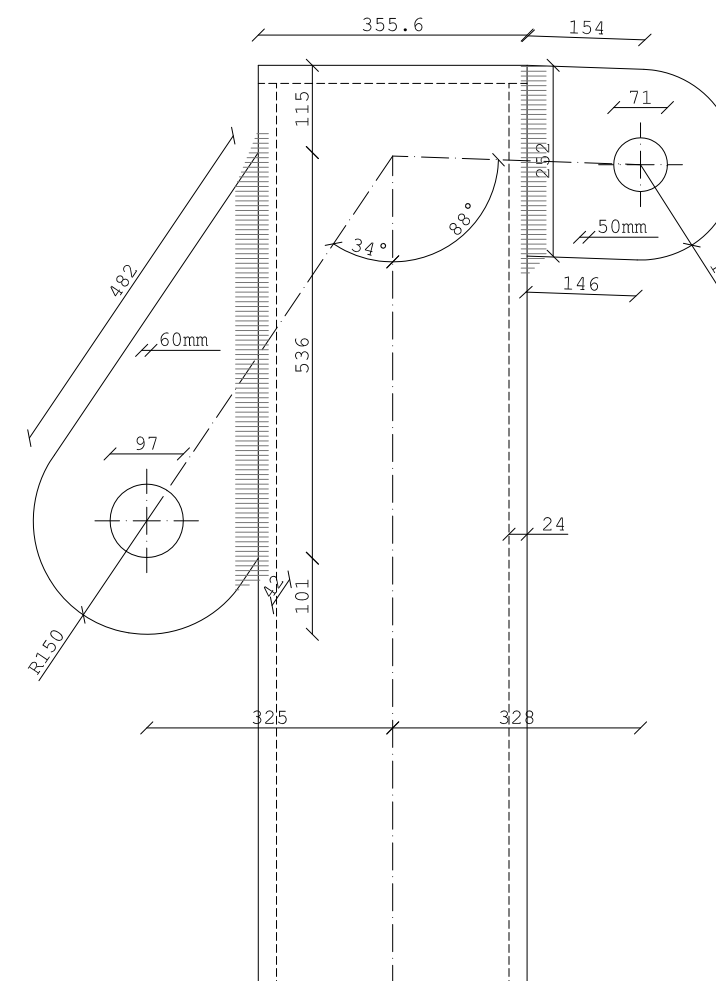


TENSOTECI	Diam. Cavo (mm)	A max (mm)	B max (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	Forza Bottura min. (kN)
capocorda a forcella F-118	36	65	137	80	70	160	1470
capocorda a forcella F-128	48	96	190	108	95	216	2740

DETTAGLIO CIMA PILASTRO CAVO TRASVERSALE



DETTAGLIO PIASTRE CIMA PILASTRO  
CAVO TRASVERSALE





POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

PILASTRI NORD

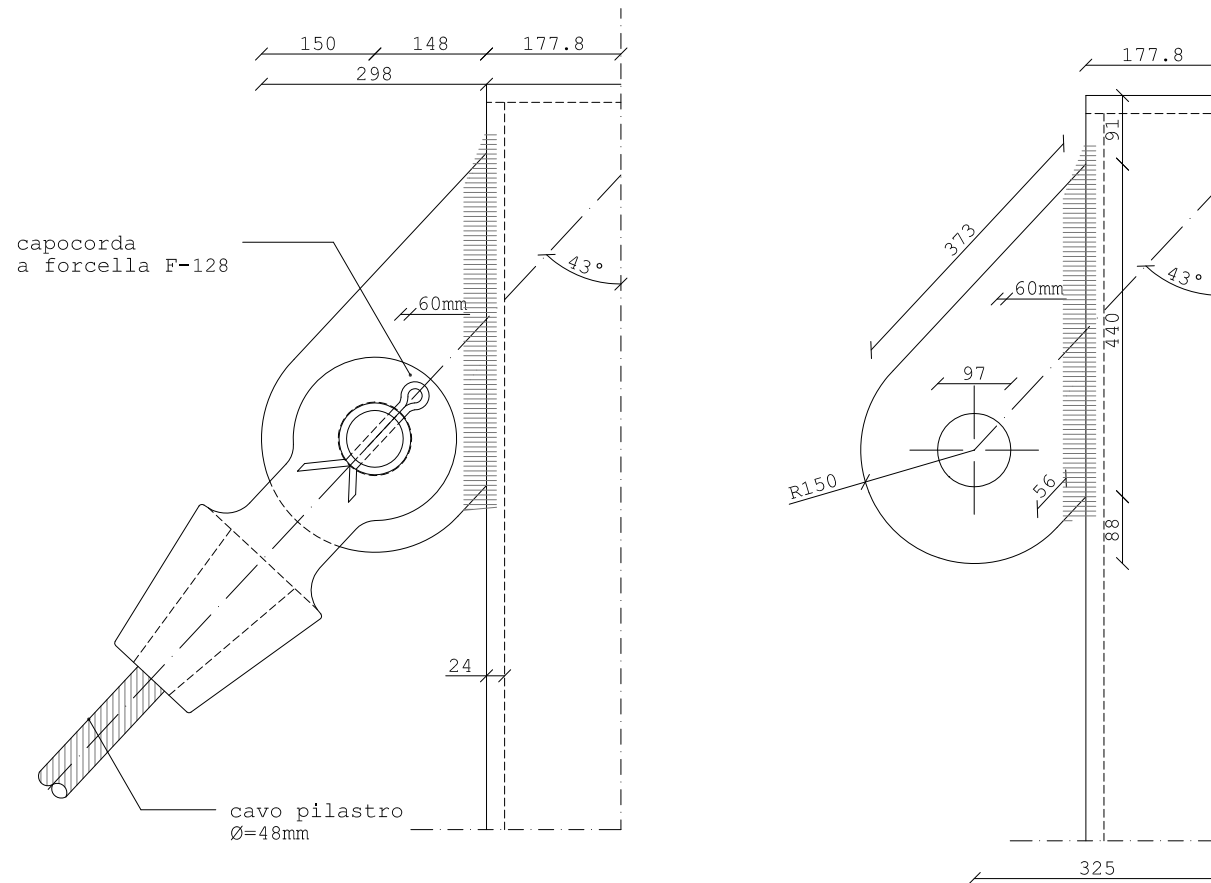
CIMA PILASTRO TIRANTE JAWERTH

SCALA 1:10

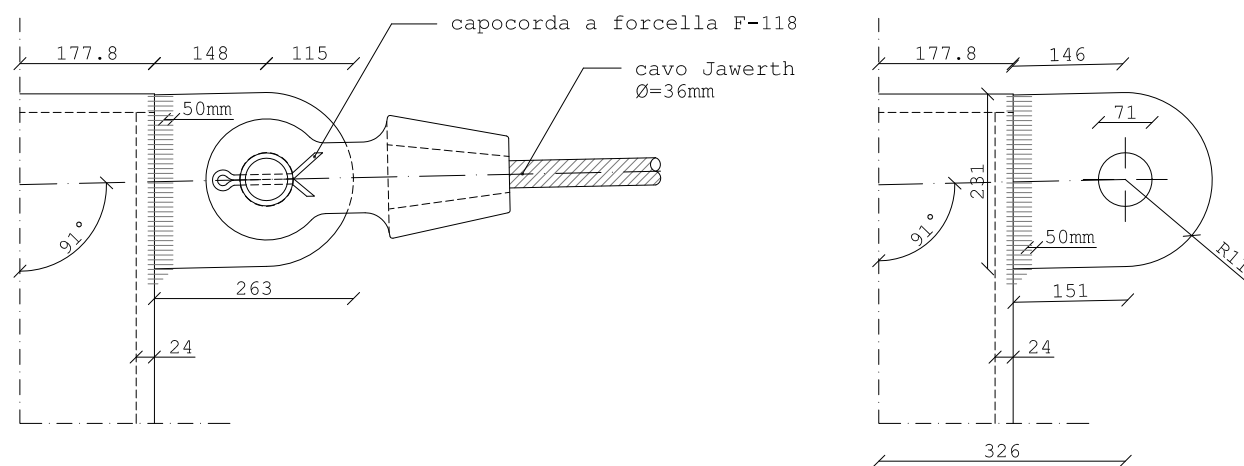
TAVOLA

6.27

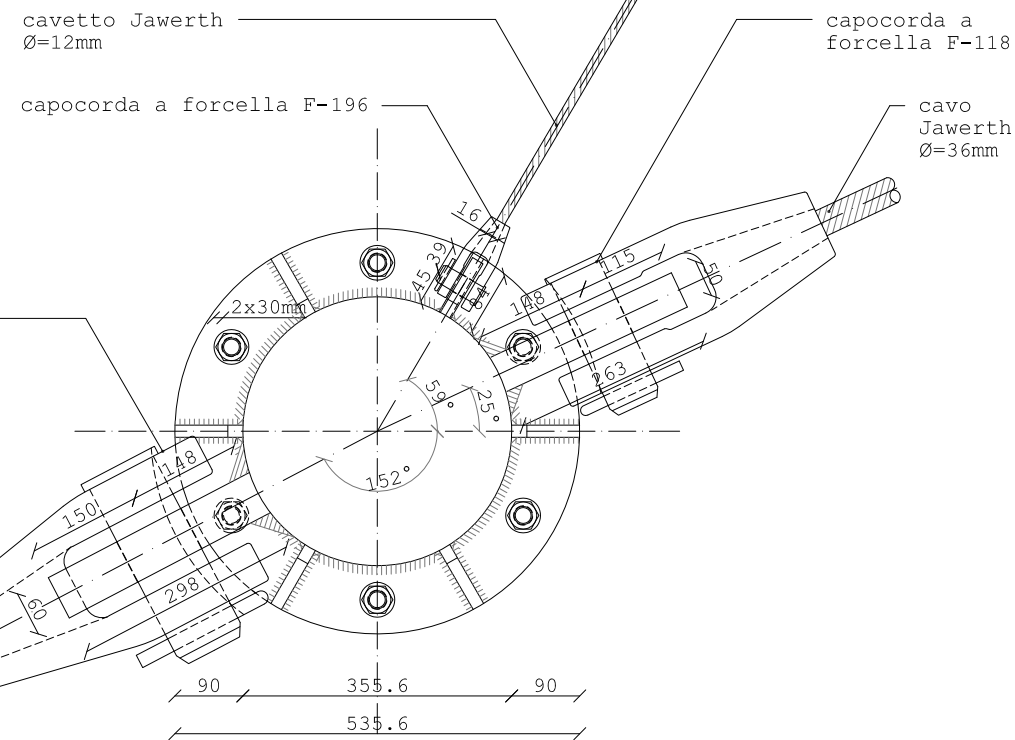
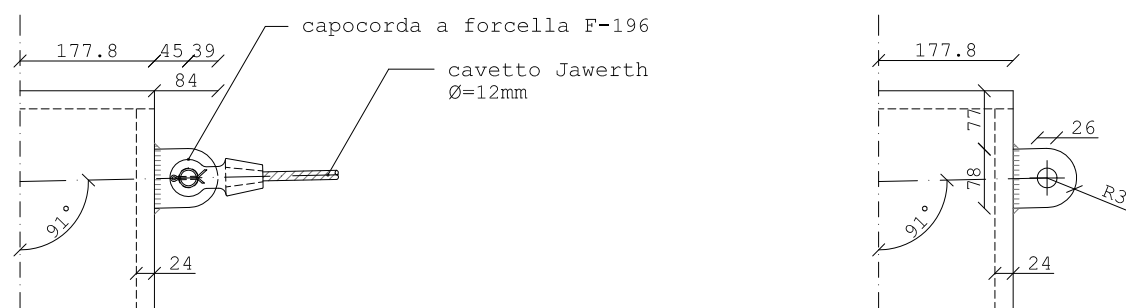
DETTAGLI APPRODO CAVO PILASTRO



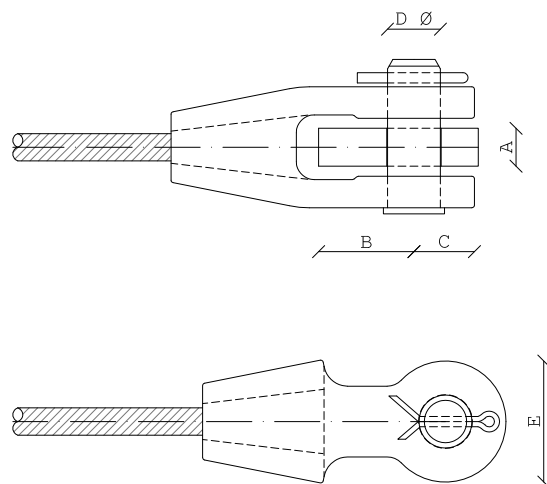
DETTAGLI APPRODO CAVO JAWERTH



DETTAGLI APPRODO CAVETTO JAWERTH

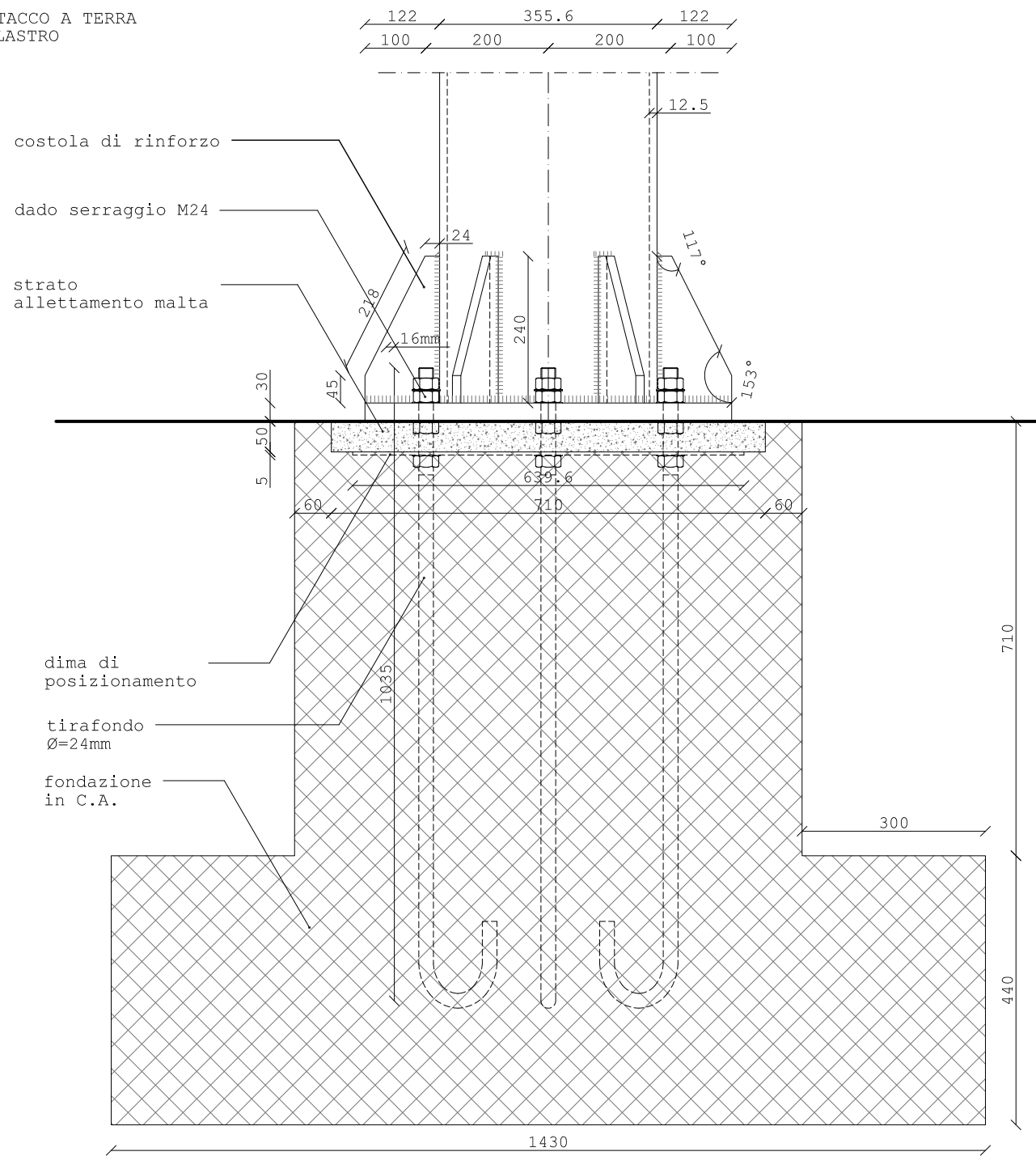


PIANTA CIMA PILASTRO TIRANTE JAWERTH

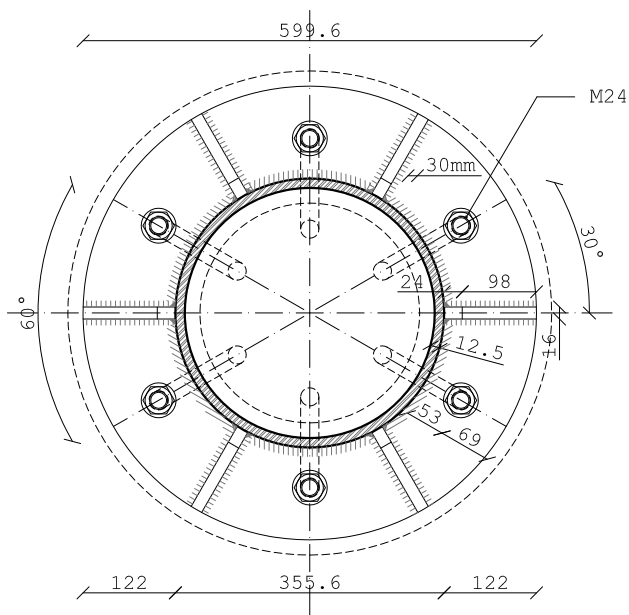


TENSOTECI	Ø diam. Cavo (mm)	A max (mm)	B max (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	Forse Rottura min. (kg)
capocorda a forcella F-196	12	22	41	25	25	49	165
capocorda a forcella F-118	36	65	137	80	70	160	1470
capocorda a forcella F-128	48	96	190	108	95	216	2740

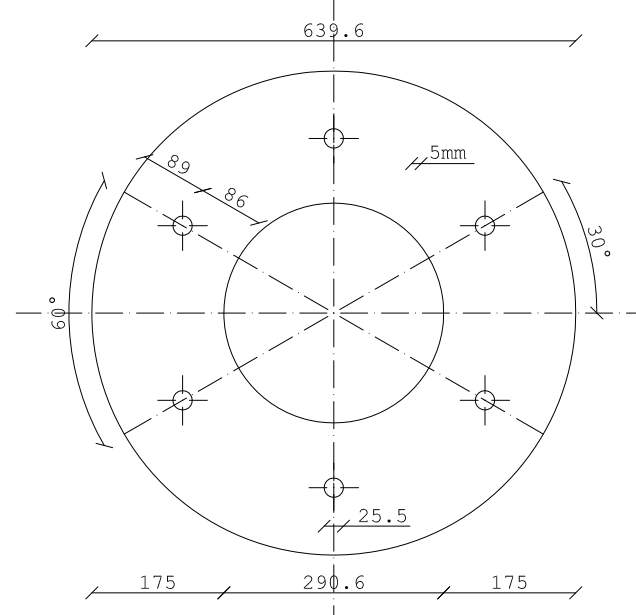
ATTACCO A TERRA  
PILASTRO



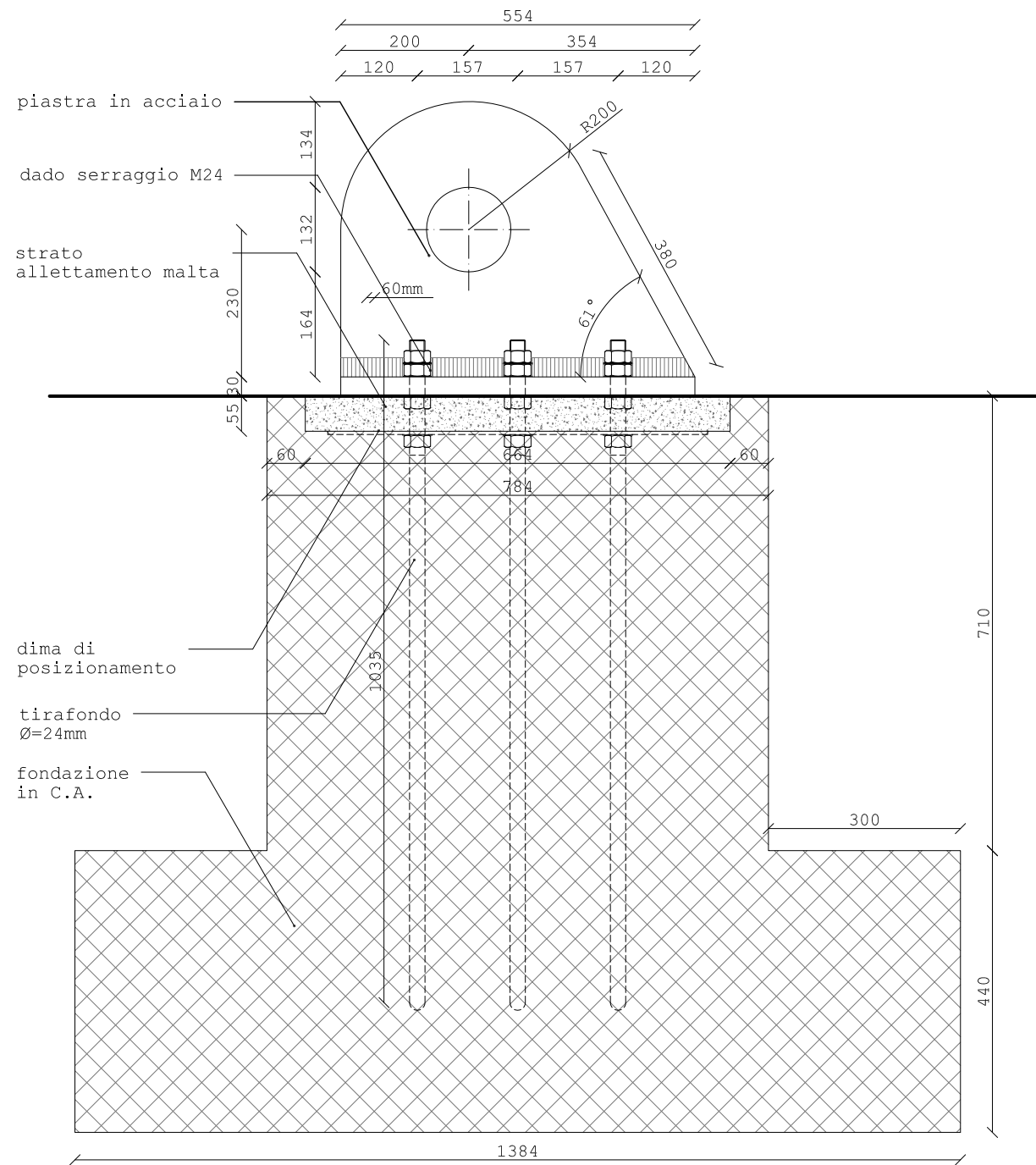
PIANTA BASE PILASTRO



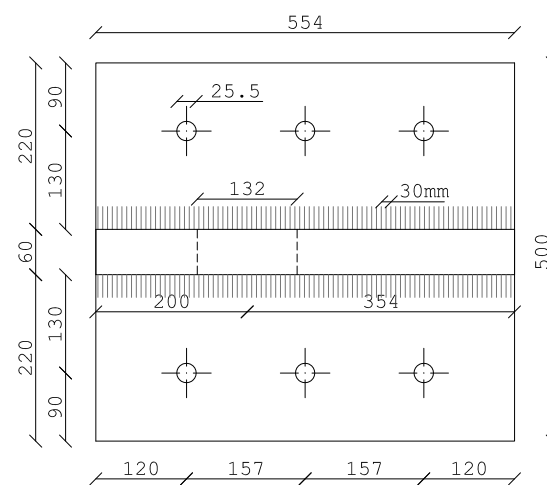
DIMA DI POSIZIONAMENTO



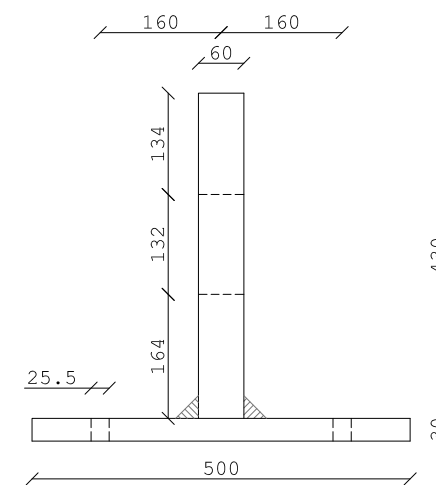
ANCORAGGIO  
CAVO PILASTRO



PIANTA ANCORAGGIO  
CAVO PILASTRO



VISTA FRONTALE  
ANCORAGGIO CAVO PILASTRO



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

Un Velarium al  
Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

PILASTRI SUD

ATTACCO A TERRA  
PILASTRO

SCALA 1:10

ANCORAGGIO  
CAVO PILASTRO

SCALA 1:10

TAVOLA

6.28





POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### PILASTRI SUD

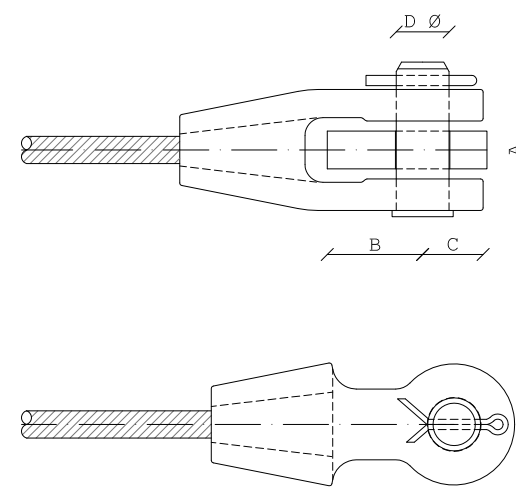
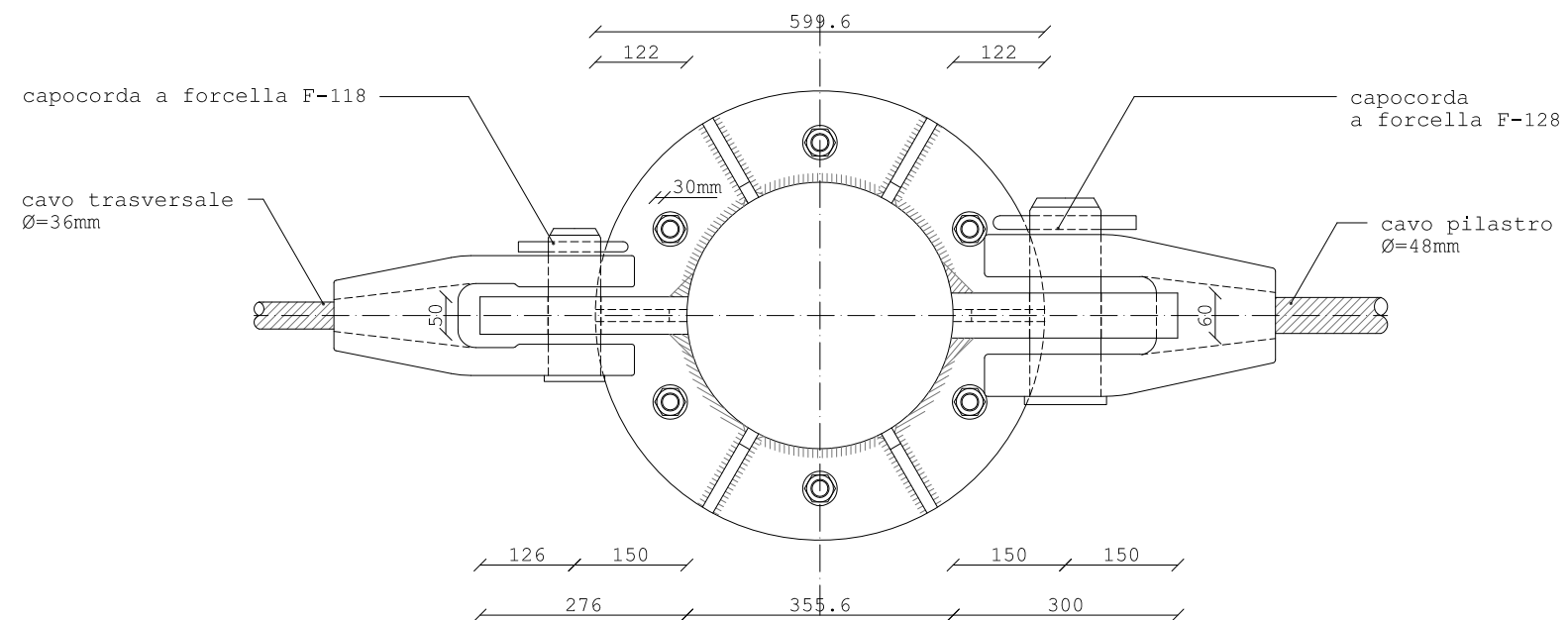
CIMA PILASTRO  
CAVO TRASVERSALE

SCALA 1:10

TAVOLA

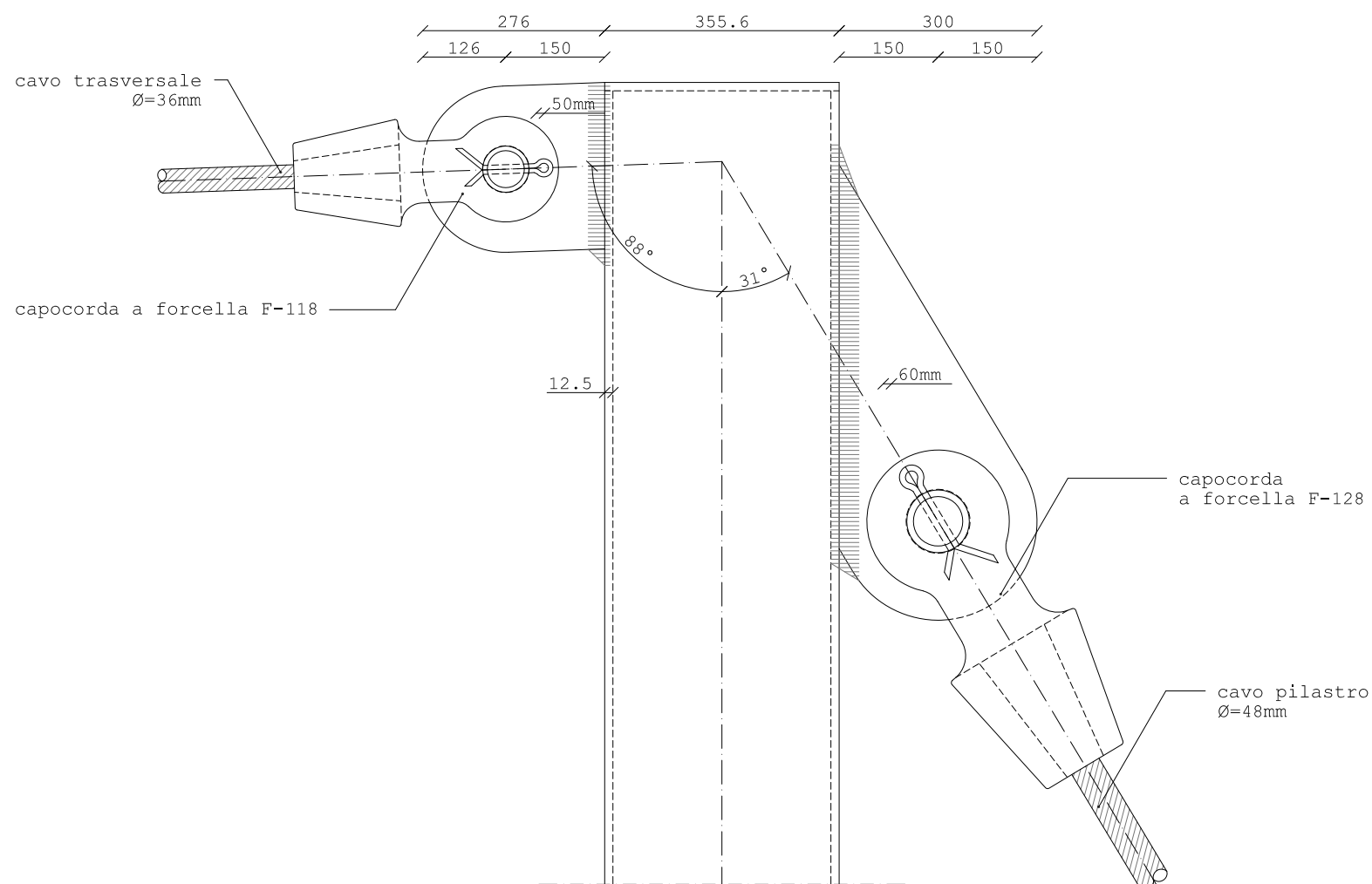
# 6.29

PIANTA CIMA PILASTRO CAVO TRASVERSALE

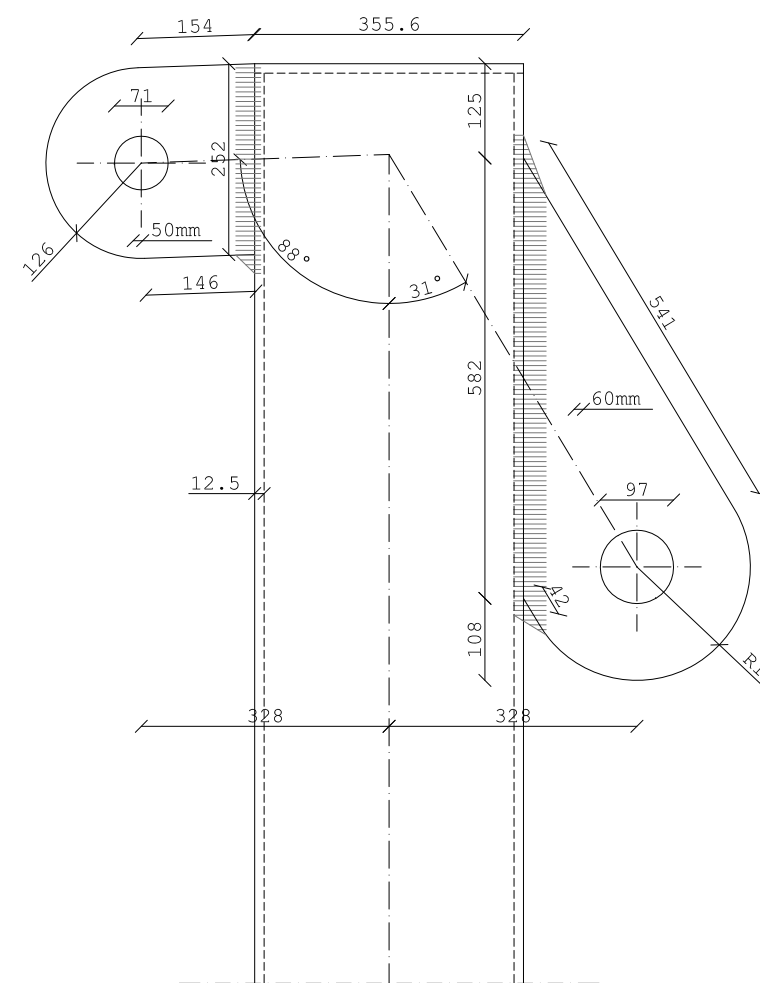


TENSOTECI	Diam. Cavo (mm)	A max (mm)	B max (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	Forza Bottura min. (kN)
capocorda a forcella F-118	36	65	137	80	70	160	1470
capocorda a forcella F-128	48	96	190	108	95	216	2740

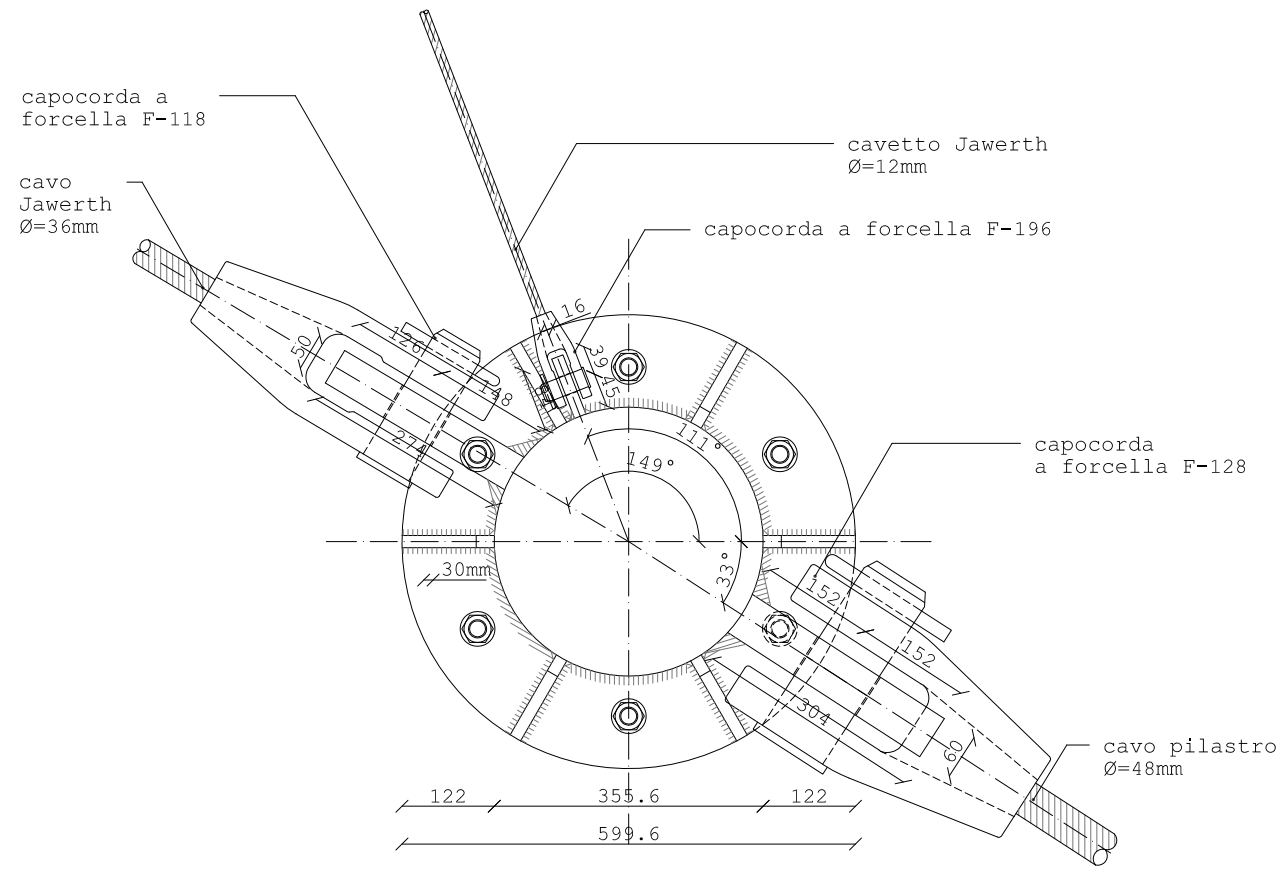
DETTAGLIO CIMA PILASTRO CAVO TRASVERSALE



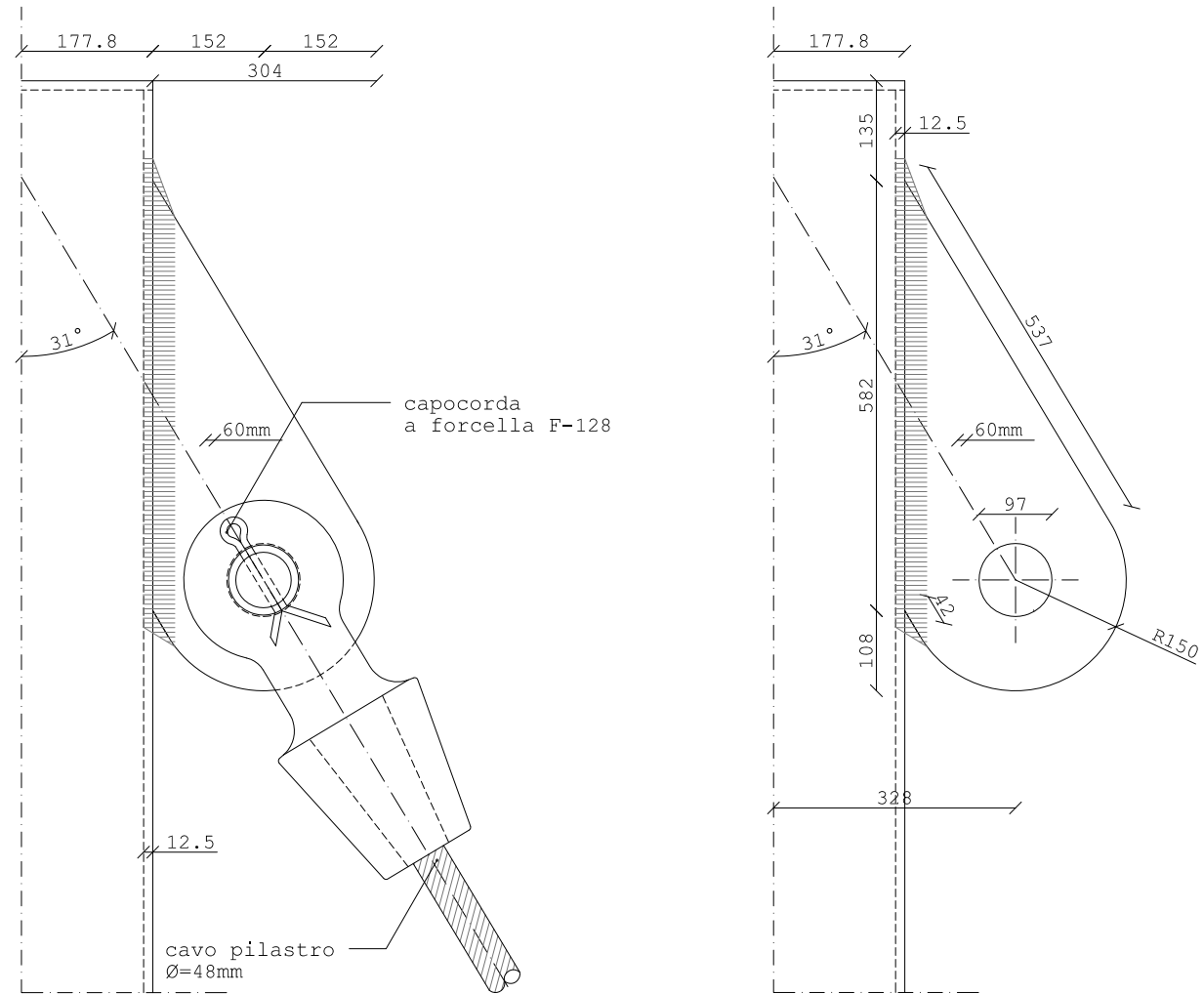
DETTAGLIO PIASTRE CIMA PILASTRO CAVO TRASVERSALE



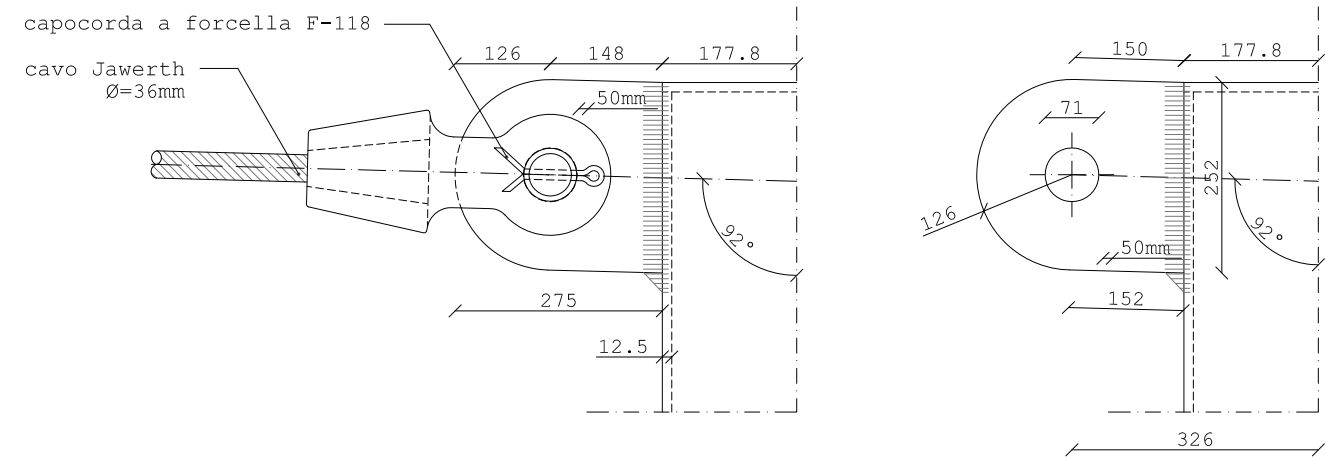
PIANTA CIMA PILASTRO CAVO JAWERTH



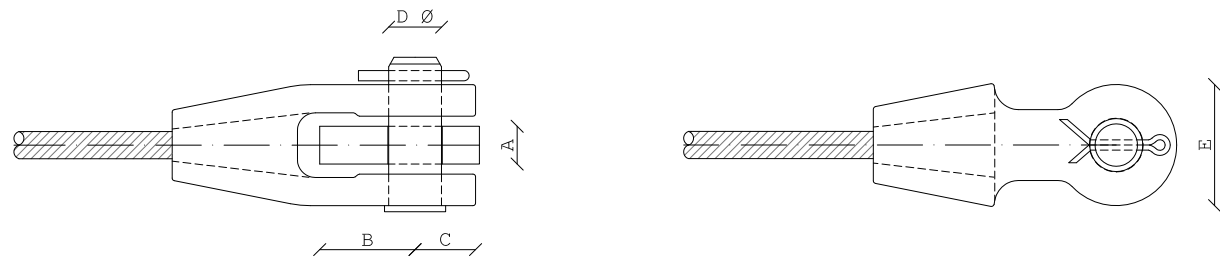
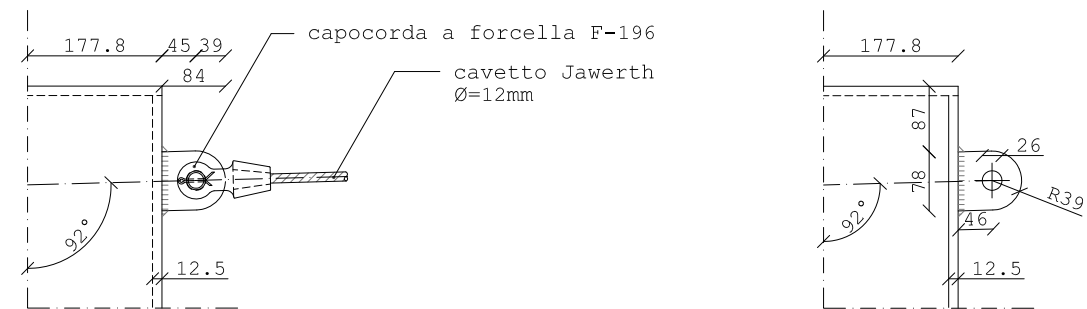
DETTAGLI APPRODO CAVO PILASTRO



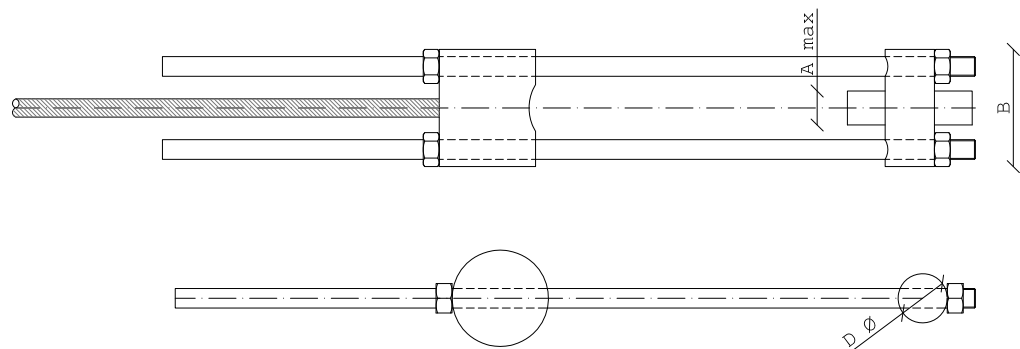
DETTAGLI APPRODO CAVO JAWERTH



DETTAGLI APPRODO CAVETTO JAWERTH



TENSOTECI	Diam. Cavo (mm)	A max (mm)	B max (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	Forza Rotazione Rif. (kg)
capocorda a forcella F-196	12	22	41	25	25	49	165
capocorda a forcella F-118	36	65	137	80	70	160	1470
capocorda a forcella F-128	48	96	190	108	95	216	2740



TENSOTECI	Diam. Cavo (mm)	A max (mm)	B max (mm)	D (mm)
capocorda a ponte	48	90	310	130



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

PILASTRI SUD

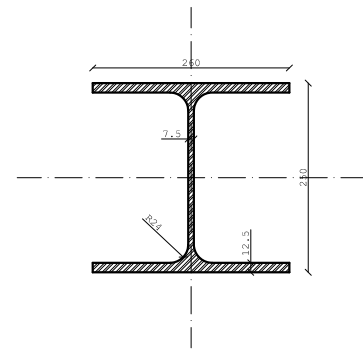
CIMA PILASTRO TIRANTE JAWERTH

SCALA 1:10

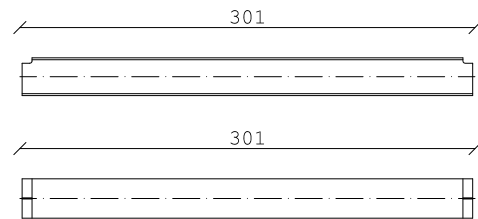
TAVOLA

6.30

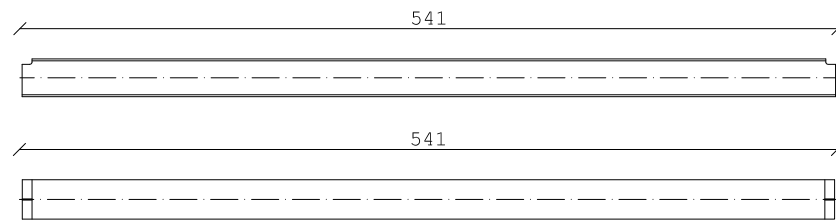
TRAVI CENTRALI: HEA 260



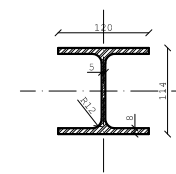
campata centrale



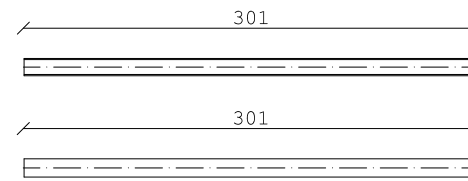
campata laterale



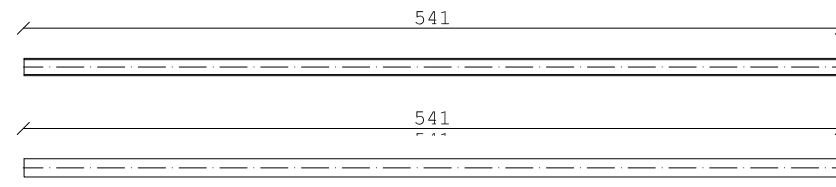
TRAVI LATERALI: HEA 120



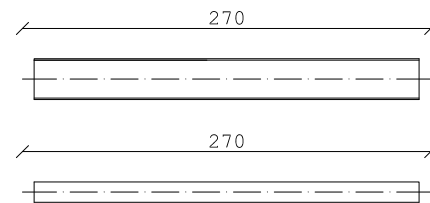
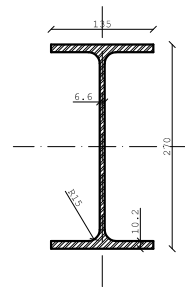
campata centrale



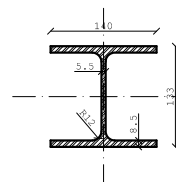
campata laterale



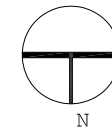
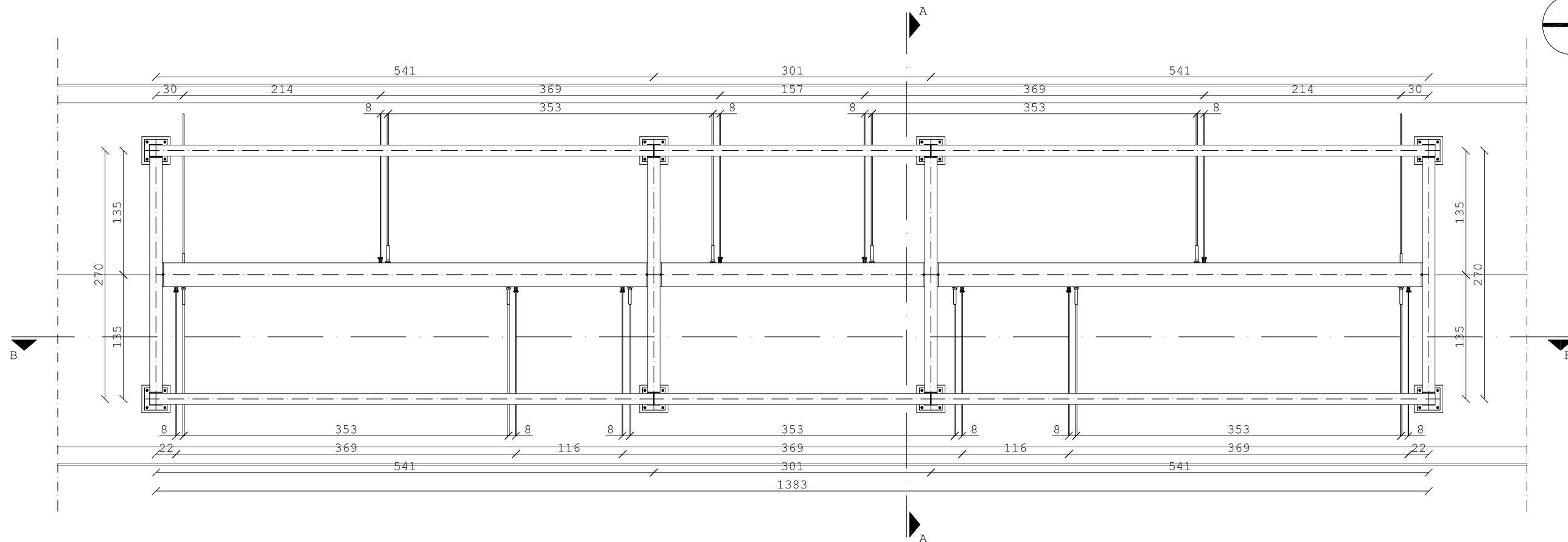
TRAVE CAVALLETTO: IPE 270



PILASTRO CAVALLETTO: HEA 140



PIANTA RETICOLO TRAVI



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

RETICOLO TRAVI ACCIAIO

PIANTE E PROSPETTI ELEMENTI

SCALA 1:50

PIANTA RETICOLO TRAVI

SCALA 1:50

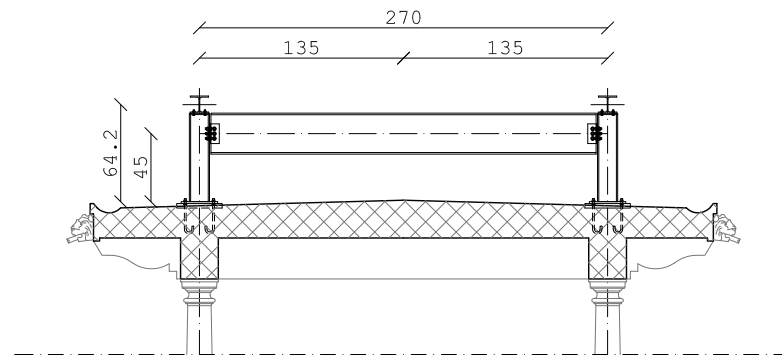
SEZIONI PROFILI

SCALA 1:10

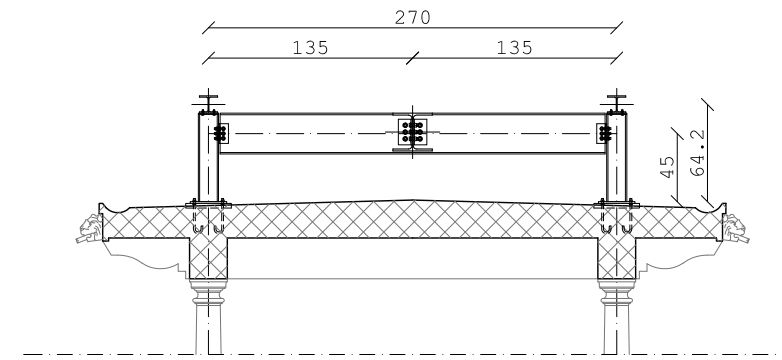
TAVOLA

6.31

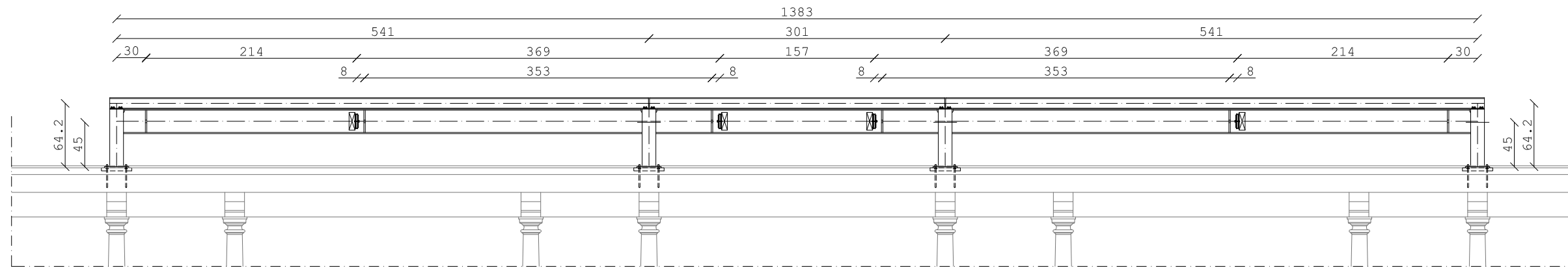
PROSPETTO EST/OVEST



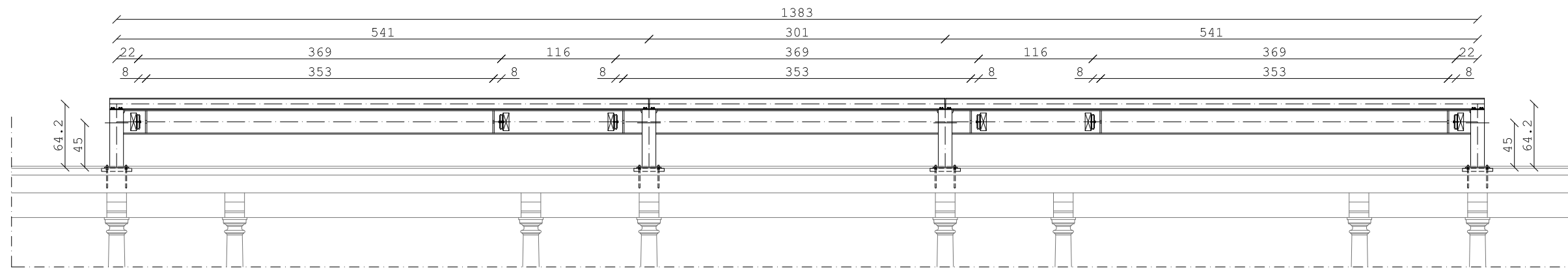
SEZIONE A-A



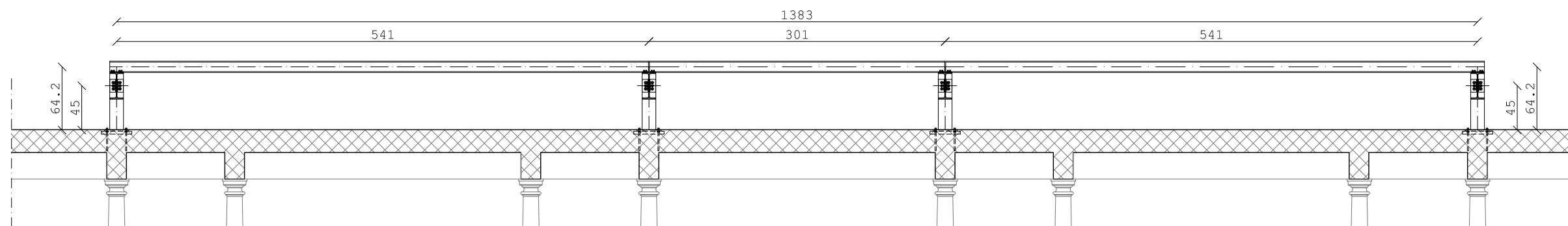
PROSPETTO SUD



PROSPETTO NORD



SEZIONE B-B



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### RETICOLO TRAVI ACCIAIO

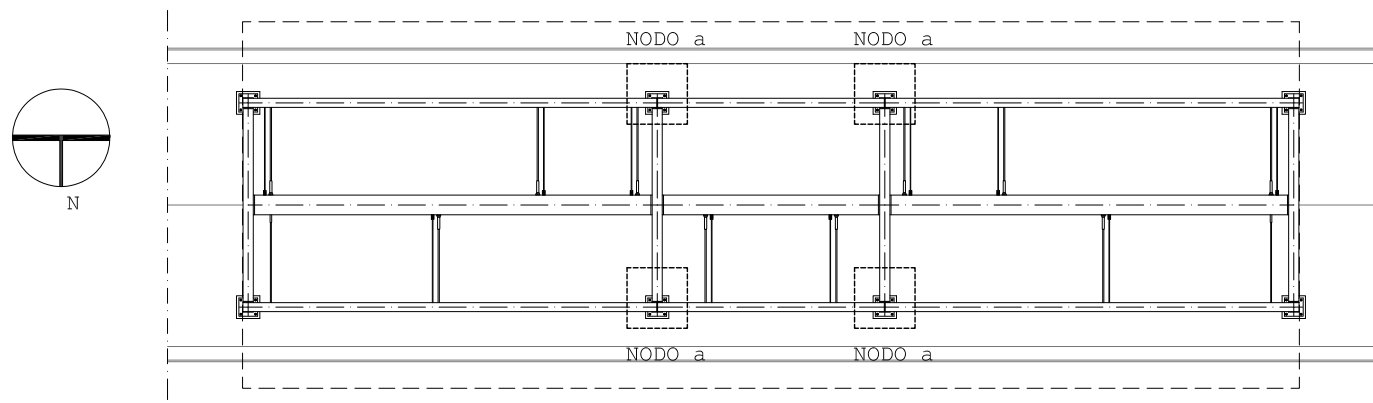
PROSPETTI  
SEZIONE A-A

SCALA 1:50

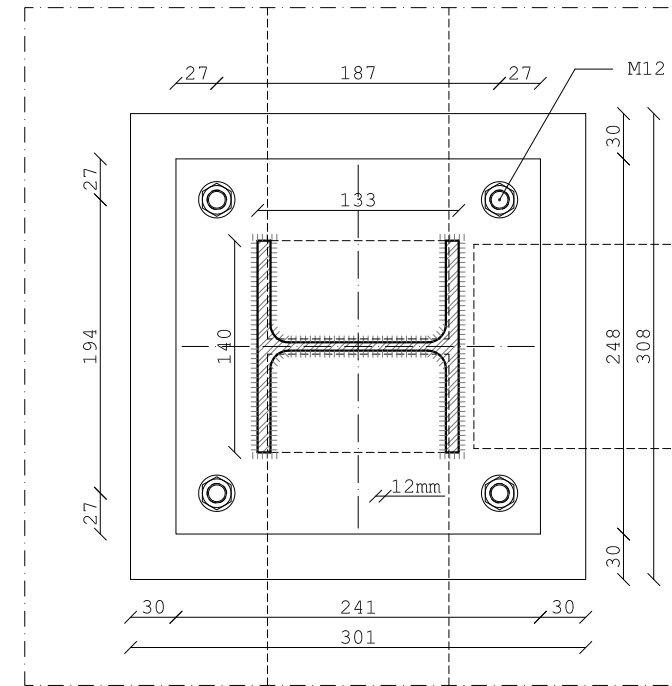
TAVOLA

# 6.32

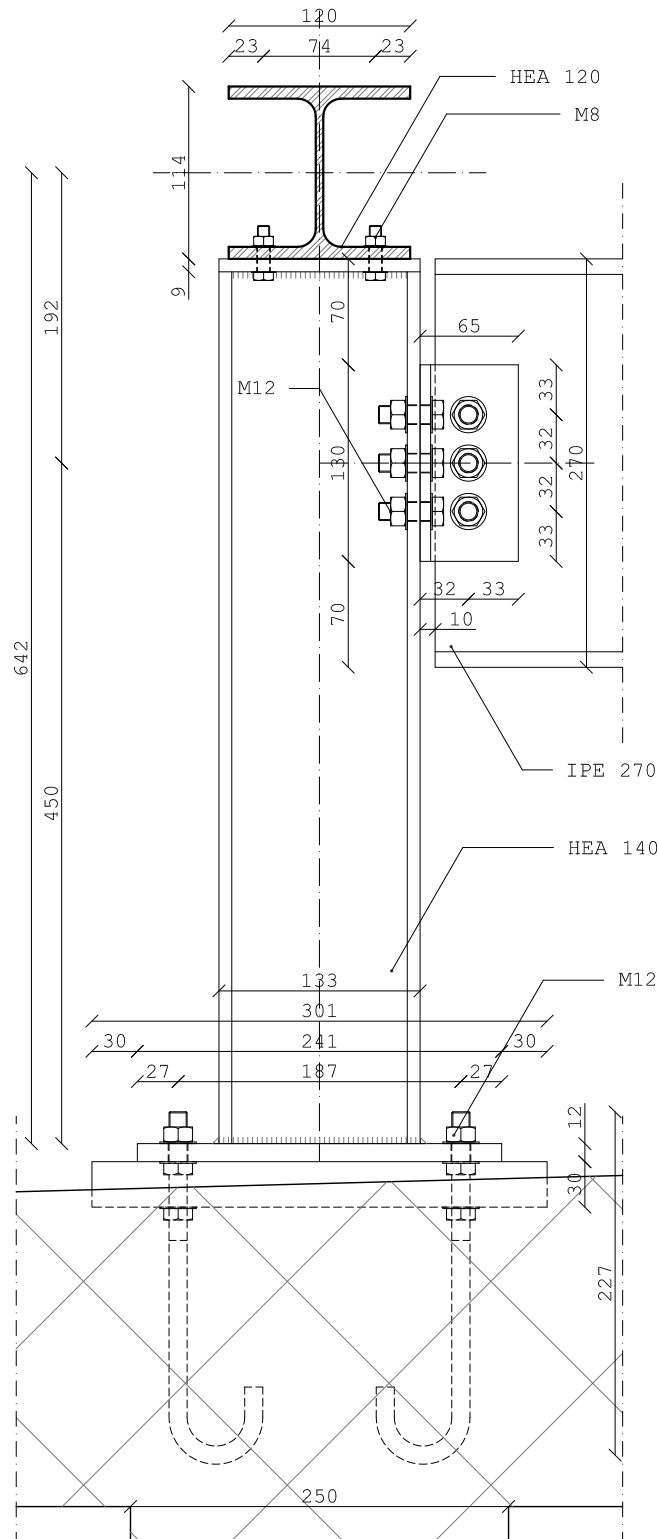
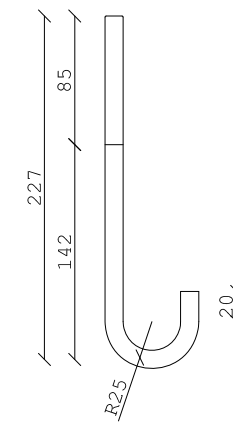
PIANTA RETICOLO TRAVI\_SCALA 1:100



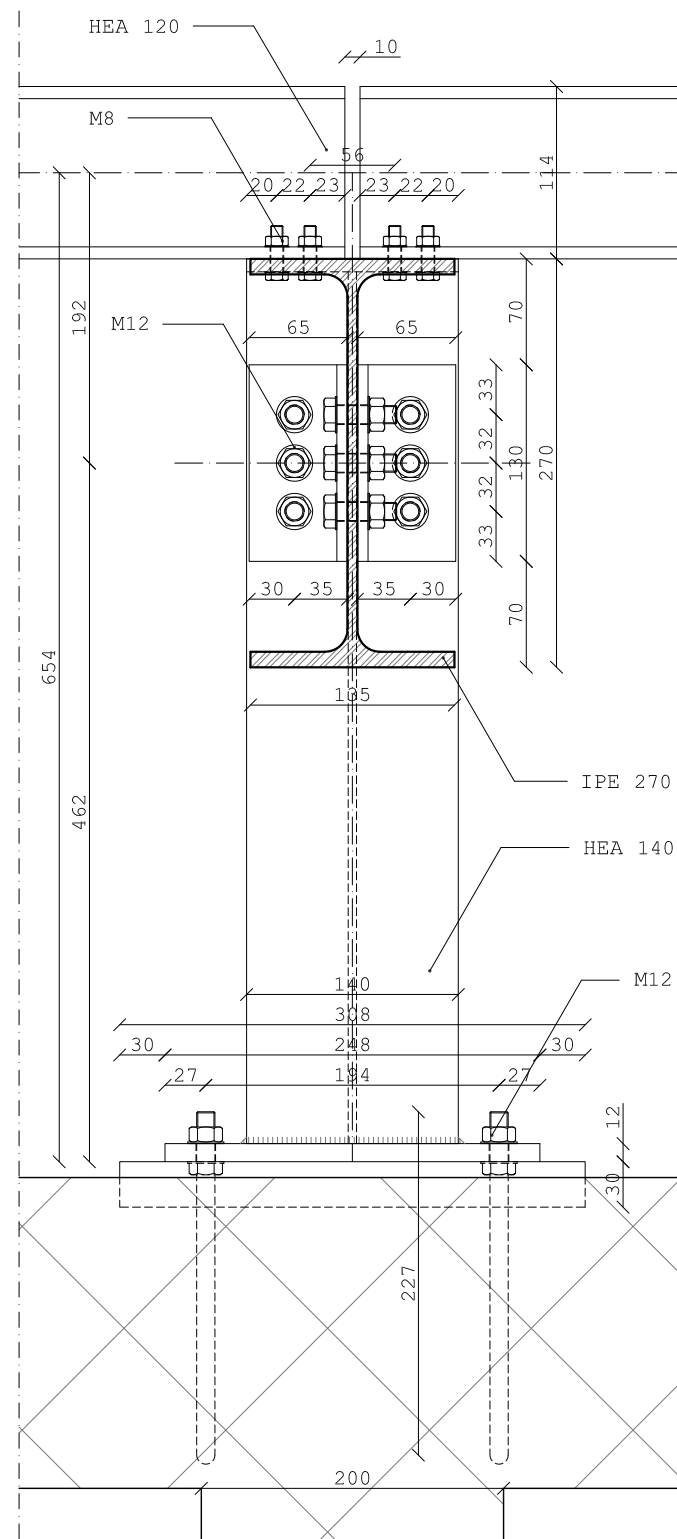
BASE PILASTRO HEA 140



TIRAFONDO PILASTRO Ø=12mm

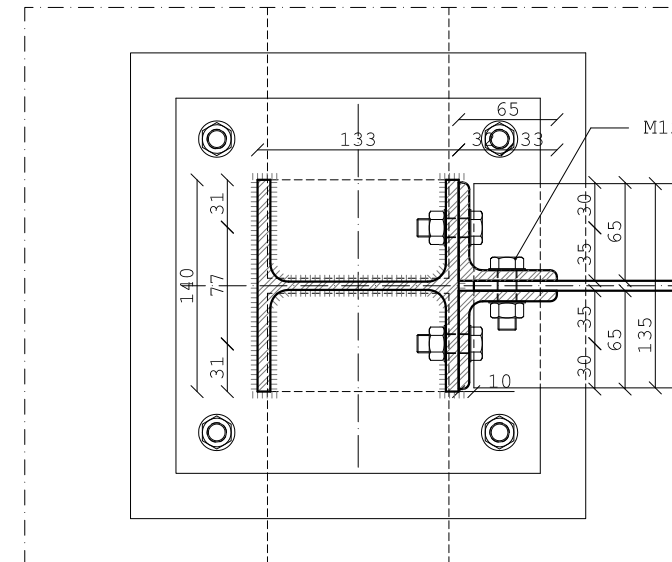


SEZIONE SU HEA 120

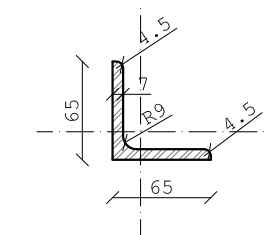


SEZIONE SU IPE 270

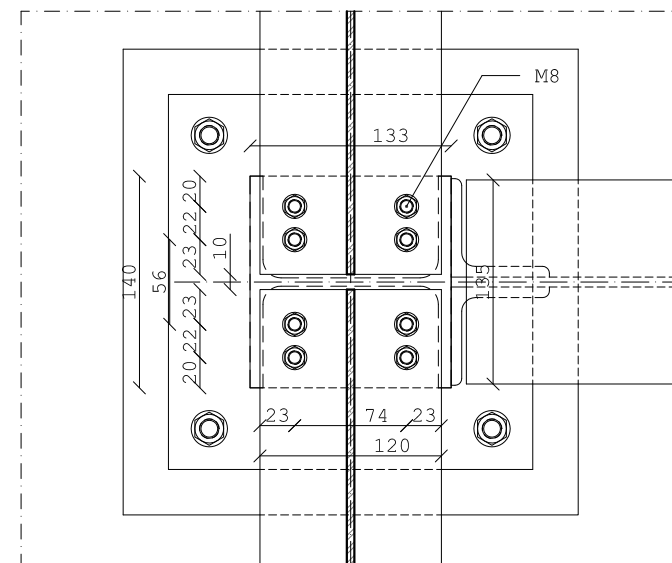
UNIONE PILASTRO HEA 140 - IPE 270



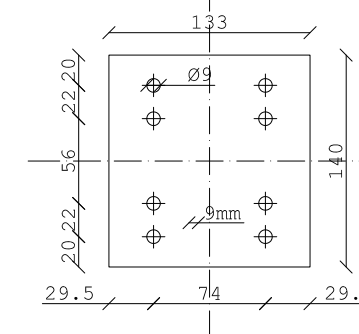
PROFILO ANGOLARE A L COLLEGAMENTO TRAVI



UNIONE PILASTRO HEA 140 - HEA 120



PIASTRA ACCIAIO CIMA PILASTRO



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente: Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice: Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore: Ing. Paolo Beccarelli

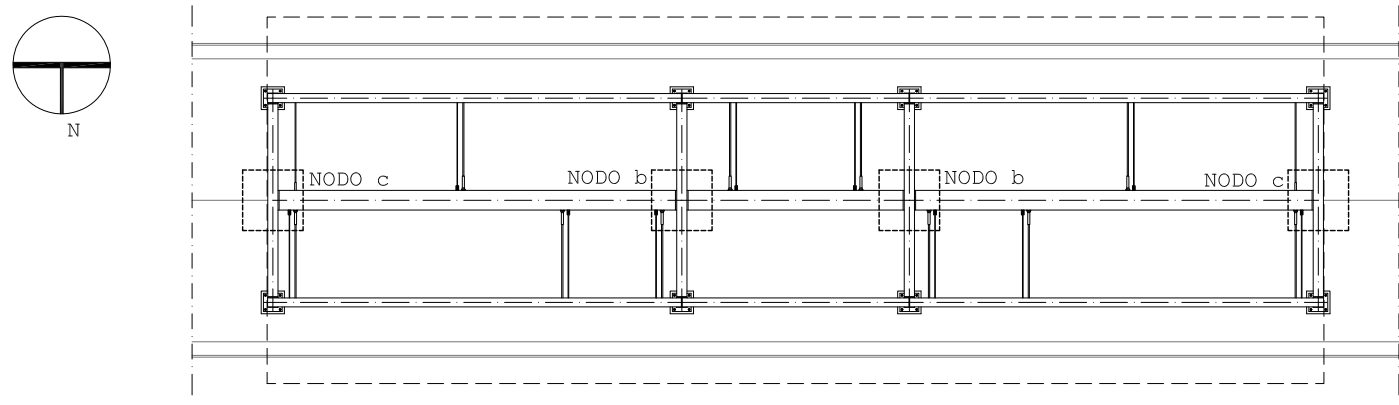
RETICOLO TRAVI ACCIAIO

PARTICOLARI COLLEGAMENTO ELEMENTI: NODO a

SCALA 1:5

TAVOLA

6.33



**POLITECNICO DI MILANO**  
 Facoltà di Architettura  
 e Società  
 Corso di Laurea Specialistica  
 TS6  
 A.A. 2009/2010

**Un Velarium al Politecnico**

Progetto di un sistema  
 di ombreggiamento retrattile  
 per piazza Gardella

Studente:  
 Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
 Matricola: 709095

Relatrice:  
 Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
 Ing. Paolo Beccarelli

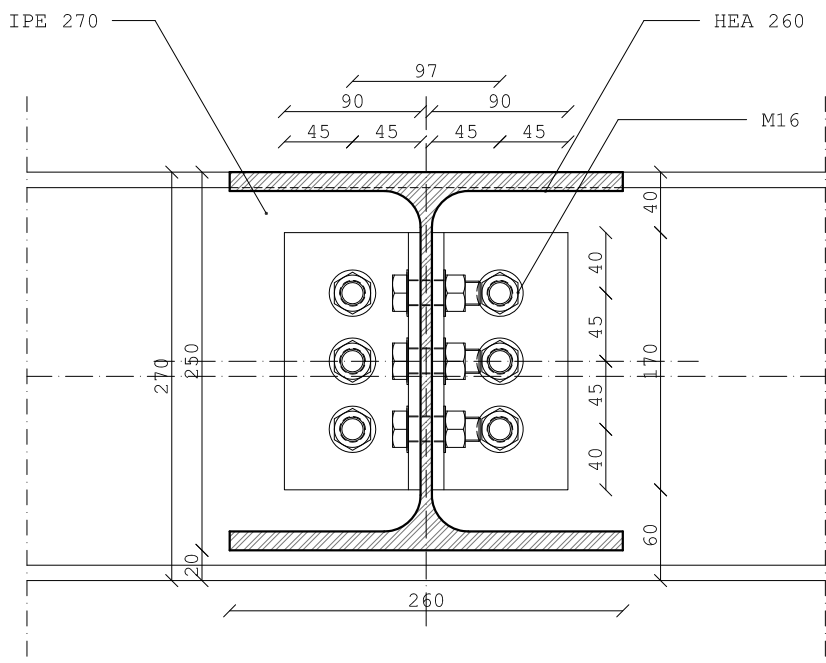
**RETICOLO TRAVI ACCIAIO**

PARTICOLARI COLLEGAMENTO ELEMENTI:  
 NODO b - NODO c

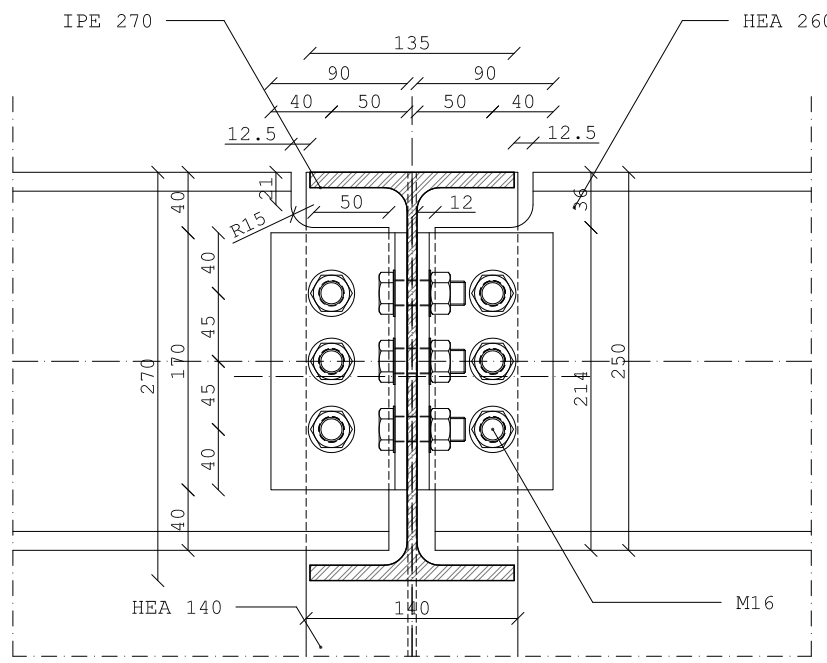
SCALA 1:5

TAVOLA

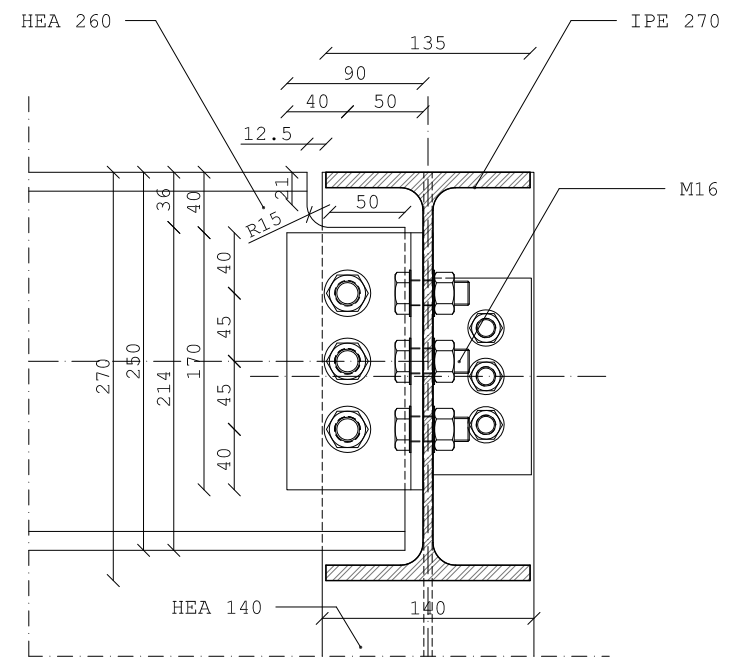
**6.34**



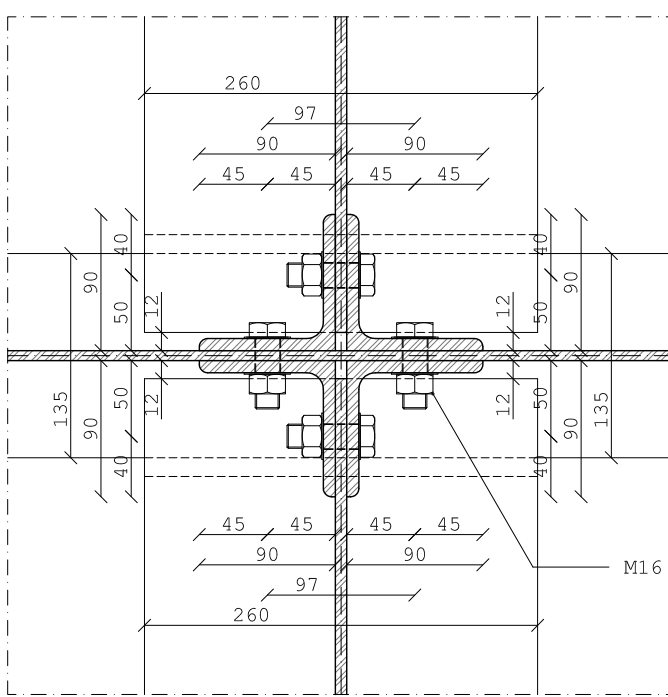
DETTAGLIO NODO b/c: SEZIONE SU HEA 260



DETTAGLIO NODO b: SEZIONE SU IPE 270

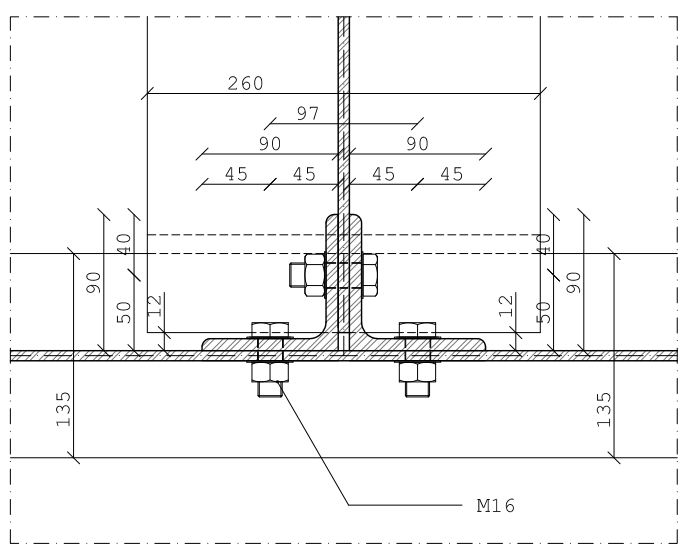
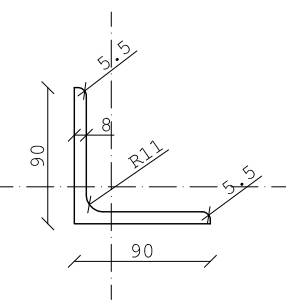


DETTAGLIO NODO c: SEZIONE SU IPE 270



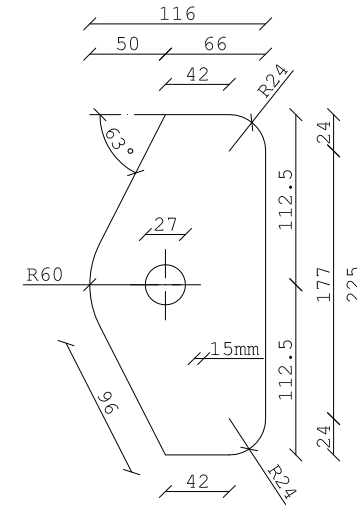
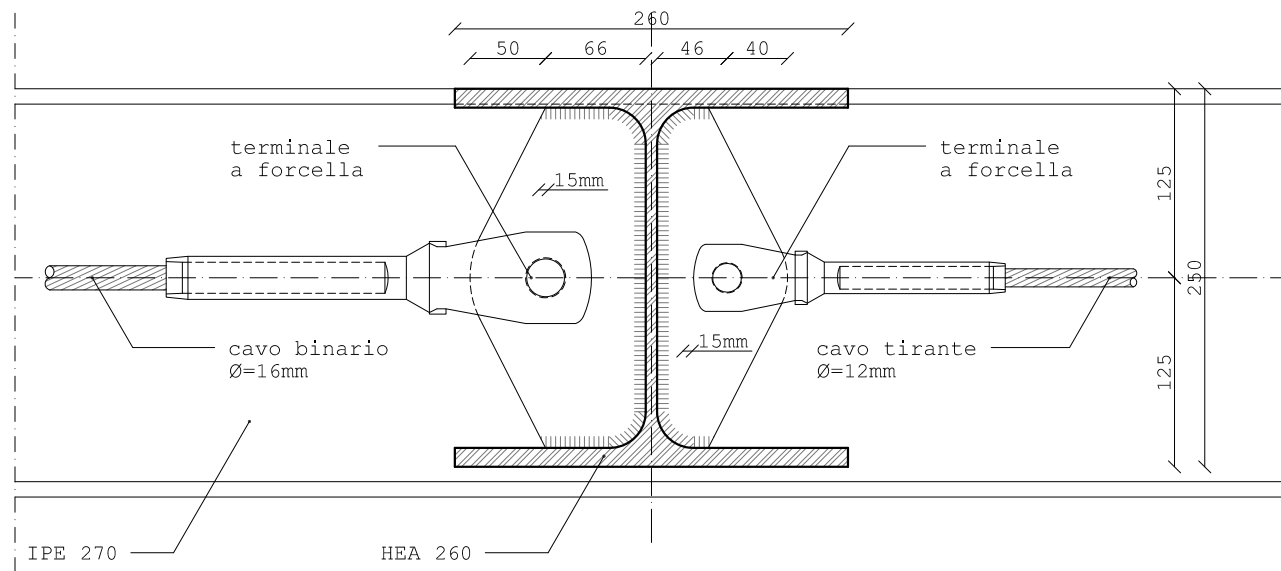
DETTAGLIO NODO b: COLLEGAMENTO HEA 260 - IPE 270

PROFILO ANGOLARE A L  
 COLLEGAMENTO TRAVI

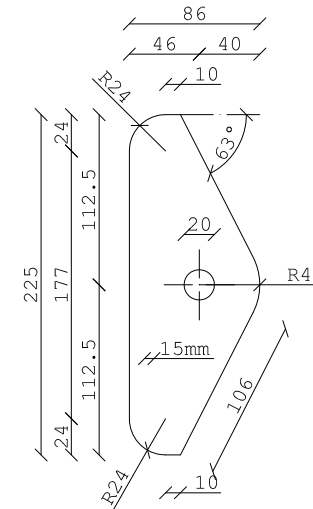


DETTAGLIO NODO c: COLLEGAMENTO HEA 260 - IPE 270

APPRODO CAVO BINARIO E CAVO TIRANTE SU TRAVE CENTRALE

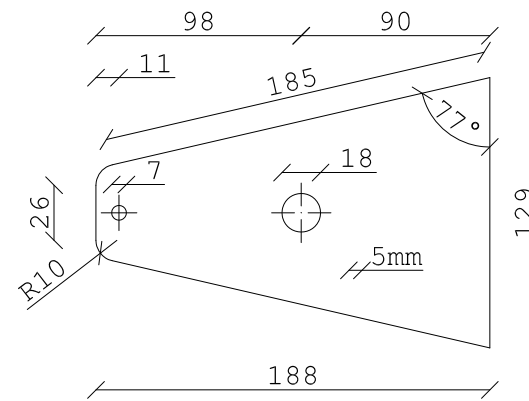
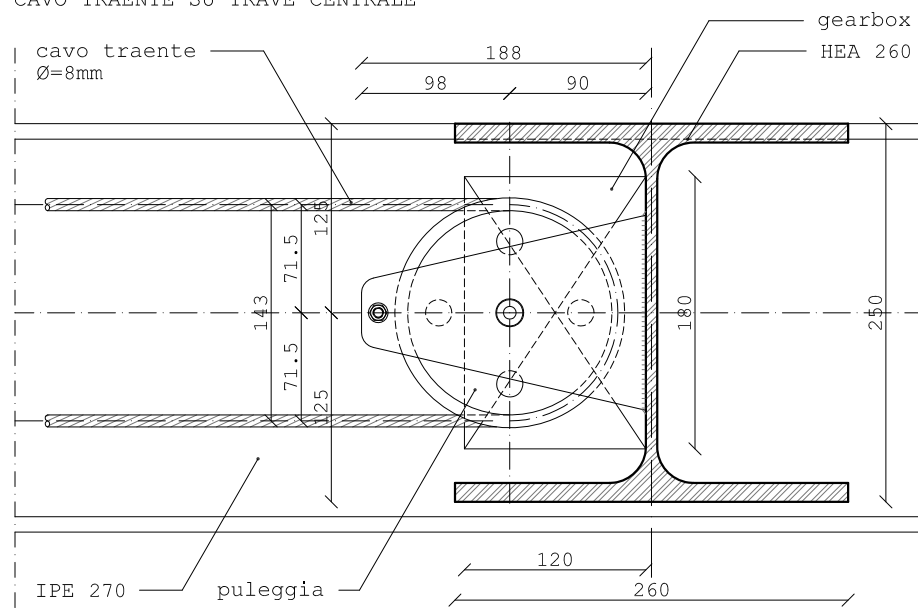


PIASTRA CAVO BINARIO

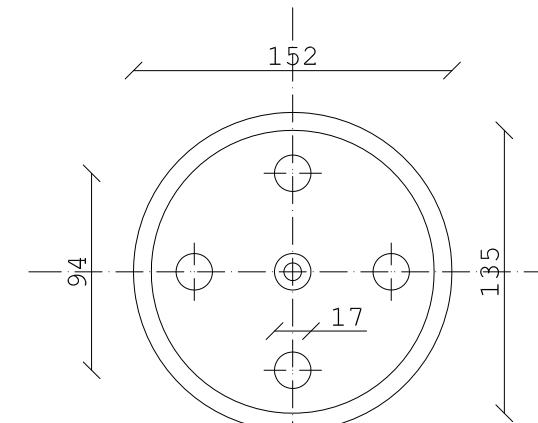


PIASTRA CAVO TIRANTE

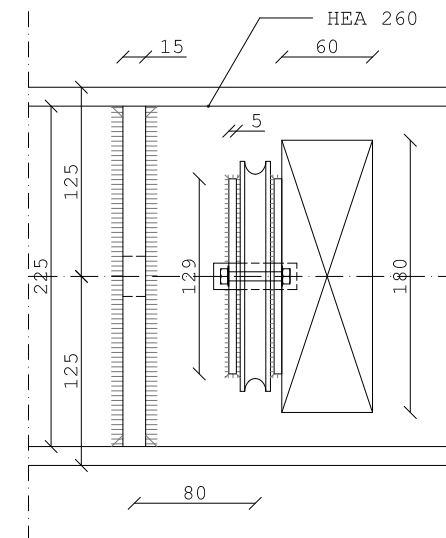
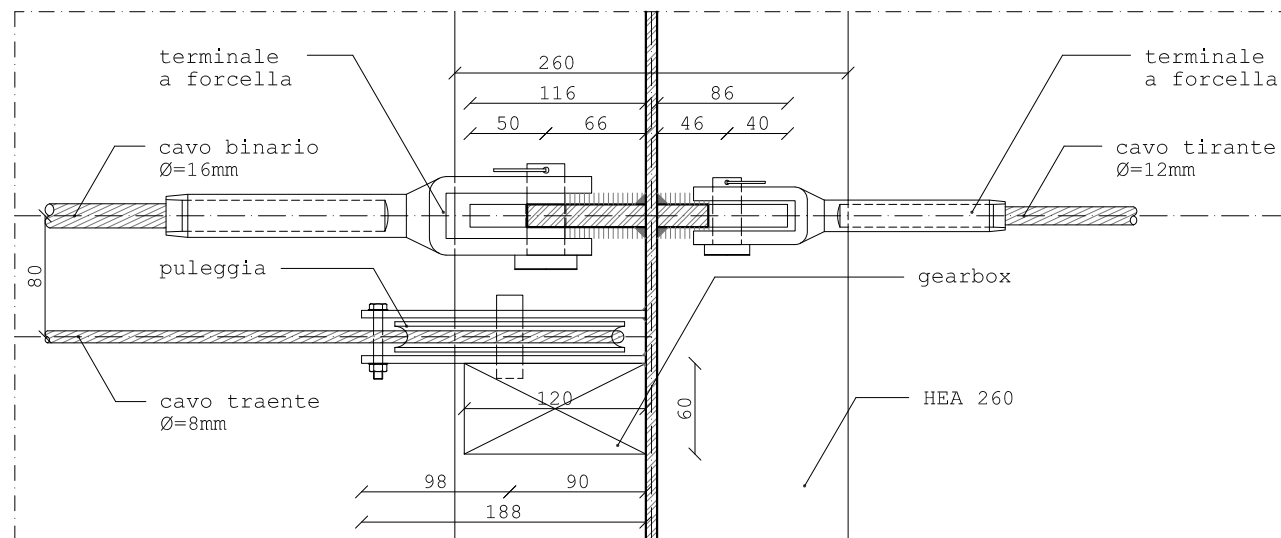
APPRODO CAVO TRAENTE SU TRAVE CENTRALE



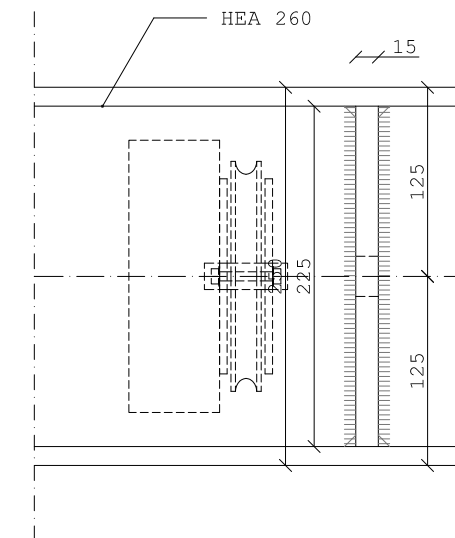
PIASTRA PULEGGIA CAVO TRAENTE



PULEGGIA CAVO TRAENTE



VISTA FRONTALE PIASTRE CAVO BINARIO E CAVO TRAENTE



VISTA FRONTALE PIASTRA CAVO TIRANTE



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

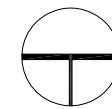
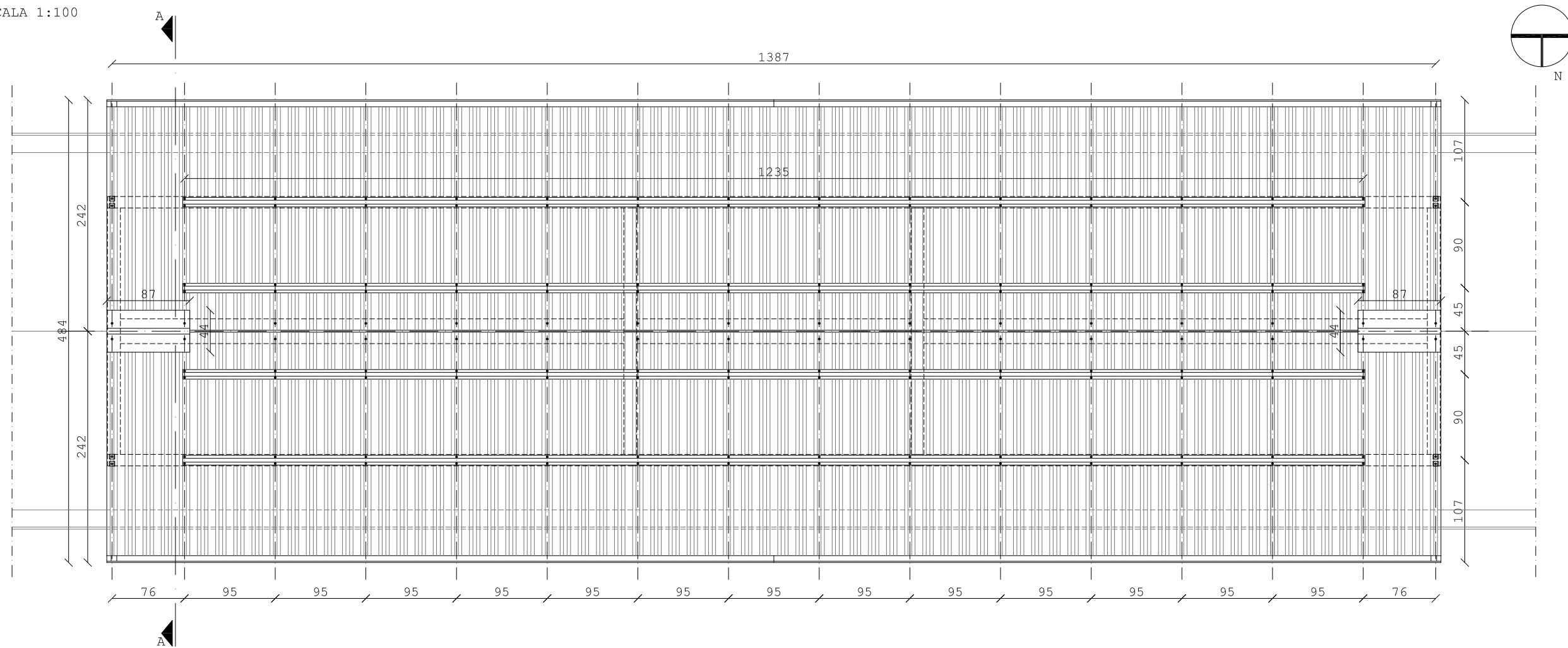
RETICOLO TRAVI ACCIAIO

APPRODO CAVO BINARIO, CAVO TIRANTE E CAVO TRAENTE SU TRAVE CENTRALE

SCALA 1:5

TAVOLA

6.35



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Specialistica TS6

A.A. 2009/2010

Un Velarium al Politecnico

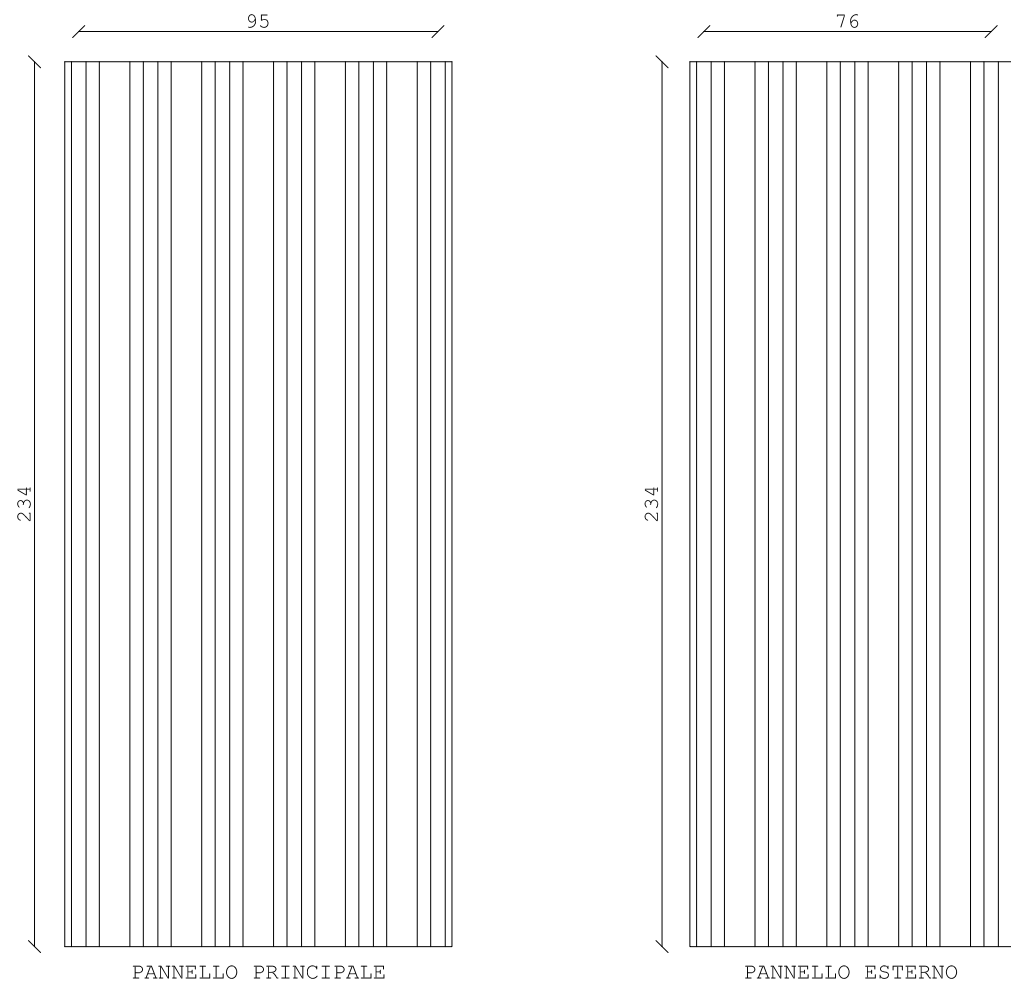
Progetto di un sistema di ombreggiamento retrattile per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

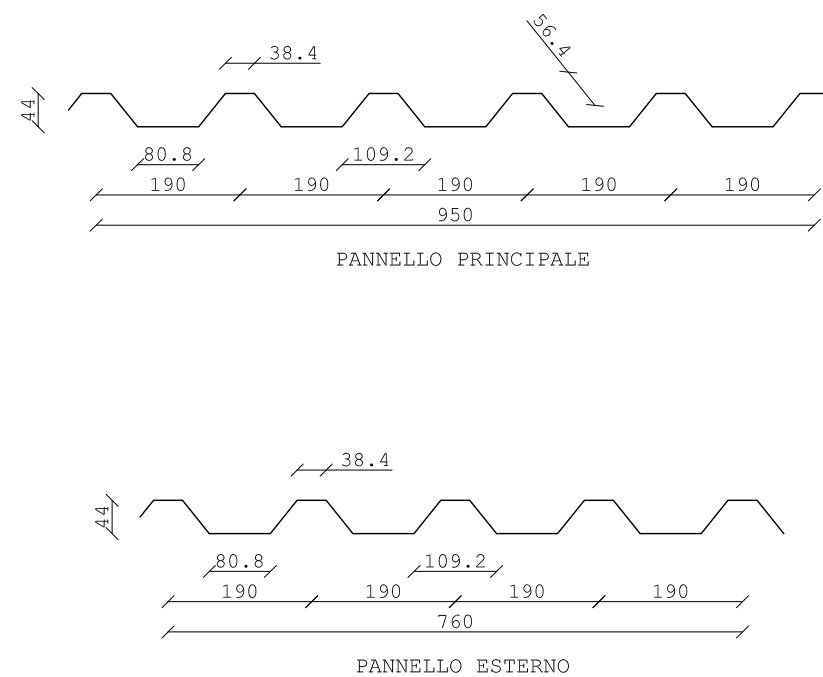
Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

PIANTA PANNELLI LAMIERA GRECATA UNIMETAL GENUS 45 ALLUMINIO\_SCALA 1:20



SEZIONE PANNELLI LAMIERA GRECATA UNIMETAL GENUS 45 ALLUMINIO\_SCALA 1:10



COPERTURA

PIANTA COPERTURA  
LAMIERA GRECATA

SCALA 1:100

PIANTA PANNELLI LAMIERA

SCALA 1:20

SEZIONE PANNELLI

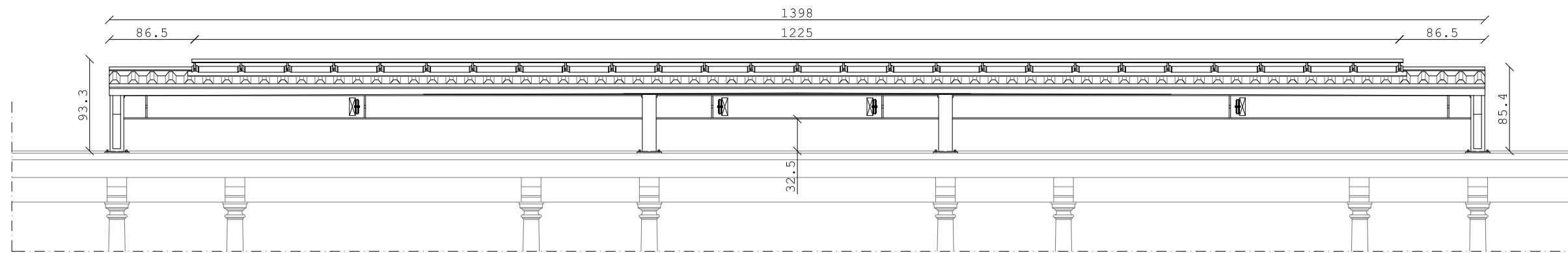
SCALA 1:10

TAVOLA

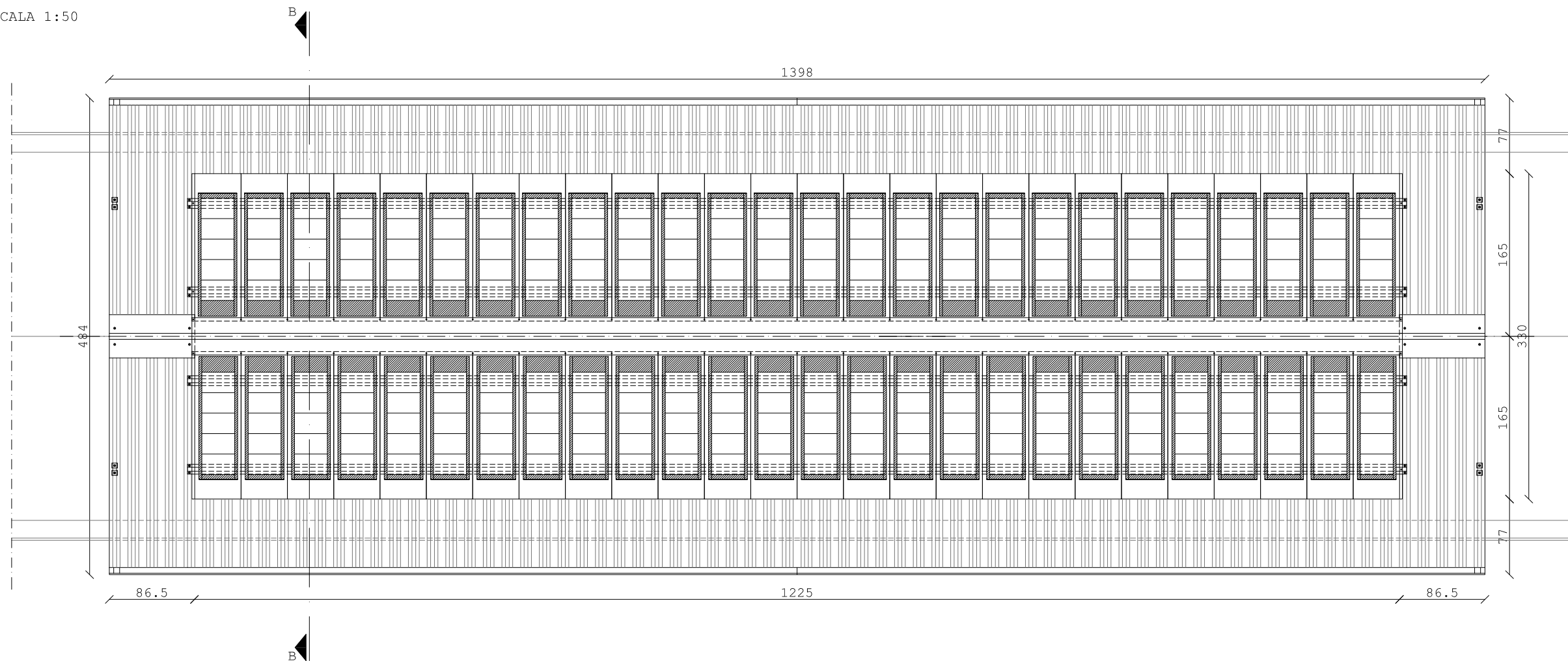
6.36



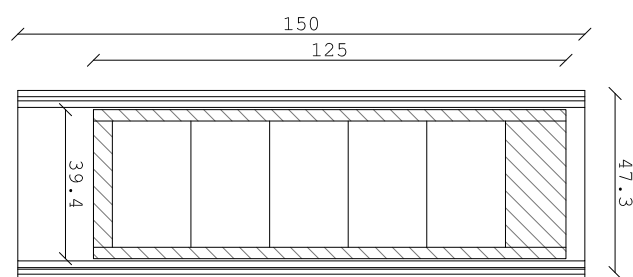
PROSPETTO SUD\_SCALA 1:50



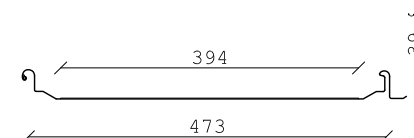
PIANTA\_SCALA 1:50



PIANTA PROFILO FOTOVOLTAICO UNIMETAL PV-NE\_SCALA 1:20



SEZIONE PROFILO FOTOVOLTAICO UNIMETAL PV-NE\_SCALA 1:10



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### COPERTURA

PIANTA E PROSPETTO  
COPERTURA CON MODULI  
FOTOVOLTAICI

SCALA 1:50

PIANTA MODULO  
FOTOVOLTAICO

SCALA 1:20

SEZIONE MODULO  
FOTOVOLTAICO

SCALA 1:10

TAVOLA

# 6.37



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

### COPERTURA

SEZIONE A-A  
SEZIONE B-B

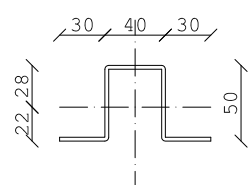
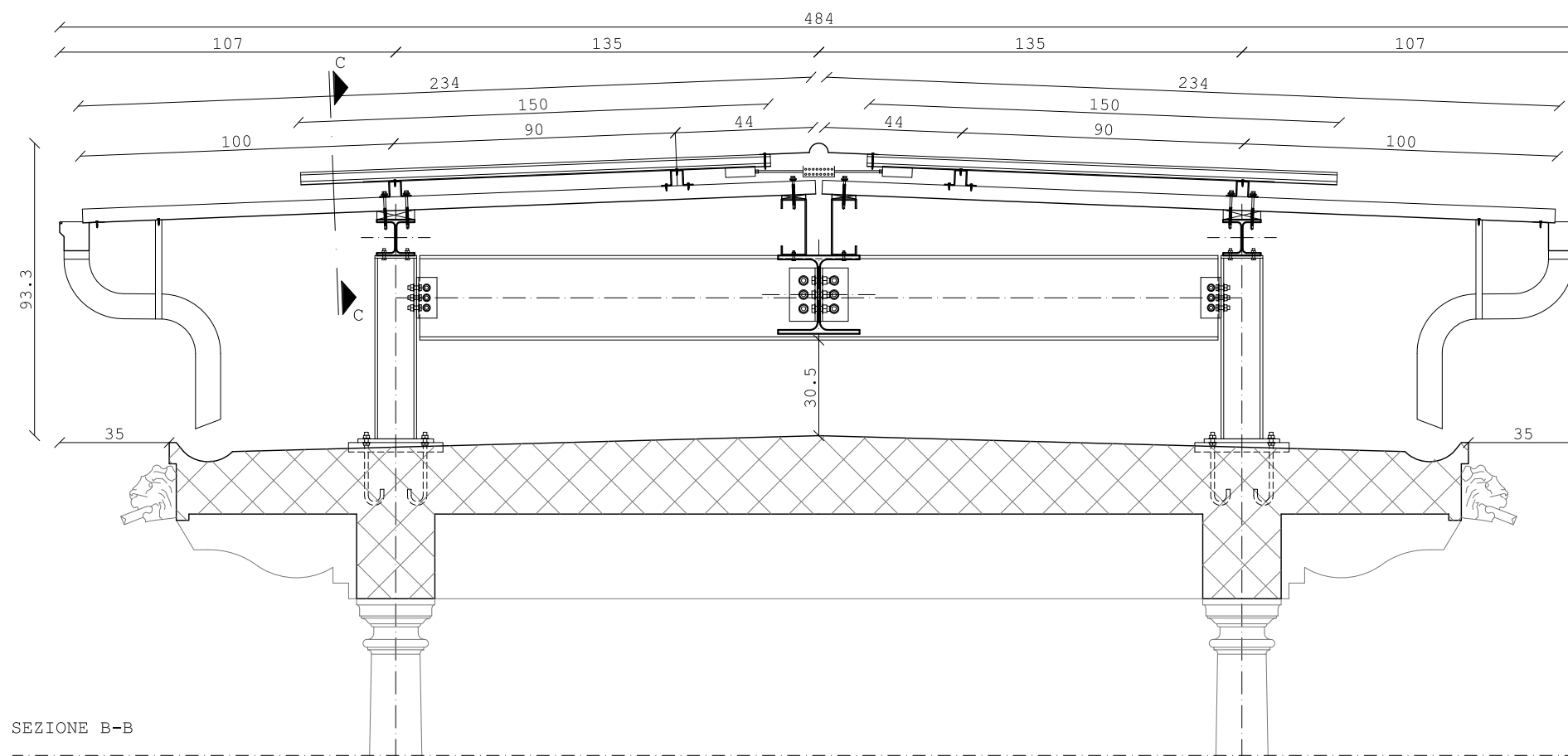
SCALA 1:20

SEZIONE PROFILI  
COPERTURA

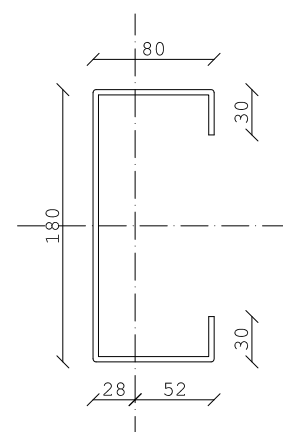
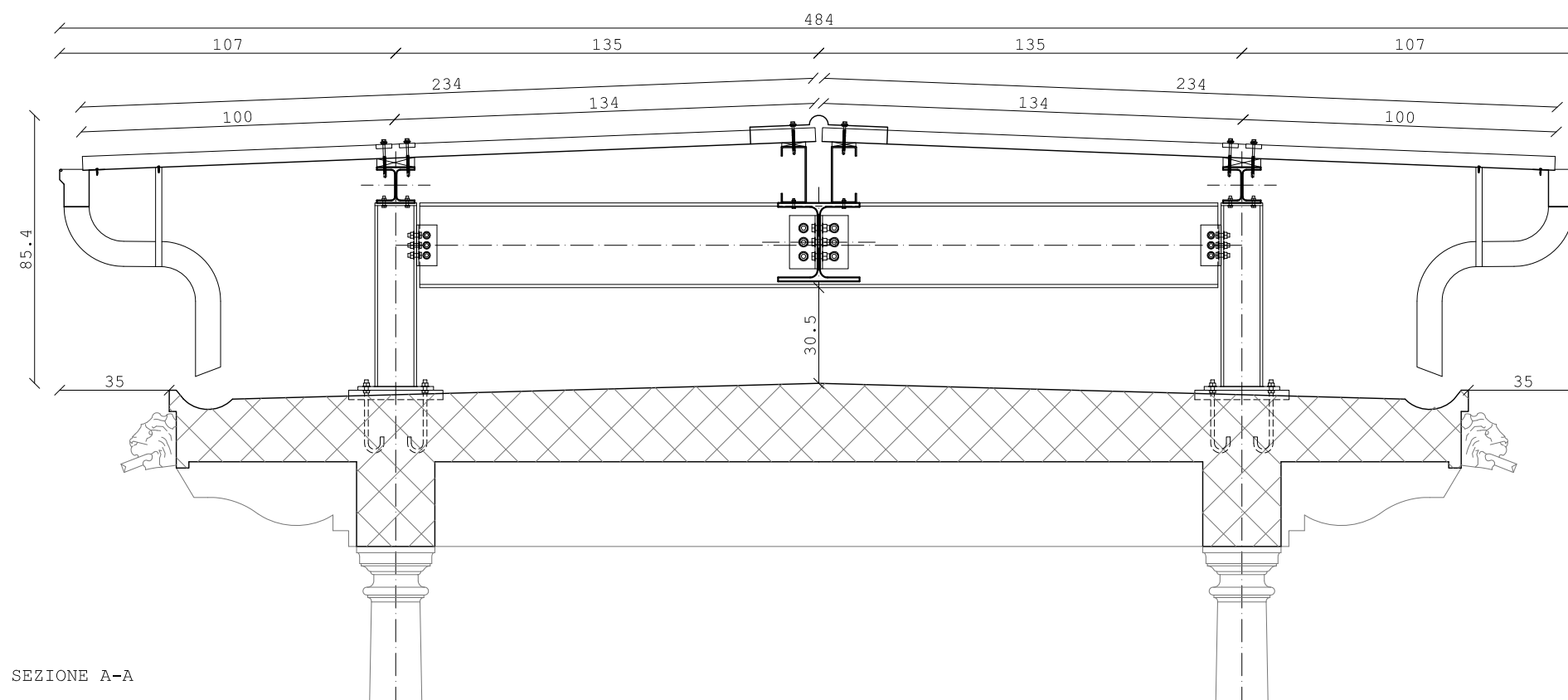
SCALA 1:5

### TAVOLA

# 6.38



PROFILO OMEGA  
30X50X40



PROFILO C  
30X80X180



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

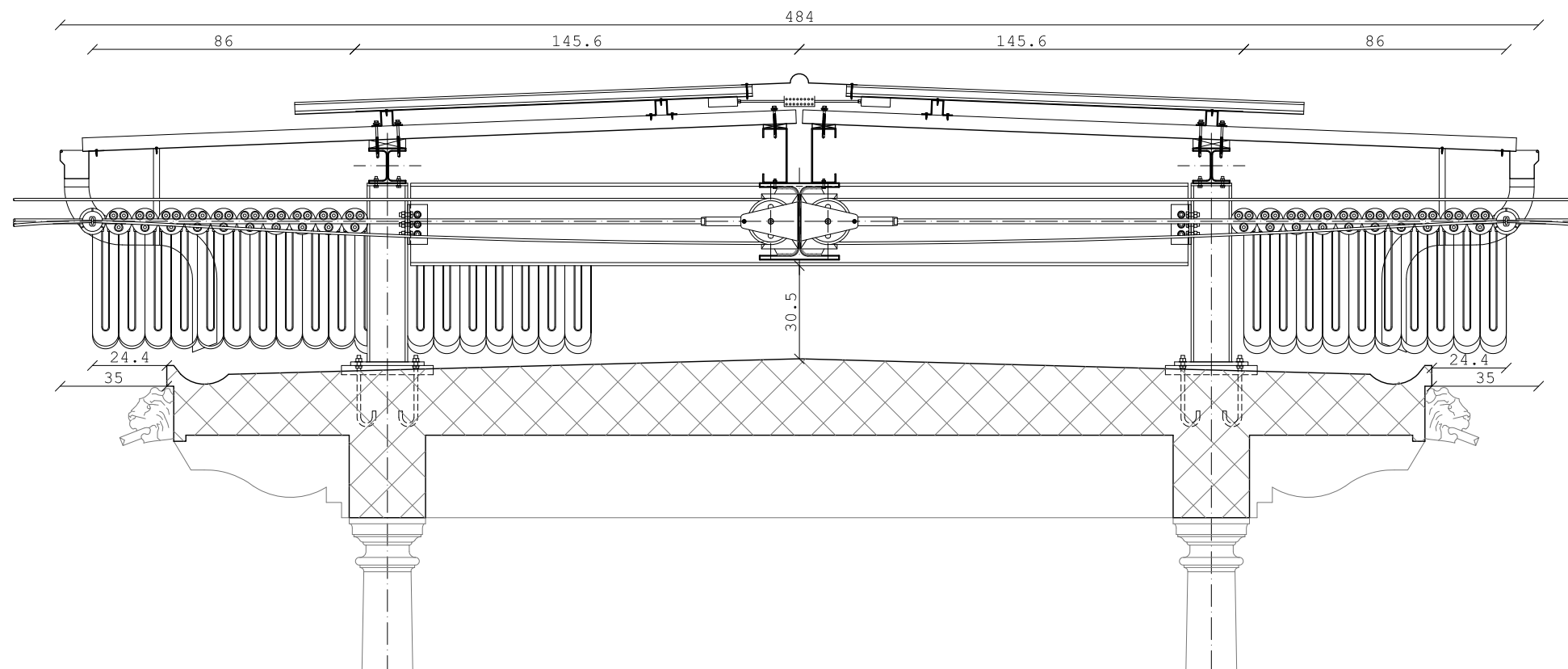
### COPERTURA

SEZIONE C-C  
SEZIONE D-D

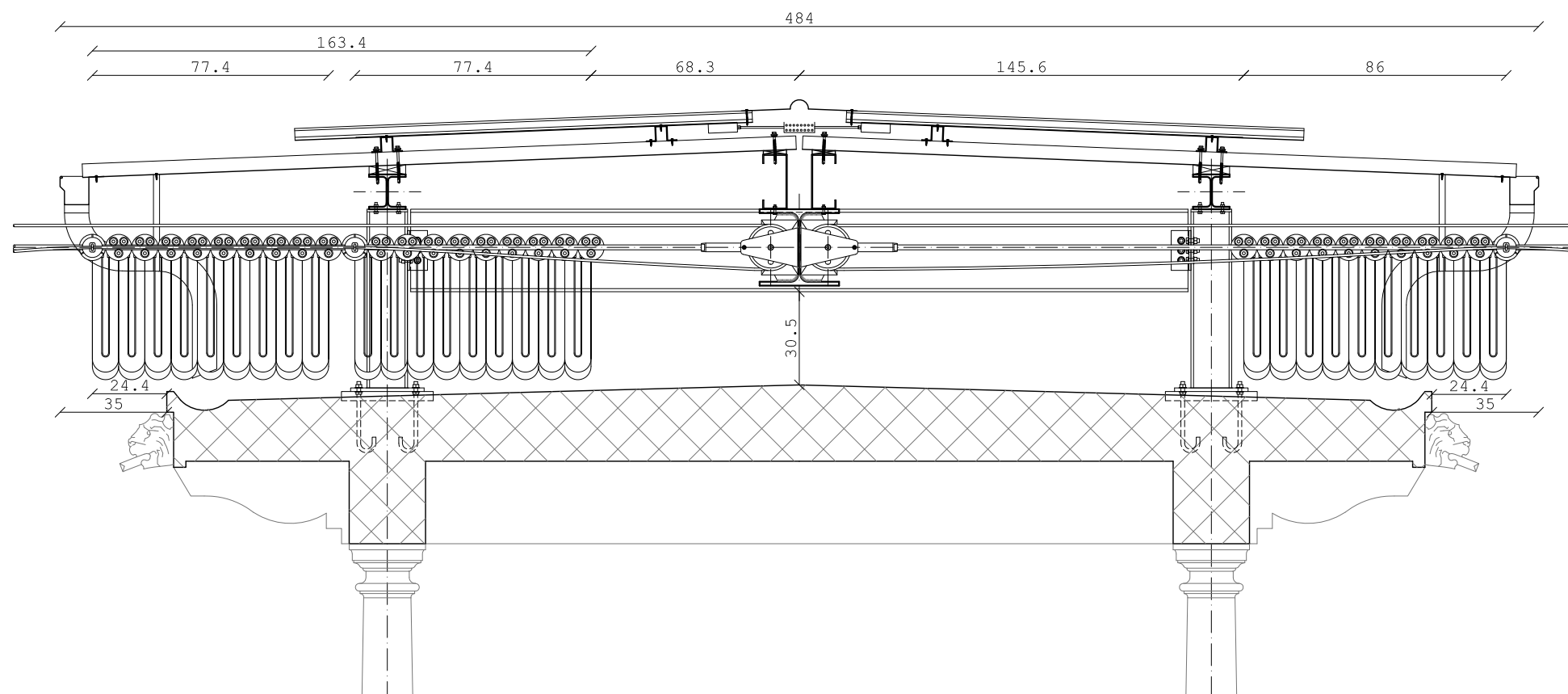
SCALA 1:20

TAVOLA

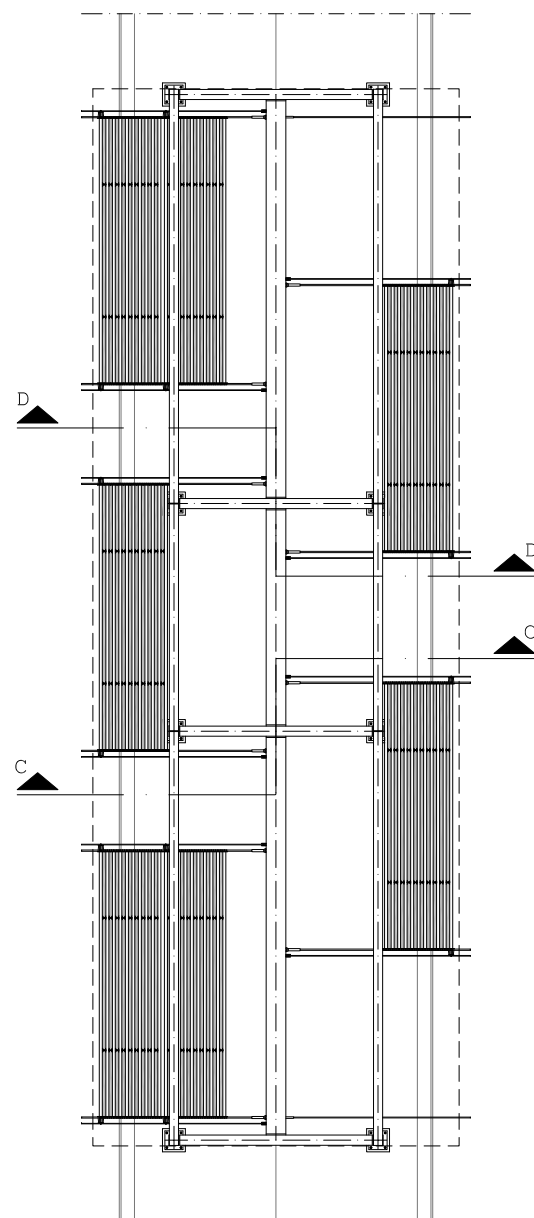
# 6.39



SEZIONE C-C



SEZIONE D-D



PIANTA\_SCALA 1:100



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura  
e Società

Corso di Laurea Specialistica  
TS6

A.A. 2009/2010

### Un Velarium al Politecnico

Progetto di un sistema  
di ombreggiamento retrattile  
per piazza Gardella

Studente:  
Pierfederico Ferrario di Tor Vajana  
Matricola: 709095

Relatrice:  
Prof.ssa Alessandra Zanelli

Correlatore:  
Ing. Paolo Beccarelli

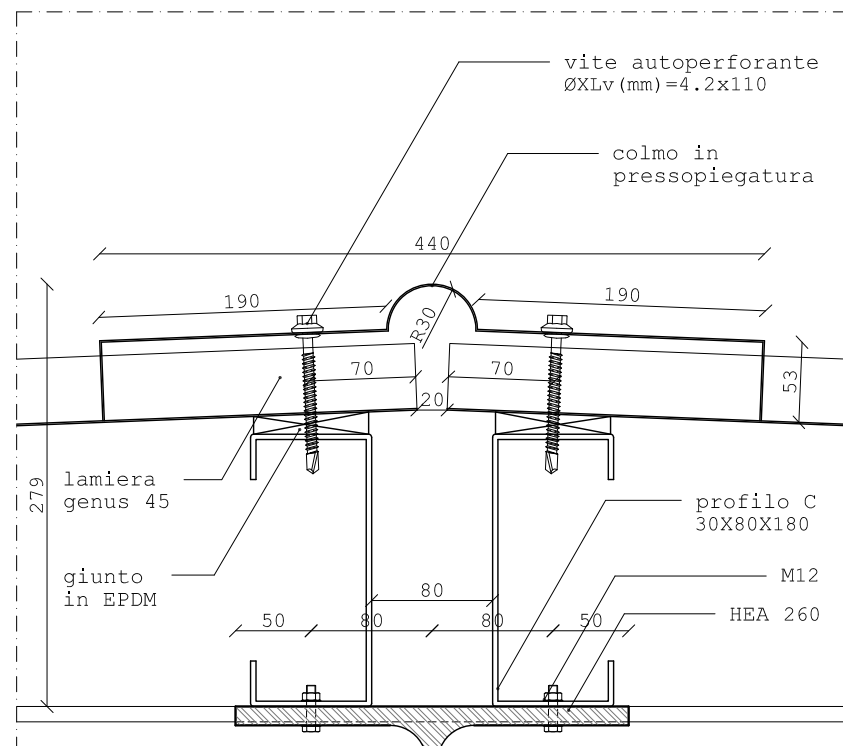
### COPERTURA

COLLEGAMENTO COPERTURA  
RETICOLO TRAVI

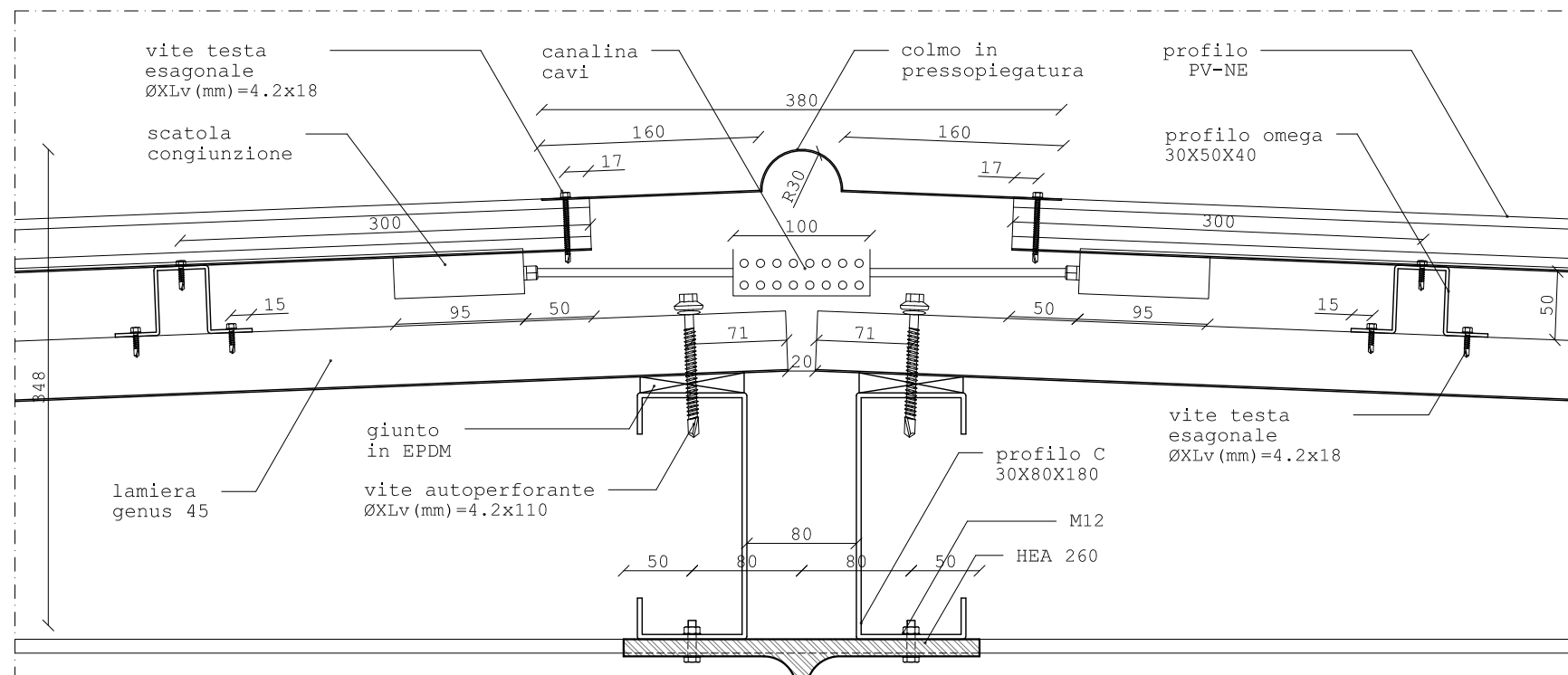
SCALA 1:5

### TAVOLA

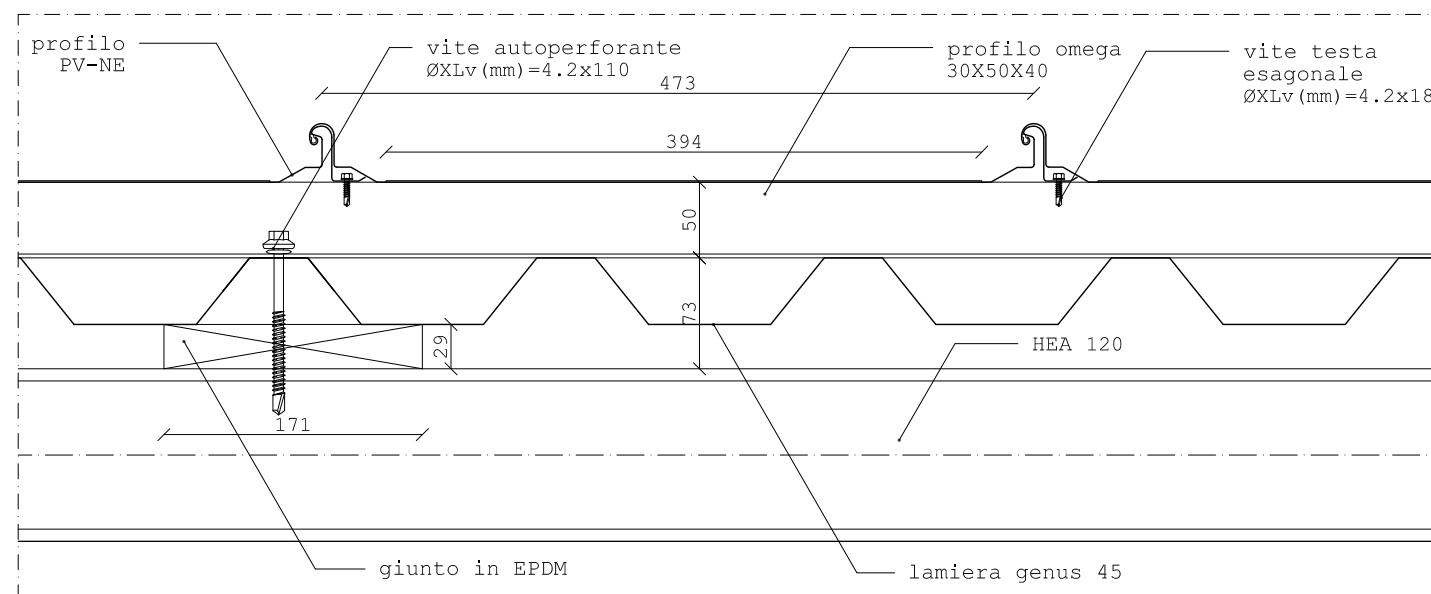
# 6.40



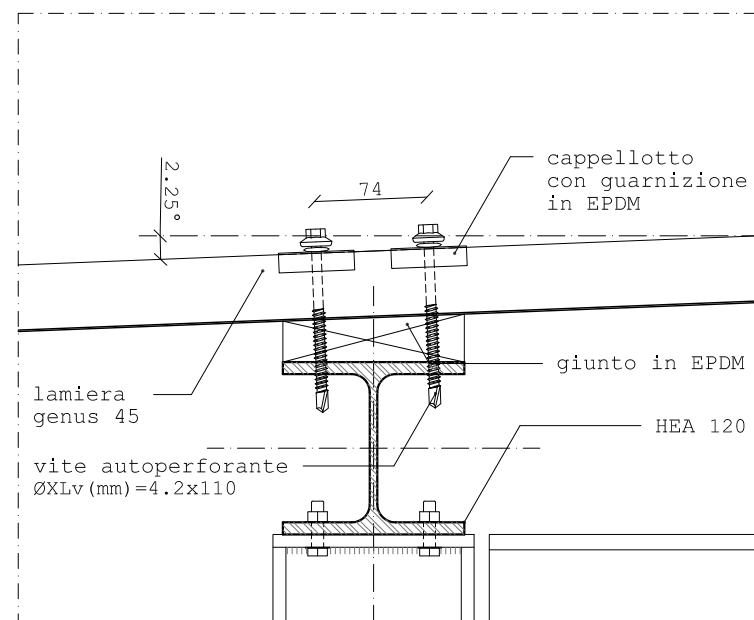
COLLEGAMENTO COPERTURA CON TRAVE  
CENTRALE HEA 260, COLMO ESTERNO



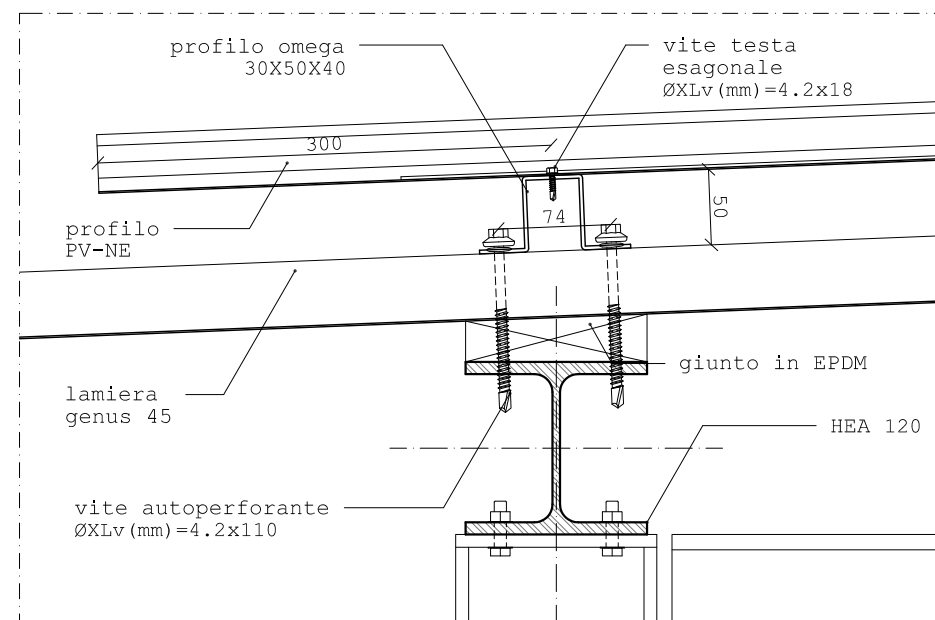
COLLEGAMENTO COPERTURA CON TRAVE  
CENTRALE HEA 260, COLMO INTERNO



SEZIONE C-C



COLLEGAMENTO COPERTURA CON TRAVE  
LATERALE HEA 120, PANNELLO ESTERNO



COLLEGAMENTO COPERTURA CON TRAVE  
LATERALE HEA 120





## CONCLUSIONE

La progettazione di un sistema di ombreggiamento per piazza Gardella ha avuto come scopo quello di affrontare un progetto semplice, concreto e funzionale, il quale è stato approfondito sotto vari aspetti che ne determinano una forte coerenza. Durante lo svolgimento

di questo lavoro, si sono messe alla prova le conoscenze apprese come studente della Facoltà di Architettura. Il risultato finale è frutto dell'esperienza accumulata in questi anni di studio e consiste in una sintesi delle capacità acquisite preposte allo svolgimento delle attività che caratterizzano il processo di progettazione architettonica.

La struttura di tende retrattili, presentata nei precedenti capitoli, oltre a proporre una soluzione relativa al miglioramento del benessere dei fruitori della piazza, ha anche l'effetto di valorizzare lo spazio che va ad interessare. La nuova struttura, dotata di grande leggerezza, si unisce all'esistente senza innescare conflitti, ma ne amplifica gli aspetti pregevoli e pone rimedio alle problematiche principali. Piazza Gardella è oggi uno dei più importanti luoghi di aggregazione del Campus Leonardo del Politecnico di Milano. Dotandola di una struttura, che ne aumenti le potenzialità di utilizzo, potrebbe elevarsi a luogo simbolo dell'Ateneo, entro il quale si identificherebbero gli studenti.





## Bibliografia

### Libri di testo

- G. Albano, *Pratica strutturale: azioni sulle strutture*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna, 2008.
- A. Bahamòn, *The magic of tents: transforming space*, Harper design international, New York, 2004.
- H. Berger, *Light structures, structures of light*, Birkhauser, Basilea, 1996.
- C. Bernuzzi, *Proporzionamento di strutture in acciaio*, Polipress, Milano, 2006.
- H. Bogner-Balz, A. Zanelli, (a cura di), *Tensinet symposium: ephemeral architecture, time and textile*, Clup, Milano, 2007.
- K. Boxer, R. Scheuermann, *Tensile architecture in the urban context*, Butterworth architecture, Oxford, 1996.
- A. Campioli, A. Zanelli, (a cura di), *Architettura tessile: progettare e costruire membrane e scocche*, Il sole-24 ore, Milano, 2009.
- A. Capasso, *Le tensostrutture a membrana per l'architettura*, Maggioli, Rimini, 1993.
- G. Elli, *La ricerca della forma*, rel. G. Novati, Politecnico, Milano, 2007/08.
- S. Florida, *Atlante delle strutture in acciaio*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2007.
- S. Florida, *Acciaio collegamenti nelle strutture*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2003.
- B. Forster, M. Mollaert, A. Zanelli, (a cura di), *Progettare con le membrane*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna, 2007.
- M. Guggino, (a cura di), *Coperture leggere in tensione: tensostrutture e sistemi pneumatici: materiali bibliografici*, Biblioteca Centrale della Facoltà di Architettura, Palermo, 2006.

- O. Herwig, *Featherweights: light, mobile and floating architecture*, Prestel, Monaco, 2003.
- R. Kronenburg, *Portable architecture*, Birkhauser, Basilea, 2008.
- M. Majowiecki, *Tensostrutture: progetto e verifica*, CREA, Massa, 1994.
- L. Muratore, *I toldos: permanenze attive dell'elemento vernacolo nella città di Siviglia*, rel. M. Bottero, correl. P. Vincenzo, Politecnico, Milano, 2001/02.
- S. Narayanan, *Space structures: principle and practice*, Multi-Science Publishing, Brentwood, 2006.
- S. Schanz, (a cura di), F. Otto, B. Rasch: *Finding form*, Axel Menges, Stoccarda, 1995.
- H. Schock, *Soft shells: design and technology of tensile architecture*, Birkhauser, Basilea, 1997.
- H. Schock, *Atlante delle tensostrutture*, UTET, Torino, 2001.
- D. L. Schodek, *Strutture*, Pàtron Editore, Bologna, 2004.
- M. Vitali, *Il Campus Bonardi: alternative e fattibilità per un processo di riqualificazione urbana*, rel. E. Mussinelli, Politecnico, Milano, 2002/03.
- W. Zalewski, E. Allen, *Shaping structures: statics*, Wiley, New York, 1998.
- A. Zanelli, *Trasportabile trasformabile: idee e tecniche per architetture in movimento*, Clup, Milano, 2003.

#### **Articoli riviste**

- S. J. Armijos, *Designing fabric structures*, in 'Fabric Architecture', settembre/ottobre 2008.
- F. Escrig, *Fifty years of tensile structures: where do we go from here?*, in 'Fabric Architecture', maggio/giugno 2006.

## **Normative**

DM 160196 - "Norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

EN 1991-1-1 - "Eurocode 1: Actions on structures - Part 1: General actions - Densities, self weight, imposed loads for buildings".

EN 1991-1-3 - "Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-3: General actions - Snow loads".

UNI EN 12385-10: 2005 - "Funi di acciaio - Sicurezza - Parte 10 -Funi spirroidali per usi strutturali generali".

UNI EN 14501:2006 - "Tende e chiusure oscuranti, benessere termico e visivo. Caratteristiche prestazionali e classificazione"

UNI EN 13782:2006 - "Temporary strucutres - Tents - Safety".

## **Siti internet associazioni**

[www.architetturatessile.polimi.it](http://www.architetturatessile.polimi.it)

[www.tensinet.com](http://www.tensinet.com)

[www.ifai.com](http://www.ifai.com) (Industrial Fabrics Association International)

## **Siti internet aziende**

[www.alga.it](http://www.alga.it)

[www.canobbio.com](http://www.canobbio.com)

[www.condesa.com](http://www.condesa.com)

[www.duvalldesign.com](http://www.duvalldesign.com)

[www.ferrari-architecture.com](http://www.ferrari-architecture.com)

[www.gaudenzi.it](http://www.gaudenzi.it)

[www.itc-funi.com](http://www.itc-funi.com)

[www.modelsystemitalia.it](http://www.modelsystemitalia.it)

[www.pfeifer.de](http://www.pfeifer.de)

[www.redaellitensoteci.com](http://www.redaellitensoteci.com)

[www.silentgliss.it](http://www.silentgliss.it)

[www.tecfi.it](http://www.tecfi.it)

[www.tenarafabric.com](http://www.tenarafabric.com)

[www.unimetal.net](http://www.unimetal.net)

[www.unisolar.com](http://www.unisolar.com)

[www.vsindustex.de](http://www.vsindustex.de)