



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Edile – Architettura

Corso di laurea magistrale in Ingegneria Edile-Architettura

The New Bouwkunde

Proposta tra architettura e sostenibilità per la nuova sede della
Facoltà di Architettura del T.U.Delft.

Relatore: Prof. Gabriele MASERA
Co-relatore: Prof. Ettore ZAMBELLI
Prof. Matteo COLOMBO

Tesi di Laurea di:

Umberto MAGNI Matr. 669635

Maurizio PARRI Matr. 669297

Anno Accademico 2009 – 2010

Indice

Abstract	7
Capitolo 1 - INQUADRAMENTO GENERALE	
1.1 Premessa	11
1.2 Olanda, Zuid Holland e la "Randstad"	11
1.3 La città di Delft	14
1.3.1 La storia	14
1.3.2 La fisionomia attuale della città.....	15
1.3.3 La viabilità cittadina.....	17
1.3.4 Il clima.....	19
1.4 TU Delft Campus e il Bouwkunde.....	21
1.4.1 Storia del Campus	21
1.4.2 Il campus tra passato e futuro: situazione attuale	23
1.5 L'Olanda e l'architettura.....	31
1.6 Conclusioni	32
1.7 Bibliografia	33
2.1 Presentazione del bando.....	37
2.2 Il processo conoscitivo	38
2.3 Un simbolo.....	39
2.4 L'edificio del Bouwkunde	41
2.5 Metodologie nell'insegnamento e statistiche.....	43
2.6 L'area di progetto e la situazione attuale	46
2.7 Analogie e discrepanze con il vicino campus di Utrecht	49
2.8 Riferimenti progettuali.....	52
2.9 Un percorso progettuale a tappe.....	61
2.9.1 Elaborazione planimetrica	62
2.9.2 Elaborazione prospettica.....	73
Capitolo 2 - PROGETTO ARCHITETTONICO	
2.10 Il progetto.....	77
2.10.1 Planivolumetrico	77
2.10.2 Piante e sezioni	80
2.10.3 Prospetti e viste d'esterno.....	95
2.10.4 Antincendio	100
2.11 Conclusioni	106
2.12 Bibliografia	107
Capitolo 3 - PROGETTO STRUTTURALE	
3.1 Premessa	111
3.2 Vita utile.....	111
3.3 Carichi	111
3.3.1 Azioni permanenti (G)	111

3.3.2 Azioni variabili (Q).....	113
3.4 Combinazioni.....	118
3.5 Descrizione del progetto e modellizzazione strutturale.....	119
3.6 Calcoli strutturali.....	122
3.6.1 Solai 122	
3.6.2 Travi e loro ottimizzazione.....	126
3.6.3 Copertura.....	154
3.6.4 Pilastrini.....	163
3.6.5 Connessione trave-pilastro.....	165
3.6.6 Sottostruttura della facciata.....	168
3.6.7 Controventi.....	174
3.7 Conclusioni.....	177
3.8 Bibliografia.....	178

Capitolo 4 - PROGETTO ENERGETICO-TECNOLOGICO

4.1 Premessa.....	181
4.2 Inquadramento del problema energetico.....	181
4.2.1 Obiettivi.....	181
4.2.2 Problematiche.....	181
4.2.3 Metodo di analisi.....	182
4.3 Strategie energetiche.....	182
4.3.1 Periodo invernale.....	182
4.3.2 Periodo estivo.....	183
4.4 Ventilazione naturale.....	185
4.4.1 Concept design.....	186
4.4.2 Progettazione preliminare.....	188
4.5 Analisi comportamento dinamico edificio.....	198
4.5.1 Ottimizzazione delle chiusure trasparenti.....	200
4.5.2 Ottimizzazione delle schermature.....	203
4.5.3 Ottimizzazione involucro.....	207
4.5.4 Night flushing.....	208
4.5.5 Fabbisogno energetico.....	210
4.6 Energie rinnovabili.....	212
4.6.1 Sistema fotovoltaico.....	213
4.6.2 Sistema di recupero acque piovane.....	221
4.7 Abaco delle soluzioni tecnologiche adottate.....	233
4.7.1 Chiusure.....	234
4.7.2 Partizioni.....	246
4.8.1 Verifica acustica.....	251
4.9 Approfondimento tecnologico della facciata.....	256
4.10 Conclusioni.....	259
4.11 Bibliografia.....	260
6.1 Premessa.....	263
6.2 Luce Naturale.....	271

6.2.1 Fronte Sud.....	271
6.2.2 Fronte Ovest.....	288
6.2.3 Fronte Est.....	304
6.2.4 Aule interne edificio: Aula disegno tecnico	318
6.2.5 Aule interne edificio: Aula plastici e lavori manuali.....	328
6.3 Luce Artificiale.....	338
6.3.1 Ecolampade fluorescenti o LED.....	338
6.3.2 Il confronto tra tecnologie	341
6.3.3 Interazione tra luce artificiale e luce naturale.....	350
6.4 Conclusioni	353
6.5 Bibliografia.....	354
7.1 Premessa	358
7.2 Definizione dell'oggetto del progetto.....	359
7.2.1 Oggetto del progetto	359
7.2.2 Luogo.....	359
7.2.3 Contesto.....	360
7.2.4 Background	361
7.2.5 Il bando di gara.....	362
7.3 Costruzione del modello	364
7.3.1 Definizione di attori e obiettivi	365
7.3.2 Definizione dei vincoli.....	367
7.3.3 Definizione delle alternative.....	370
7.4 Esplicitazione delle scelte e del concept di progetto.....	374
7.5 Definizione del progetto.....	378
7.5.1 Descrizione del progetto.....	378
7.5.2 Definizione.....	379
7.6 Conclusione del processo.....	399
7.7 Conclusioni	401
7.8 Bibliografia.....	402
Ringraziamenti	414

Abstract

“The New Bouwkunde” è il progetto della nuova sede di Architettura all’interno del campus universitario della città di Delft in Olanda. L’edificio vuole imporre la sua immagine in un contesto fortemente strutturato ed in continua evoluzione.

Elemento architettonico di rilievo è la scocca metallica di rivestimento, che gioca in modo provocatorio su variazioni nella tonalità del rosso, in modo ritmico e cadenzato, rievocando i lunghi fronti residenziali olandesi. Architettonicamente essa delimita gli spazi superiori dell’edificio, dove si concentrano le attività di studio ed amministrative, e lascia scoperto il basamento, spazio poroso tra esterno e interno, pubblico e privato, fruibile come semplice attraversamento del lotto o come spazio urbano coperto.

La scocca è simbolo della progettazione multidisciplinare, in quanto sintesi di una serie di valutazioni ed analisi in campo strutturale, energetico, tecnologico e illuminotecnico.

La struttura leggera del guscio metallico si contrappone a quella massiva dei solai alveolari e delle travi miste in acciaio e calcestruzzo, scelte dopo un’analisi comparativa con altre ipotesi strutturali. La soluzione adottata offre notevoli vantaggi in termini di rapidità di costruzione e di sfruttamento delle caratteristiche meccaniche dei materiali scelti. Le analisi energetiche dinamiche effettuate sul sistema edificio hanno consentito di ottimizzare il comportamento passivo dell’intero complesso e di sfruttare al meglio le risorse energetiche rinnovabili disponibili. Fra queste, particolare attenzione è stata posta nello studio della ventilazione naturale, dello sfruttamento dell’energia fotovoltaica e del recupero delle acque piovane. L’approfondimento illuminotecnico ha permesso di arrivare ad una riduzione dei consumi elettrici degli ambienti, sfruttando il più possibile la luce naturale e i sistemi a basso consumo.

Viste le dimensioni dell’intervento è stata posta un’attenzione anche alla gestione del processo progettuale, attraverso un metodo di organizzazione applicabile dal recepimento del bando fino alle fasi di cantiere.

Abstract (inglese)

“The new Bouwkunde” is the project of the new Architectural seat inside the university

Campus of Delf in Holland. The building shows itself in a highly structured developing context.

The most important architectural element is the metal shell coverage which provocatively plays on different nuances of red colour in a rhythmical way, calling back the long residential front skyline of Holland.

It architecturally delimits the higher spaces of the building, where the classroom and administrative activities are concentrated. It leaves uncovered the basement (the pore space between the interior and exterior, public and private, useful as a simply crossing of field or as a urban covered area).

The shell is the symbol of the multidisciplinary design because it is the summary of a series of valuations and analysis based on a structural, energetic, technological and lighting context.

The light structure of the shell is surely different to the massive structure of the hollow core slab and composite steel and concrete beam, chosen after an analysis which compares with other structural hypothesis.

The chosen solution offers remarkable advantages, thanks to the rapidity of construction

and the exploitation of the mechanical behaviour of the materials.

The dynamic energetic analysis made on the building, have given the possibility to improve the passive behaviour of the whole building and to exploit in a better way the energetic renewed resources available.

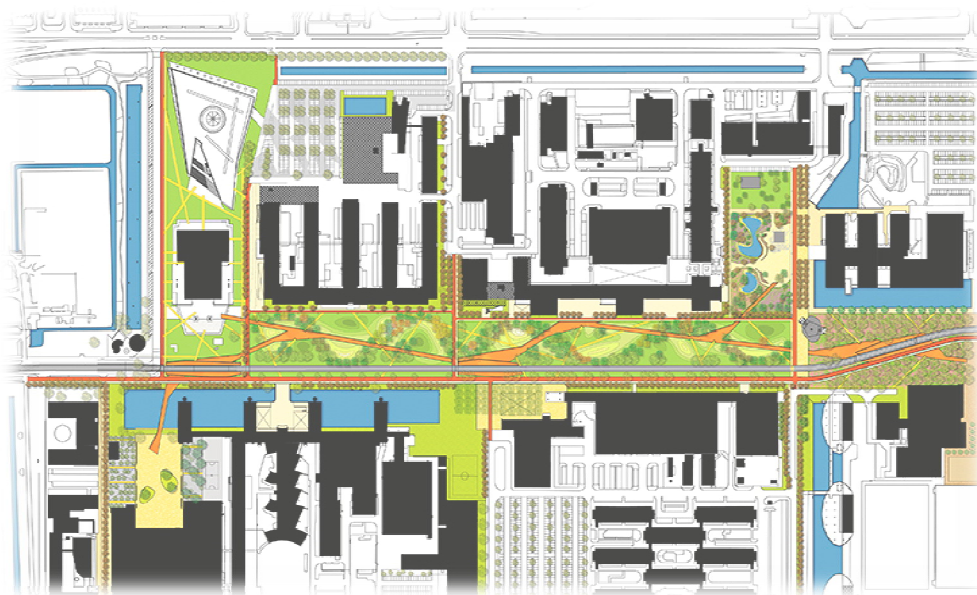
About this, we have to pay attention to the study of natural ventilation, of the exploitation of the PV energy and of the rainwater recovery.

Thanks to the lighting study we have arrived to the reduction of the interior electric consumptions exploiting the natural light and the low-power systems.

Owing to the important dimensions of the installation, a particular attention has been given to the management of the whole planning, suggesting a new method of organisation adoptable from receiving of the notice until the steps of the buildingsite.

1

INQUADRAMENTO GENERALE



1.1 Premessa

L'esposizione dei contenuti del capitolo segue un percorso di avvicinamento alla città di Delft e di conseguenza all'area di progetto partendo da un inquadramento generale sulla regione olandese in cui ci troviamo fino ad arrivare al campus universitario del TU Delft in cui è ubicata l'area di progetto.

1.2 Olanda, Zuid Holland e la "Randstad"

Partendo perciò da una visione generale iniziamo con l'inquadrare le caratteristiche esclusive del territorio olandese. Come noto a molti l'Olanda è un paese con la maggior parte delle terre strappate al mare. I territori sono per lo più pianeggianti e al di sotto della quota del livello del mare. Un complesso sistema di dighe mantiene l'acqua distante dai territori anche quelli più interni.

La città di Delft è situata nell'Olanda meridionale, una delle dodici province in cui sono divisi i Paesi Bassi. Queste rappresentano il livello amministrativo intermedio tra le amministrazioni comunali e il governo nazionale.

Tra le dodici province la "Zuid-Holland" (Olanda meridionale) risulta la più popolata in rapporto ad un'estensione territoriale nella media per una densità abitativa di 1225 ab/km².

Tabella 1 Province olandesi

Provincia	Abitanti (ab.)	Estens. (km ²)
Limburgo	1143000	2167
Brabante Settentrionale	2407000	4938
Zelanda	378000	1792
Olanda Meridionale	3453000	2860
Olanda Settentrionale	2584000	2660
Utrecht	1159000	1356
Gheldria	1968000	4995
Flevoland	356000	1426
Overijssel	1106000	3337
Drenthe	482000	2652
Frisia	643000	3361
Groninga	576000	2344

Figura 1 Mappa dei Paesi Bassi



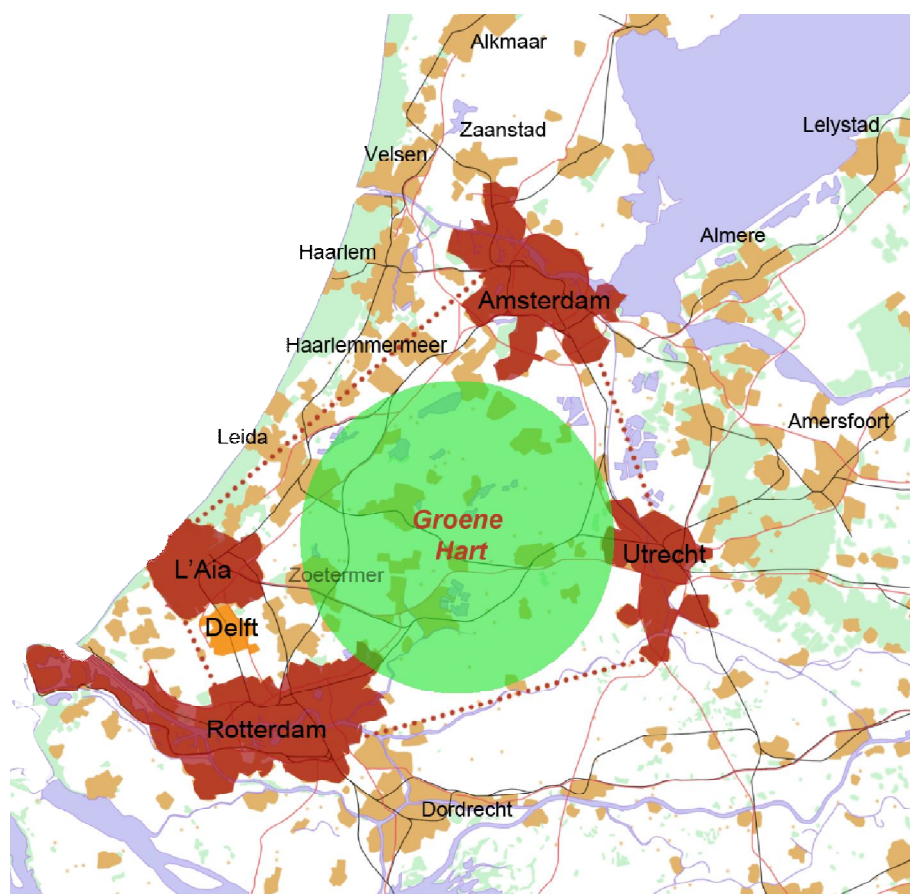
Oltre alla cittadina di Delft altre sono le città importanti in tale regione; basti pensare al porto commerciale di Rotterdam e al capoluogo di provincia (se così può definirsi) L'Aia.

La Randstad

La città di Delft si inserisce quindi in un contesto urbano di primissimo rilievo extraprovinciale. Stretta fra L'Aia (a nord) e Rotterdam (a sud), rientra all'interno della *Randstad* (letteralmente "città bordo" o "città anello", nome suggerito da un aviatore olandese che nel 1937, durante un volo sopra Amsterdam, che notò la particolare morfologia), una conurbazione comprendente 17 città disposte a catena attorno ad un *Groene Hart* ("cuore verde") e collegate da una rete viaria, ferroviaria, fluviale e ciclabile. Questa "regione" rappresenta uno dei principali agglomerati urbani europei ed un raro esempio di sistema metropolitano policentrico; ad esempio: Amsterdam, la capitale, è il principale centro finanziario; L'Aia, capitale "politica", ospita gli organi governativi ed amministrativi; Rotterdam, primo porto d'Europa e sede di importanti industrie pesanti, è il centro logistico; Utrecht, con l'ateneo più grande della nazione, è uno dei principali centri culturali.

Si sta facendo riferimento ad uno tra i più vasti agglomerati metropolitani d'Europa. La parte settentrionale di tale conurbazione comprende la città di Amsterdam mentre l'ala meridionale comprende la fascia da L'Aia a Rotterdam con Delft posta come baricentro virtuale della situazione.

Figura 2 La Randstad



Con i suoi 7,5 milioni di abitanti, ovvero il 46% della popolazione di tutti i Paesi Bassi, distribuiti su di una superficie pari al 16% del territorio olandese, la Randstad è la regione più densamente popolata d'Europa (1224 ab/km²)

nonché la prima regione metropolitana al mondo per contributo all'economia nazionale.

Grafico 1 Densità di popolazione nelle regioni metropolitane europee

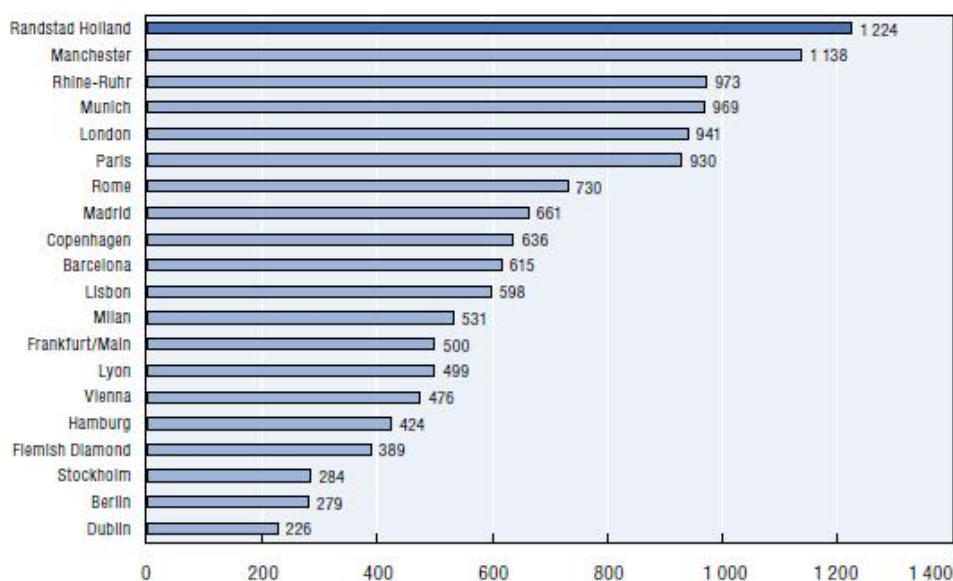
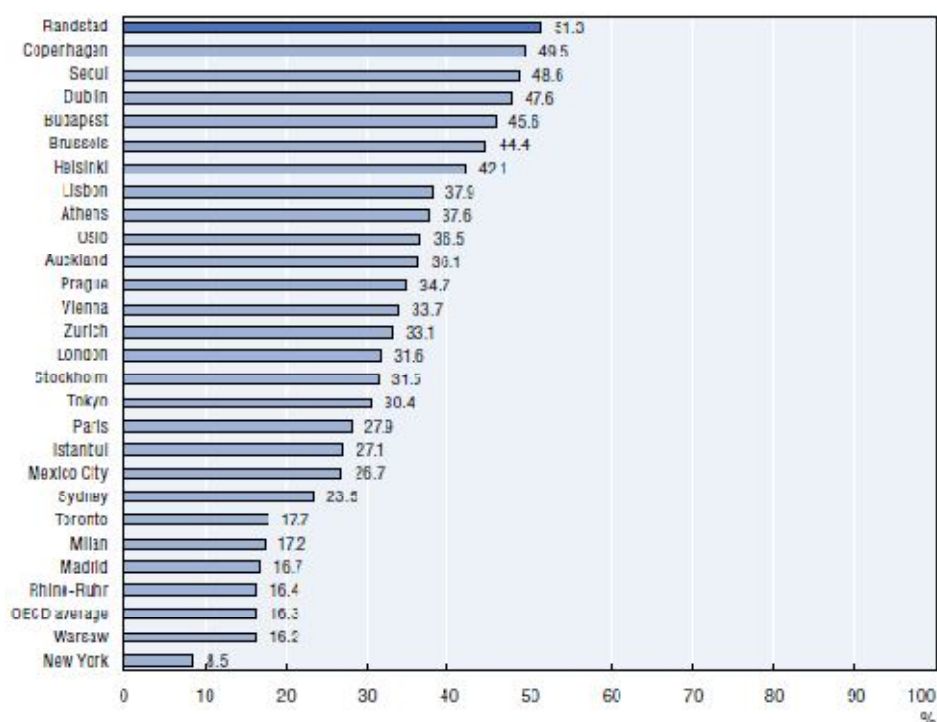


Grafico 2 Classifica delle regioni metropolitane per contributo alle economie nazionali



E' esatto definire la Randstad come un grande 'agglomerato urbano' all'interno del quale le città si fondono tra loro interfacciandosi con una vasta rete di servizi per la mobilità e il trasporto viario e marittimo dei canali. E' importante soffermarsi sulla capacità del territorio di usufruire di servizi applicati a scala territoriale in modo da creare un unico grande sistema che funziona con estrema efficienza e precisione. In questo modo è consentito lo sviluppo anche al di fuori dei centri cittadini perché l'individuo si sente sempre parte di un unico

sistema e da questo trae beneficio. È possibile vivere non solo nelle zone urbane ma anche in quelle extra urbane perché le infrastrutture consentono spostamenti rapidi e puntuali. Tale efficienza nei servizi è stata “testata” durante il viaggio di studio sull’area di progetto; “i treni spaccano il secondo” e i mezzi pubblici sono estremamente puntuali; le biciclette rendono quasi superfluo l’uso della macchina che nella gerarchia delle precedenze stradali è al terzo posto dopo (in ordine) cicli e pedoni. La sensazione che si prova è di vivere effettivamente in una grande città i cui confini non si percepiscono ma che ogni tanto ti sembra scorgere là dove il paesaggio naturale irrompe con la tipicità delle zone olandesi.

1.3 La città di Delft

Come si evince dal paragrafo precedente la città è inserita in un contesto di primissimo livello: fortemente urbanizzato, storicizzato e strutturato nei servizi legati alla mobilità e non solo.

Procediamo quindi con un certo ordine nell’esplicitare i caratteri di cui si compone l’immagine della cittadina.

1.3.1 La storia

La città di Delft si sviluppa all’inizio del XII secolo attorno all’*Oude Delf*, il canale vecchio, da cui la città trae il nome. Nel 1246 viene riconosciuta come città dal conte Guglielmo II d’Olanda. La successiva estensione del sistema di canali trova il suo culmine nella costruzione del *Delfshavense Schie Kanaal* nel 1389, che dota Delft di uno sbocco sul mare e ne favorisce lo sviluppo commerciale e industriale (tessuti, birra). Ricostruita due volte, la prima in seguito all’incendio del 1536, la seconda dopo l’esplosione di un deposito di polvere da sparo nel 1654, Delft assume la sua fisionomia definitiva nel *Gouden Eeuw* (Secolo d’Oro, così è chiamato il Seicento olandese), periodo di massima fioritura economica, culturale e scientifica dei Paesi Bassi.

L’economia locale subisce ingenti danni a causa dell’incipiente contaminazione dell’acqua dei canali che costringe 180 dei 200 birrai a chiudere le proprie botteghe, ma la presenza del quartier generale della Compagnia Olandese delle Indie Orientali garantisce comunque prosperità alla città. Contemporaneamente Delft vive il proprio momento di massimo splendore culturale e artistico con la Scuola di Delft, corrente che sviluppa diversi generi pittorici (natura morta, pittura paesaggistica, pittura di genere) e che vede Johannes Vermeer come massimo esponente. Nel 1645 inizia anche la produzione delle celebri porcellane bianche e blu ad opera della Royal Delft.

Il Settecento e la prima metà dell’Ottocento segnano un lento declino della città; nel 1842, al fine di colmare il gap tecnologico con gli stati confinanti, viene fondata la *Koninklijke Akademie*, che diventerà l’attuale TU Delft, prima industria/attività cittadina per numero di addetti.

1.3.2 La fisionomia attuale della città

Da come è stato possibile capire dal paragrafo precedente lo sviluppo urbano inizia dall'età medievale; il centro cittadino rimane praticamente immutato nel corso dei secoli. Ancora ora è possibile riconoscere l'antico "rettangolo urbano" del borgo delimitato dal canale più importante: il "*Rijnschie Kanaal*" da cui si snodano gli altri canali che innervano la città.



Figura 3 il centro storico di Delft in una raffigurazione del tempo



Figura 4 il centro storico di Delft e le aree limitrofe

L'impostazione del centro è rimasta tale ed è ancora oggi ben visibile attraverso una vista da satellite.

All'interno della città gli edifici storici di maggior rilievo sono rappresentati dalle due chiese cittadine:

la
e la

Dal confronto delle due immagini si vede quanto i confini cittadini si siano espansi e che la città conti anche su presenze territoriali industriali e di ricerca come il campus universitario. Si fa notare come l'estensione del campus sia all'incirca la stessa del centro cittadino.

Risulta chiaro che la cittadina abbia intrapreso politiche di sviluppo attraverso gli anni e non ultimo l'inserimento nella Randstad giochi un ruolo fondamentale

Oggi giorno la città copre un'area pari a 24,08 km² su un terreno pressoché pianeggiante e a livello del mare. Conta un'alta densità abitativa: circa 4000 ab./km² a fronte di una popolazione pari a 96.168 ab.

Tabella 2 diagnosi anagrafica della popolazione

age	prognosis		in-/decrease 2002-2005 in %
	1-1-2002	1-1-2005	
0-14	15.096	14.770	-2,2
15-29	24.517	23.875	-2,6
30-49	29.951	29.525	-1,4
50-64	14.806	15.850	7,1
65+	12.591	12.580	-0,1
total	96.961	96.600	-0,4

source: Registry Office and ICT/Research & Statistics

Tabella 3 censimento 1880-2002

January 1st.	men	women	total
1880	12.592	13.436	26.028
1900	15.296	16.293	31.589
1920	19.547	18.886	38.433
1940	27.541	27.416	54.957
1960	37.974	35.349	73.323
1980	42.940	40.971	83.911
2000	50.299	45.802	96.101
2001	50.420	46.021	96.441
2002	50.636	46.325	96.961
of which other nationalities			
abs.	4.267	3.389	7.656
%	8	7	8

source: CBS and Registry Office

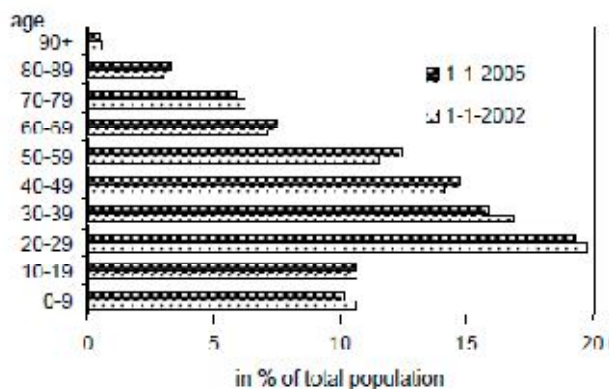


Grafico 3 situazione anagrafica della popolazione

Da dati statistici si può affermare che il trend di sviluppo della popolazione segue quello cittadino portando il numero di abitanti dai 15000 del 1650 a quasi 100000 dei giorni nostri. Si può affermare che la popolazione sia dal punto di vista anagrafico mediamente giovane.

Alla base di tale situazione vi sono almeno tre fattori che innalzano esponenzialmente le potenzialità di sviluppo:

- l'appartenenza della zona alla Randstad e dei servizi che ne derivano
- la presenza di una delle 3 università tecniche nazionali
- un terreno pianeggiante facilmente sfruttabile

La presenza del campus universitario crea un certo fermento cittadino nel campo della ricerca e dell'industria e innesca una serie di dinamiche economiche di sviluppo. In più abbassa l'età della popolazione facendo leva sul numero di giovani studenti.

1.3.3 La viabilità cittadina

A fronte di ciò che è stato detto risulta interessante capire quali siano le possibilità di trasporto pubblico presenti a Delft; va ricordato che la città gode di una posizione strategica che la vede:

9 km da L'Aia, 14 km da Rotterdam e 10 dal Rotterdam Airport Zestienhoven, nonchè 53 km Amsterdam (Airport Schiphol).

A differenza della mentalità italiana che pone l'automobile personale alla base dei singoli spostamenti in Olanda l'automobile non viene vista come tale. Come già detto l'automobile in una scala di precedenze deve cedere il passo al pedone e alla bicicletta. Il sistema deve quindi essere supportato con un adeguato servizio pubblico di locomozione. Analizziamo due tipologie di trasporto: il treno e il tram.



Figura 5 rete ferroviaria olandese

La rete ferroviaria

La rete ferroviaria olandese risulta capillare ed efficiente. La sensazione che si ha usufruendo del treno non è certo quella di essere chiusi in una cabina; l'assenza di rumore e la puntualità del servizio fanno il resto.

La rete si estende a tutte le maggiori città olandesi e collega in poco tempo anche gli estremi del paese. Delft è inserita in un programma di collegamenti orari con le maggiori città quali Rotterdam, Utrecht, Den Haag e Amsterdam.

La rete tranviaria e bus

Si riporta successivamente come esempio uno stralcio della pianta della rete tramviaria per fare capire quanto sia densa la rete di comunicazione. Ciò ci permette di capire che Delft si collega con il centro di Den Haag attraverso linea 1 del tram e del bus mentre con i paesi a sud est di Den Haag con la linea 19; tale linea verrà potenziata e sarà quella che collegherà direttamente il TU Delft all'intera rete transitando davanti alla stazione ferroviaria di Delft. In questo modo si assicura il collegamento con un mezzo di portata nazionale e si allarga il bacino d'utenza del Campus.

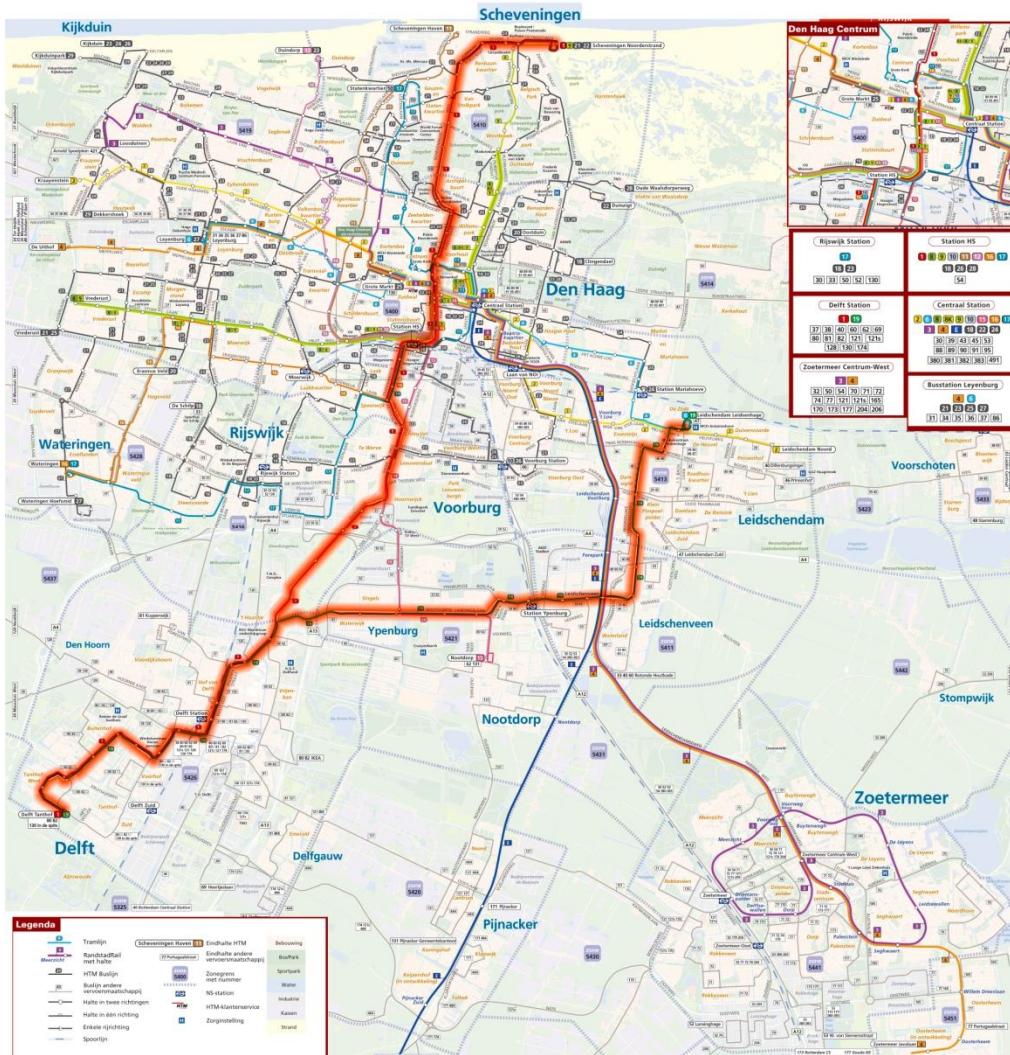


Figura 6 rete tramviaria tra Delft e Den Haag



Figura 7 itinerario ciclistico "Middenholland"

La bicicletta

Trattando l'Olanda non si può non parlare del mezzo per eccellenza: la bicicletta. Tale mezzo viene preferito a tutti gli altri tipi di trasporto per coprire le brevi distanze. Tale "fanatismo" è giustificato dalla più che buona situazione dei trasporti pubblici che incentiva l'uso del ciclo. Esistono itinerari ciclabili sparsi per l'Olanda al fine di promuovere tale mezzo anche dal punto di vista turistico. In figura si riporta l'itinerario per tutta l'olanda centrale.

1.3.4 Il clima

Il clima dei Paesi Bassi è un clima di tipo oceanico temperato: gli inverni non sono eccessivamente freddi e le temperature medie invernali raramente calano al di sotto dello zero. Nelle zone interne sud orientali che risentono delle masse d'aria continentali la temperatura arriva tranquillamente sotto lo zero e si avvertono gelate. In generale l'estate non è mai troppo calda in entrambe le zone. La città di Delft ha un andamento delle temperature medie piuttosto standard con valori massimi nei periodi estivi di 25°C circa e valori minimi in periodi invernali sopra lo zero.

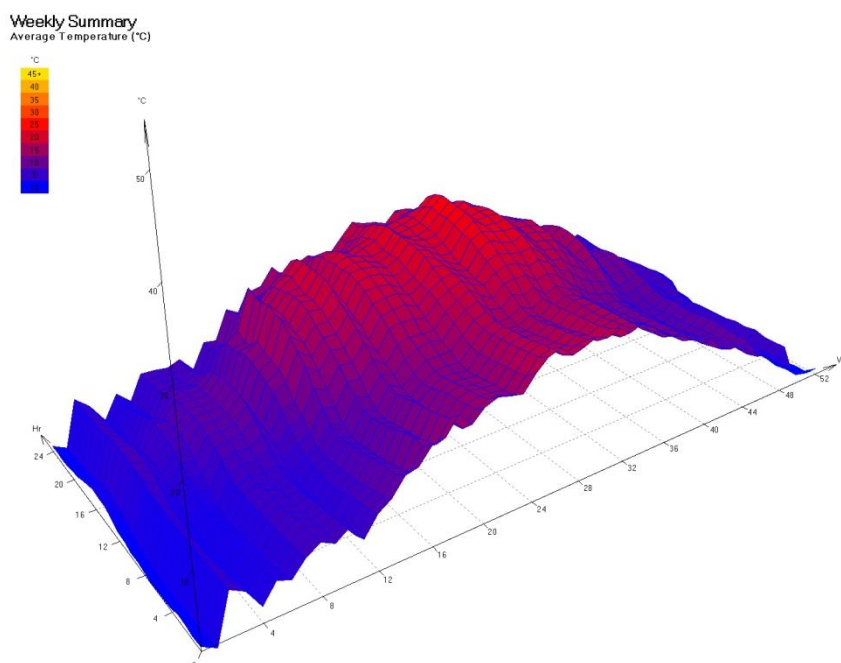
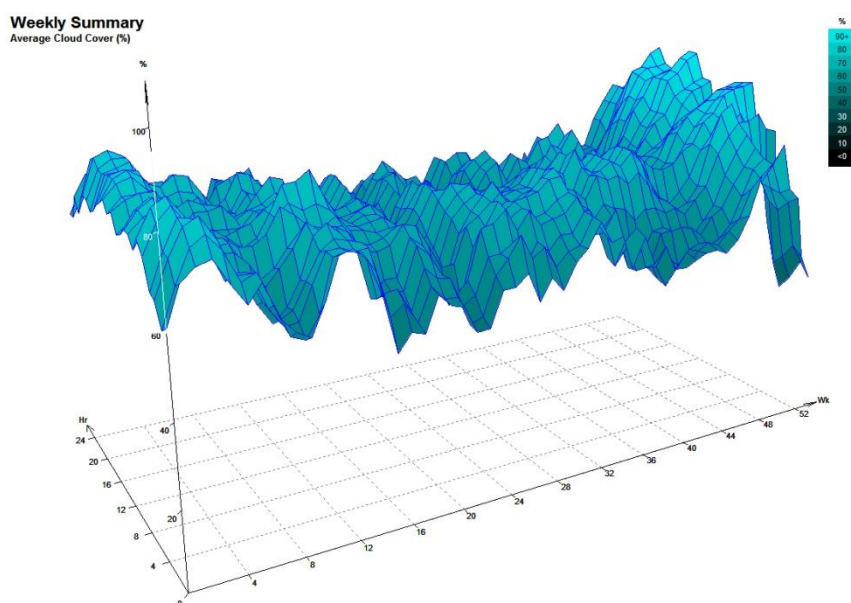


Grafico 4 andamento delle temperature medie

Grafico 5 andamento della nuvolosità



Le giornate nuvolose o parzialmente coperte non sono mai così rare. Fenomeni nevosi si manifestano ma la neve non persiste al suolo. Le precipitazioni sono costanti e ben distribuite all'interno dell'anno. Tale trend viene confermato dalle rilevazioni della città di Delft.

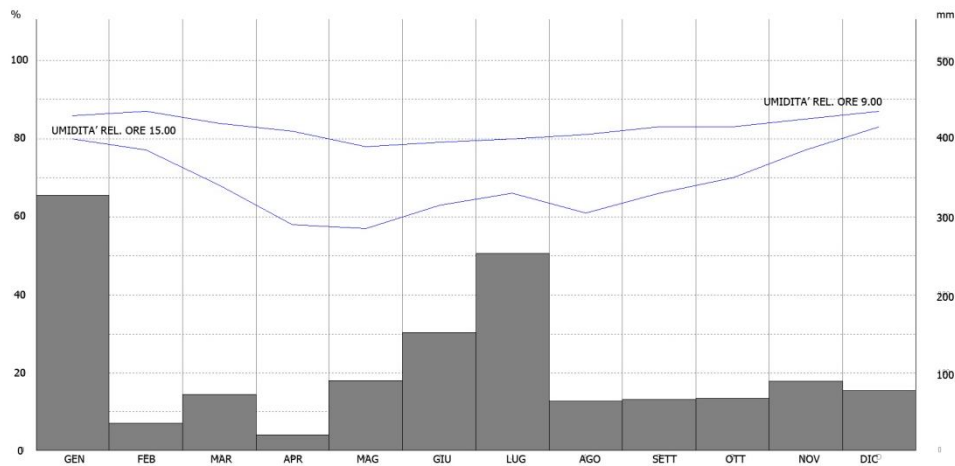
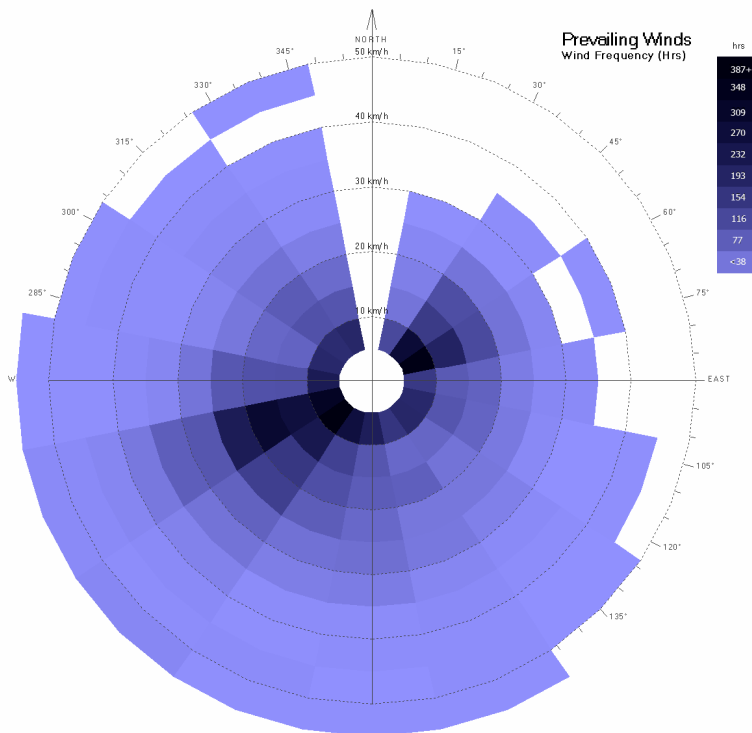


Grafico 6 andamento umidità relativa e quantità di precipitazioni



Il grafico del vento permette di comprendere che non esiste una direzione prevalente da sfruttare ma piuttosto esiste una situazione omnidirezionale con un range medio di velocità tra i 20 - 50 km/h.

I grafici della radiazione solare non vengono riportati perché calcolati e proposti appositamente al capitolo specifico.

Grafico 7 frequenza, direzione e intensità del vento

1.4 TU Delft Campus e il Bouwkunde

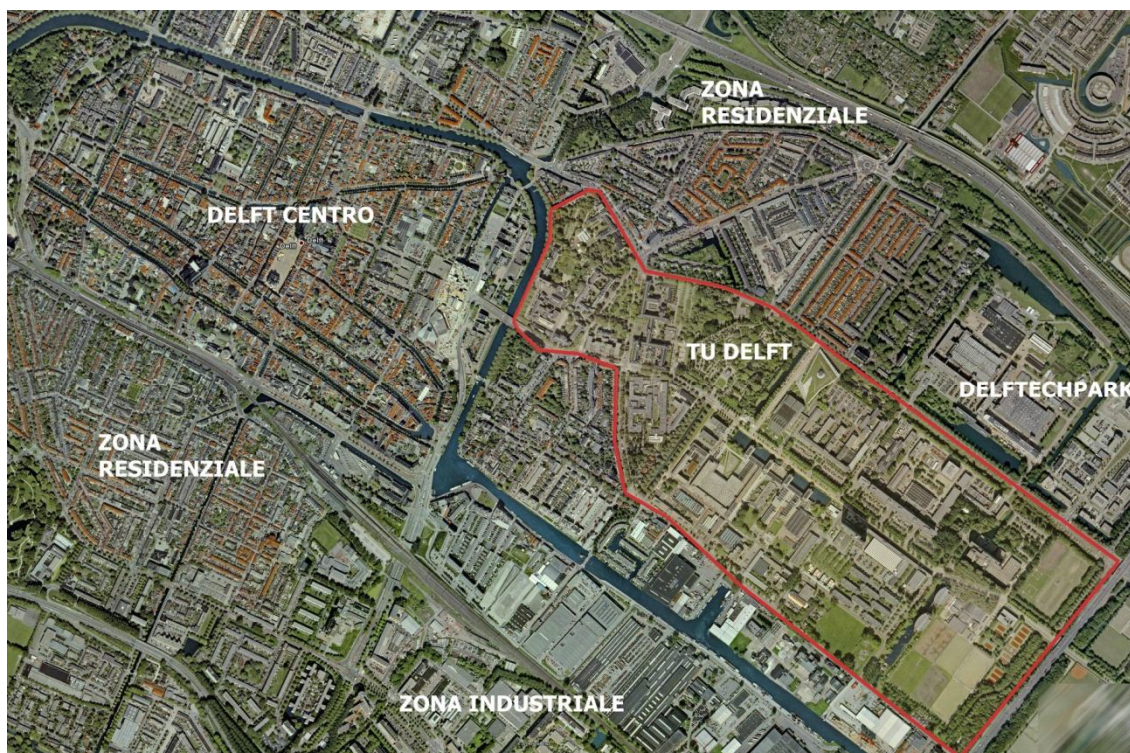


Figura 8 vista da satellite dell'area del TU Delft e del contesto

L'Area del campus del TU Delft si colloca a sud del centro cittadino della città di Delft occupando una considerevole parte del territorio.

Va ricordato che secondo il principio di sviluppo settoriale applicato nella zona della Randstad la città di Delft ricopre il ruolo di polo tecnologico e in rappresentanza di ciò il campus universitario conta molteplici facoltà legate al mondo dell'architettura dell'ingegneria del design industriale ma anche matematica, civile, elettronica. Rappresenta senza dubbio un forte polo attrattore all'interno delle dinamiche interregionali olandesi. Infatti la piantina ci permette di capire che tutto il tessuto urbano che circonda il TU Delft è impostato alla ricerca tecnologica e industriale nonché alla sperimentazione.

1.4.1 Storia del Campus

L'istituzione del Campus del TU Delft nella forma con cui oggi si presenta al pubblico è piuttosto recente. Per una ricerca storica completa sull'area del campus bisogna partire dal 1842 e più precisamente dalla data dell' 8 Gennaio momento in cui il Re Willem II fonda l'Accademia Reale per l'istruzione e la preparazione degli ingegneri civili e "apprendisti per il commercio".

L'accademia viene pensata per un bacino di utenza nazionale perché la necessità di queste figure professionali è nazionale e interagisce con i campi dell'industria ma anche del settore pubblico/amministrativo.

Da questo momento in poi il percorso del futuro campus si snoda tra le seguenti tappe fondamentali:

- *Royal Academy: 1842 – 1864*

- *Scuola Politecnica: 1864 – 1905*

L'accademia cambia titolo in seguito all'emanazione di leggi in campo scolastico ma continua a educare architetti e ingegneri nel campo delle opere civili, della costruzione navale, dell'industria meccanica e mineraria ma sotto il nome di scuola politecnica.

- *Institute of technology: 1905 – 1986*

Il 22 maggio 1905, in riconoscimento dell'alta formazione che viene impartita agli allievi e del divario con le altre scuole di formazione, viene trasformata in un "Institute of Technology". Il primo Rettore Magnifico è stato il professore di ingegneria idraulica J. Kraus.

- *Delft University of Technology: 1986 – giorni nostri*

Attraverso una legge del 1 Settembre, 1986, che si trasforma ufficialmente l'Institute of Technology nel noto Delft University of Technology cioè TU Delft .

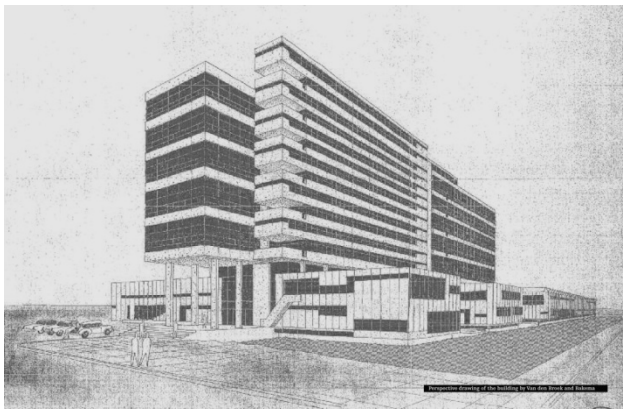


Figura 9 tavola progettuale di J.H.van Den B.

In questa breve storia trova collocazione anche la scelta del logo del TU Delft da tutti riconosciuto e raffigurante un fuoco ardente.

L'analogia è da cercarsi con la fiamma che Prometeo portò agli uomini in dono dall'Olimpo e dal significato di conoscenza che essa manifesta. Come il dio che secondo la leggenda segno il

cammino dell'uomo insegnando loro l'uso del fuoco, ad osservare

le stelle, solcare i mari, costruire case e bearsi della natura, così Il TU Delft promette di sviluppare nuove tecnologie che possano dare all'uomo risposte ma sempre rispettose dell'ambiente.

La sede della facoltà d'architettura del Bouwkunde entra a far parte integrante della storia del TU Delft fin dai primissimi momenti in cui il campus si trasforma in università. Nasce nel 1970 da un progetto di J.H. van Den Broek e Bakema.

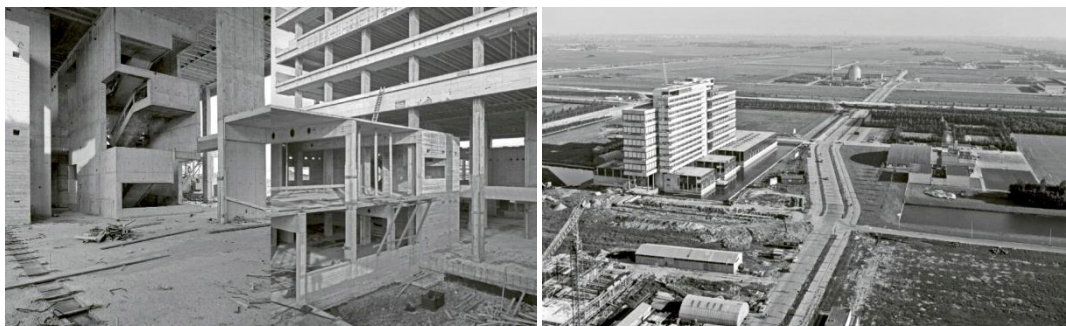


Figura 10 Il BK in costruzione e l'edificio ultimato; si scorge la sede di ing. Civile in costruzione

Prima di questa data la storia può essere letta in parallelo alle già citate date:
 1904. La facoltà si distacca dal dipartimento di ingegneria civile
 1948. Il programma di formazione si completa della componente “Urbanistica”
 1972. Il programma di formazione si completa della componente di “Public Housing”
 1987. Si ottiene l’ufficializzazione della Facoltà di Architettura come evoluzione del dipartimento di Architettura.
 1989. Il programma di formazione si completa della componente di “Building Technology”; la facoltà ora ha i 4 indirizzi/dipartimenti interni odierni.

Nel corso dei successivi anni la facoltà raggiunge un grande livello di credibilità e autorevolezza nazionale e internazionale.



Figura 11 l’incendio del Bouwkunde visto dal tetto della TU Library

13 Maggio 2008 – la sede della facoltà di Architettura crolla a seguito di un incendio divampato all’interno.

Ciò che l’edificio ha rappresentato verrà riproposto e trattato nel capitolo successivo perché propedeutico alla progettazione architettonica. Successivamente si pongono in luce le caratteristiche e gli aspetti di carattere urbanistico del contesto inerenti all’area che verrà presa in esame.

1.4.2 Il campus tra passato e futuro: situazione attuale

Il campus del TUDelft come già specificato si sviluppa a sud della città esercitando in tal sede il ruolo di polo attrattore; basti pensare che al suo interno vengono accolti più di 16000 studenti. Il complesso di edifici risulta diviso in 3 macro zone fondamentali così ripartite:

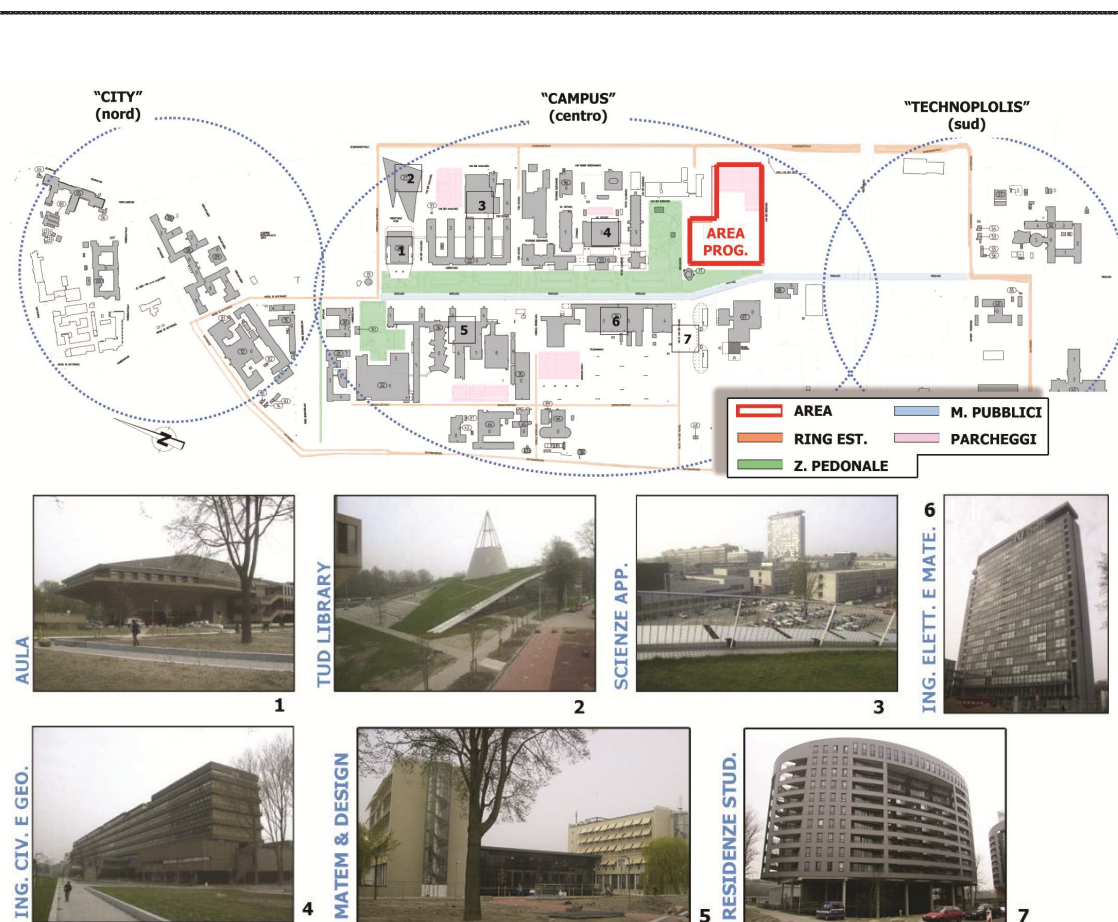


Figura 12 indicazione dell'area di progetto, rappresentazione del campus e visualizzazione degli edifici più caratteristici

Le tre zone dialogano con il contesto in altrettanti modi differenti; la parte definita "city" è quella più datata di tutto il complesso ed è sede degli uffici generali di amministrazione e coordinazione ed è quella più vicina al centro cittadino.

La parte definita "campus" è quella con le sedi delle varie facoltà e si sviluppa in linea su 2 fronti opposti lasciando libero il passaggio centrale.

La parte nominata "Tecnopolis" è quella più a sud ed in fase di sviluppo.

Nell'immagine viene proposta fin da subito l'area d'intervento in modo che sia chiaro già dall'inizio dove si collocherà il nuovo progetto in sostituzione delle macerie di quello precedente.

In più vengono indicati gli edifici di maggiore rilievo o ritenuti tali:

- 1- L'aula: è l'edificio-auditorio di rappresentanza del campus
- 2- TUD Library: è l'intervento interno al campus di edilizia-architettura più recente ed innovativa ad opera del gruppo di Architettura dei "Mecanoo".
- 3- Facoltà di scienze applicate
- 4- Facoltà ingegneria civile e geoscienza
- 5- Facoltà ingegneria elettronica e matematica
- 6- Facoltà di design industriale e ingegneria meccanica e navale

Il titolo del paragrafo vuole mettere l'accento sul momento di trasformazione con cui il campus si è dovuto confrontare e di cui ora trae le conclusioni. Nel viaggio di studio dell'area di progetto abbiamo potuto vedere di persona che l'area era effettivamente interessata da lavori di valorizzazione dello spazio interno agli edifici e dei collegamenti di interfaccoltà e stando al programma lavori questi trasformazioni dovrebbero ormai essere terminate.



Figura 13 vista a 360° sul Mekelpark ancora in fase di allestimento

Risulta quindi interessante capire l'ennesima evoluzione del Campus e su quali valutazioni e considerazioni è stata attuata perché tutto ciò rappresenta il background all'interno del quale si collocherà il progetto della nuova sede della facoltà di Architettura.

La trasformazione subita è basata sul progetto di trasformazione urbanistica del gruppo dei "Mecanoo": il Mekelpark.



Figura 14 immagini sulla "Mekelweg" centrale agli edifici prima quindi di venire trasformata in "Mekelpark"

Il cambiamento risulta radicale nella concezione degli spazi pubblici e dei collegamenti: quella che prima era una strada con zone di parcheggio interna agli edifici (Mekelweg) ora diventa un parco pedonale (Mekelpark).



Figura 15 L'intervento a scala urbana del "Mekelpark" ad opera dei Mecanoo

Il contesto all'interno del quale ci muoviamo è un ambiente fortemente caratterizzato che segue regole ben precise. Il campus risulta in fin dei conti una situazione privilegiata in cui introdursi con una nuova edificazione perché offre una serie di servizi e di sistemi di collegamento a cui "allacciarsi". Bisogna quindi essere in grado di leggere tali condizioni preesistenti.

Il campus come si evince dalla foto pre-trasformazione si basa su alcuni canoni generali quali:

- individualismo degli edifici
- spazi pubblici adibiti a parco macchine;
- edifici "fuori scala" cioè i fabbricati ragionano su grandi dimensioni in linea con i servizi che propongono.

La situazione odierna ha sostanzialmente migliorato il secondo punto e di riflesso avvicinato tra loro gli edifici la cui singolarità ora è solo nel modo di esprimersi architettonicamente in quanto formalmente diversi l'uno dall'altro.

Le "regole" che interessano l'area si basano su una sostanziale ripartizione dei "flussi" viari in base alla loro natura e il riportare il verde a disposizione della persona e promuoverlo come spazio centrale per la socializzazione e l'intercomunicazione delle facoltà.

Un nuovo intervento che vuole inserirsi nel Campus deve collegarsi a questa rete di percorsi, rispettare tali spazi e le dinamiche interne innescate da questo miglioramento urbano.

Divisione tra flussi pedonali/ciclabili e automobilistici

I due schemi successivi permettono di capire la ripartizione dei due flussi ad una scala maggiore del Mekelpark. L'area comprende tutto il campus in modo esteso e propone il collegamento fino al centro cittadino.

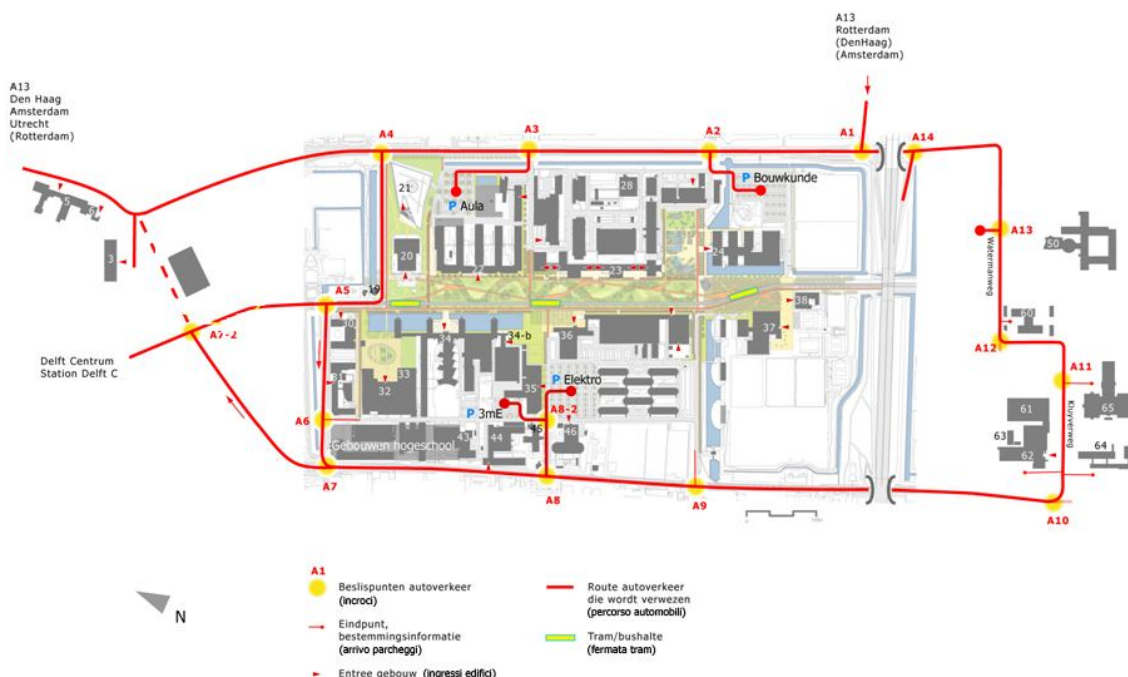


Figura 16 “anello stradale” che circonda il campus e che devia il traffico cittadino verso parcheggi esterni.

L’accesso delle auto viene tenuto perimetrale al campus con la dislocazione di parcheggi per autovetture e parcheggi per le biciclette con cui è possibile muoversi all’interno del campus. Viene a crearsi una sorta di “ring” esterno per le autovetture e di un intreccio interno dei percorsi ciclo pedonali.

Come visualizzato nella mappa il “ring” esterno permette di allacciarsi a strade a veloce percorrenza (A13) e a strade cittadine che collegano in modo diretto alla rete viaria generale da cui è possibile raggiungere le città del calibro di Rotterdam, Utrecht, Den Haag

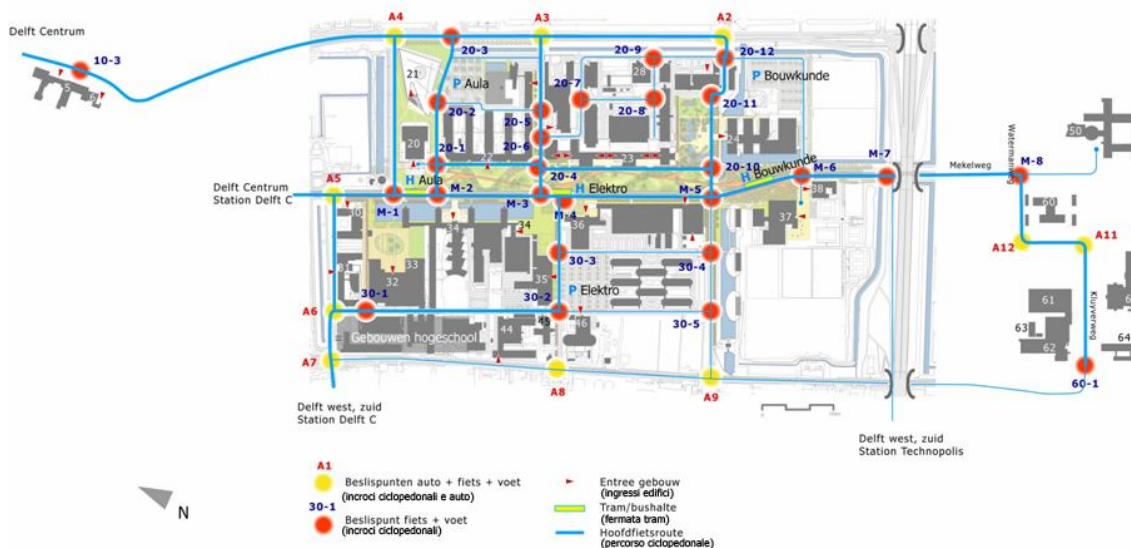


Figura 17 percorsi ciclopedonali di raccordo tra l’interno del campus e l’anello esterno

Il Mekelpark

Procediamo con lo stesso criterio dall'esterno verso l'interno per la lettura del Mekelpark come se usufruendo dello spazio lo leggessimo nel percorrerlo.

Zone parcheggio

Come detto pocanzi le zone di parcheggio sono disposte perimetralmente all'area che è chiusa al traffico cittadino.



Figura 18 localizzazione dei parcheggi per autovetture (giallo) e per le biciclette (arancione) con la rispettiva capienza

Internamente al campus sono previsti dei parcheggi per le biciclette adatti ad ospitare un numero considerevole di mezzi.

La politica pedonale e dei mezzi pubblici

Il campus è aperto solo al traffico ciclopedonale per salvaguardare la quiete interna e restituire gli spazi comuni all'utente che usufruisce delle strutture delle facoltà. Attraverso questa rete di collegamenti si risolve l'individualismo che aleggiava sugli edifici del campus e con l'introduzione delle aree verdi si crea un ambiente vivibile per studenti e professori.

La soluzione propone 3 livelli di collegamento:

- l'energy-line; rappresenta il percorso centrale che insieme alle aree verdi crea la nuova ambientazione interfacoltà. E' sia pedonale che ciclabile e consente il collegamento tra gli ingressi degli edifici e le stazioni della fermata del tram. Lungo il percorso che è incassato nel parco per circa 40 cm è possibile sedersi e riposare.

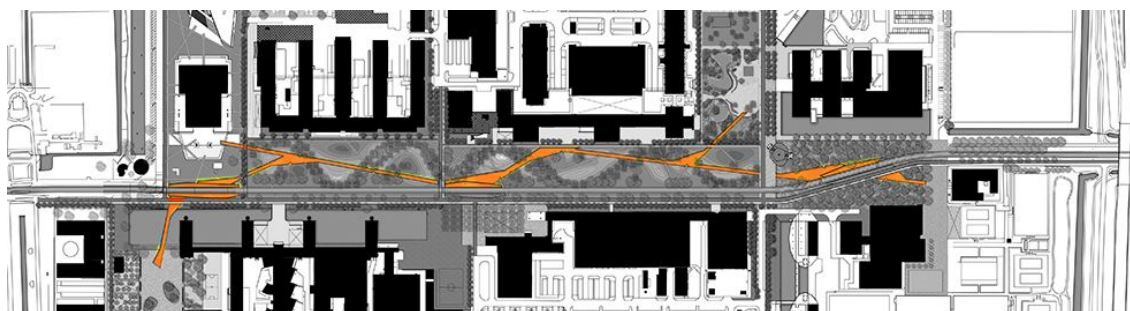


Figura 19 la “Energy line”

- “mikado”: sono dei percorsi apparentemente casuali ma permettono di attraversare il parco in modo diretto e veloce secondo la strada più breve. Sono solo pedonali.

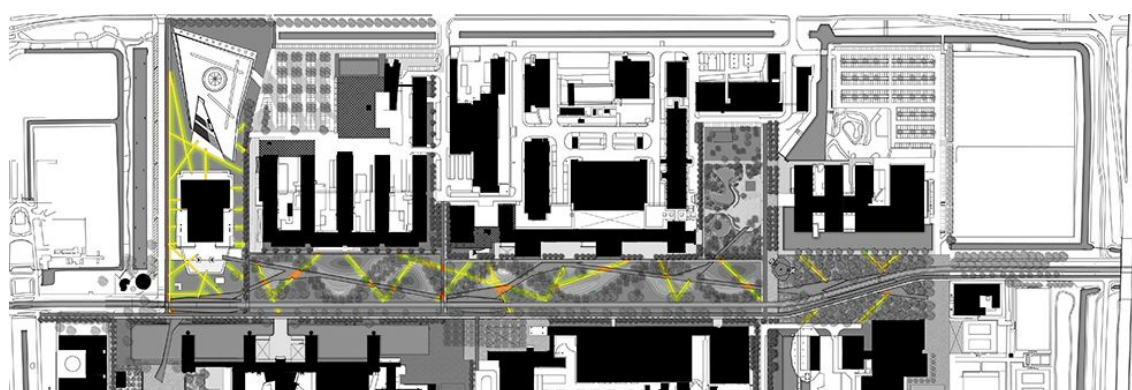


Figura 20 i “mikado”

- “the frame”: rappresenta l’insieme di due percorsi, uno pedonale e l’altro ciclabile che proseguono paralleli l’uno all’altro e bordano il parco e lo attraversano da parte a parte raramente e sempre in modo rigido. Tali percorsi vengono utilizzati nelle situazioni di emergenza per permettere ai mezzi di soccorso d’arrivare fin sotto agli edifici e quindi di operare.

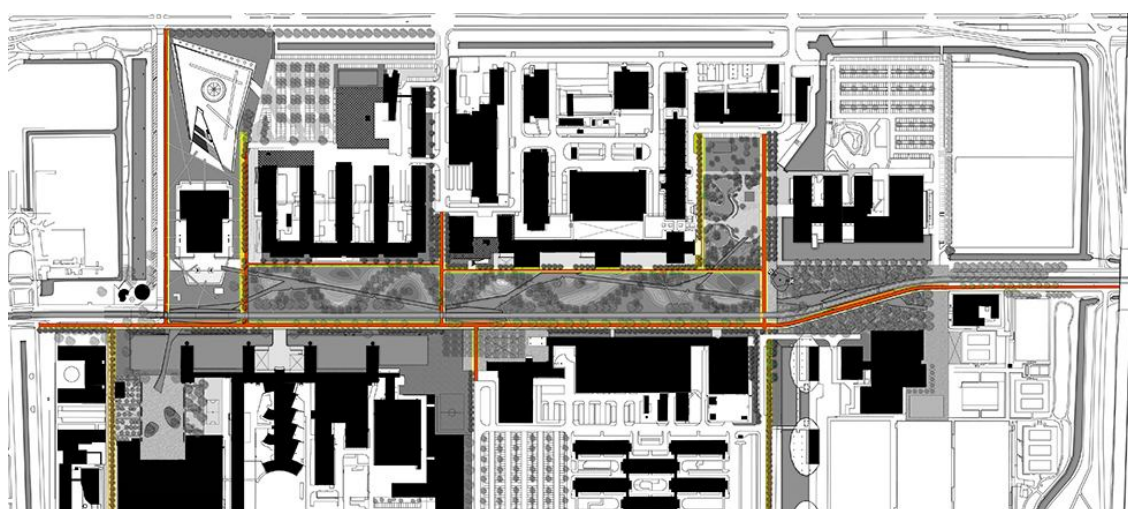
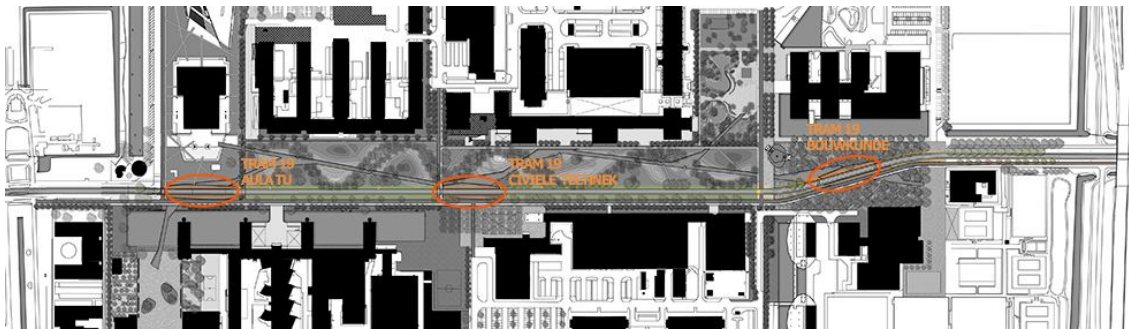


Figura 21 the “frame”

- Il tram: all'interno del campus è previsto il passaggio della linea tramviaria n°19 che sosterebbe in fronte al Bouwkunde, alla facoltà di Elettronica e in fronte all'Aula e connetterebbe il Campus con una più grande rete di infrastrutture viarie. Il percorso arriva fino alla stazione ferroviaria di Delft e prosegue a nord fino alla città di Ypenburg e oltre interfacciandosi con la rete tramviaria locale. Tale scelta non è casuale perché vuole incentivare l'utilizzo del mezzo pubblico a sfavore dell'automobile personale.



Figura 22 il tram e le fermate all'interno del parco e sul percorso della linea 19 del tram



Gli spazi verdi e pubblici

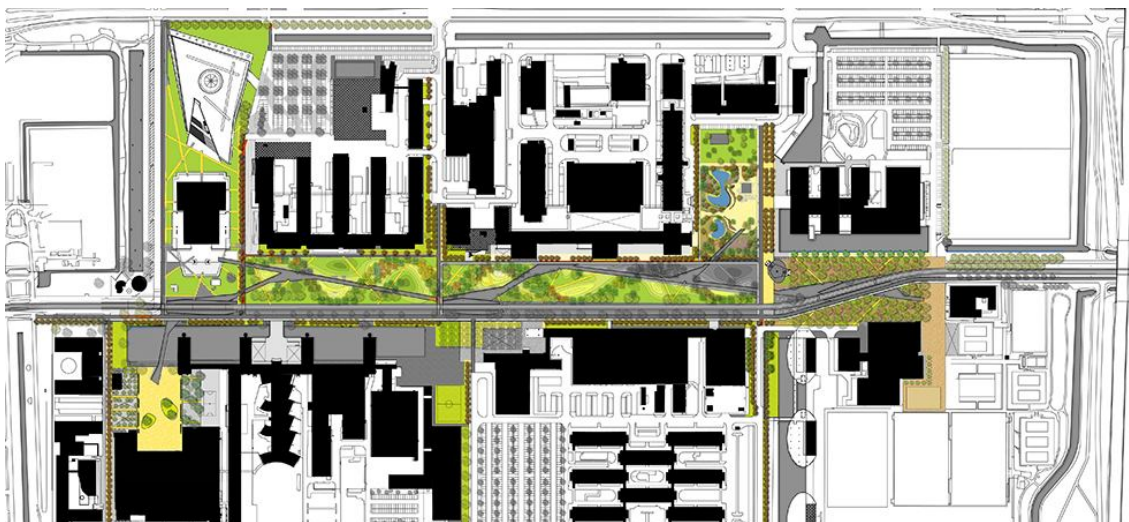


Figura 23 le aree verdi

Il parco è l'elemento che riesce in qualche modo a dare la terza dimensione all'area perché fino ad ora sono stati analizzati percorsi che ragionano sempre e solo sul piano. Le zone verdi collinari e gli alberi creano l'atmosfera adatta e conviviale che genera i presupposti per una socializzazione tra le facoltà.

Le essenze degli alberi vengono studiate per ottenere una particolare resa cromatica al variare delle stagioni. Vengono disposti in modo sinuoso all'interno dell'area.

Vi sono poi degli spazi pertinenti alle singole facoltà che vengono modificati interpretando al meglio le loro necessità.

A questo proposito si coglie l'occasione di far notare che la sistemazione del Bouwpark è stata interrotta dal crollo dell'edificio del Bouwkunde e non più ripresa perchè ritenuta inutile dovendosi collegare ad un edificio non più esistente.

A conclusione di tale analisi si riporta un'ulteriore considerazione:

Il punto debole di tale piano urbano risiede nella sparizione dell'edificio del Bouwkunde che eliminando un punto di riferimento interno del campus rende incompleto il disegno progettuale globale.

Ulteriore stimolo progettuale sarà di armonizzare e restituire una sinergia con gli spazi pubblici esterni previsti: parcheggio biciclette, autovetture e collegamento con la fermata del tram.

Parte del progetto architettonico (richiesta del bando) è volta al rispetto e alla considerazione della nuova situazione contestuale.

1.5 L'Olanda e l'architettura

...“Un territorio piatto, di sola sabbia, dove esercitare senza vincoli la fantasia. È questo il segreto della mecca dell'architettura contemporanea: una nazione trasformata dai suoi progettisti in una supercittà senza confini. Ordinata, efficiente, pronta a tutte le sperimentazioni”...

Sebastiano Brandolini

Una riflessione finale vuole essere mossa sul grado di apertura mentale che gli olandesi hanno raggiunto verso l'architettura moderna mossi forse da un maggiore spirito d'innovazione e di consapevolezza nazionale; è questo a nostro avviso l'elemento cardine che permette la sperimentazione e l'evoluzione architettonica senza mai soffermarsi sui progetti realizzati ma continuando a mettere alla prova l'intraprendenza e l'audacia che già una volta permise, forse, di strappare le terre al mare.

1.6 Conclusioni

Il capitolo d'inquadramento generale propone un'analisi dell'ambiente in cui andiamo a collocare il progetto della nuova sede d'Architettura del Bouwkunde. L'analisi proposta prevede un ingrandimento di scala di lettura del contesto via via sempre maggiore: si parte dalla presentazione del territorio attorno alla città di Delf per poi arrivare all'analisi del campus universitario del TUDelft (ambiente con cui il progetto è in stretta correlazione). Non ci si dimentica dell'analisi cittadina che avviene attraverso la raccolta di dati statistici e climatici che poi serviranno per andare oltre al progetto meramente architettonico.

Il campus è stato oggetto di una recente trasformazione urbanistica che ha modificato i percorsi e collegamenti interni tra gli edifici delle facoltà.

La lettura di tale situazione ha reso possibile il recepimento delle dinamiche di movimento interne all'area di progetto e alla comprensione di determinati elementi contestuali significativi ai fini della progettazione (punti nevralgici, poli attrattori).

Tali valutazioni vengono ripartite tra questo capitolo e il successivo perché si sottintende un'evoluzione delle analisi fatte e traduzione di queste in spunti progettuali

1.7 Bibliografia

Bouwkunde portrait of the faculty of architecture of delft university of technology 1970-2008, <http://www.tudelft.nl/>

Architecture in the Netherlands, Philip Jodidio, Taschen, 2007

<http://www.tudelft.nl>

<http://www.delft.nl>

<http://www.wunderground.com>

<http://www.europaconcorsi.com>

2

PROGETTO
ARCHITETTONICO



"The New Bouwkunde"

2.1 Presentazione del bando

L'argomento della tesi prende spunto dal bando di gara indetto per la ricostruzione della sede della facoltà di architettura BOUWKUNDE interna al campus universitario del TUDelft in Olanda. La vecchia sede è andata distrutta a seguito di un incendio avvenuto il 13 Maggio 2008.

"*BUILDING FOR BOUWKUNDE*" è un concorso di idee internazionale.

La progettazione del complesso non può prescindere dalle richieste e indirizzi del regolamento che vengono successivamente riportati.

Per capire immediatamente l'entità dell'intervento si riportano le funzioni e relative metrature richieste.

Tabella 4 Funzioni e metrature richieste dal bando

Funzioni	m ² in usable floor area (sup. netta)
1. Studio space	9.000 m ²
2. Office space	8.000 m ² flexible concept
3. Lecture halls	2.000 m ² sharing possible
4. Library	1.000 m ²
5. Other educational facilities	3.000 m ² sharing possible
6. Faculty laboratories	2.000 m ² sharing possible
7. Conference rooms	1.000 m ² sharing possible
8. Restaurant	2.000 m ² sharing possible
9. Other public and collective facilities	2.500 m ²
10. Storage space	2.500 m ² (in basement)
TOTALE	33.000 m² netta 50.000/60.000 m² lorda
prevedere circa 1000 posti biciclette e 400 posti auto	

A ciò si accompagnano alcune indicazioni di carattere generale:

- considerare usi multifunzionali,
- considerare interventi internazionali,
- considerare la presenza di processi progettuali collaborativi,
- link tra biblioteca interna e biblioteca T.U.Delft"
- la locazione è interna al campus nella zona del vecchio edificio o in altra zona da segnalare e motivare
- considerare la presenza futura (realizzazione entro il 2010) di un collegamento tranviario che sosta in fronte al sito di progetto del vecchio edificio,
- considerare la presenza dell'area verde tra la zona del Bouwkunde e la vicina sede di Ing. Civile e il suo mantenimento,
- considerare una spesa di 2000 €/m².

Affinché non si riduca il tutto a dei soli numeri si riportano alcune riflessioni del "Competition brief" volte a sottolineare la natura simbolica legata allo stesso edificio.

Sono considerazioni che possono in qualche modo tracciare la progettazione o segnare l'espressività architettonica.

Dalle più pragmatiche spiegazioni sull'essenza del nome/edificio per oltrepassare il mero significato di edificio:

“... bouw fa riferimento ad ogni attività del costruire e più in generale al oggetto costruito...”;

“... kunde fa riferimento al disegno e ha anche connessioni con la conoscenza e l'arte. ...”;

“... in altre parole descrive un processo creativo, bilanciamento tra esecuzione e arte, costruzione e apparenza. ...”;

“... Il nuovo Bouwkunde è più della somma dei suoi corsi, ... è uno degli edifici più importanti per Delft ... si auto presenta, si integra e spicca nel contesto pubblico.”;

“... il nuovo Bouwkunde è un posto per socializzare...”;

“... il nuovo Bouwkunde si presenta, si integra e si distingue nello spazio pubblico urbano.”.

2.2 Il processo conoscitivo

Le fasi preliminari della progettazione vera e propria, si caratterizzano di una serie di ricerche imprescindibili che servono a introdurre l'area di progetto che ci accingiamo a mutare e a reperire tutte le possibili informazioni utili per un buon risultato finale.

Ci siamo spinti a cercare di capire il modelli di insegnamento del luogo e di come esso veniva percepito dall'utenza. È chiaro come il Bouwkunde venisse percepito non solo come presenza fisica dell'edificio in quanto contenitore ma come simbolo di un qualcosa che ora è andato fisicamente perso.

Di seguito abbiamo ritenuto corretto riportare ciò che è maggiormente legato alla concezione di insegnamento e come esso veniva concepito e percepito. Informazioni forse inusuali o di secondo piano ma che servono a definire meglio l'oggetto da realizzare.

2.3 Un simbolo

Abbiamo ritenuto opportuno approfondire ciò che già il bando suggeriva cioè che nell'immaginario collettivo il Bouwkunde rappresentasse qualcosa di più di un mero luogo di studio. Successivamente all'incidente è stata pubblicata una raccolta di interviste e commenti in relazione all'accaduto; ciò sembra adatto allo scopo.



Figura 24 l'edificio del Bouwkunde e J.H.van den Broek



Figura 25 l'incendio del 2008

"... Van den Broek and Bakema avevano disegnato la sezione in modo che tutti potessero lavorare e disegnare con un adeguato illuminamento, ma questo significava avere il soffitto alto di 6 metri..."

(M. Gout, professore alla facoltà ora non in carica);

"... quando sentii la notizia circa l'incendio, realizzai che la facoltà di architettura è stata parte della mia vita. Era una seconda casa per me..."

(A. van Rijckevorsel, ha lavorato per molti anni alla facoltà di architettura);

"... ti senti così solo quando lavori da solo a casa. Stare tutti insieme in un

edificio era la forza della sede di architettura "

(L. Reijnen, studentessa e rappresentante studentesco del consiglio di facoltà);

"... La facoltà di architettura è sempre stata un grande sorpresa per me. Io ci andavo ogni giorno. Se non ci andavo per un giorno, avevo la sensazione di avere dimenticato qualcosa "

(F. Houben, studentessa ora direttrice dei Mecanoo);

"... esso era un'icona per il suo tempo, architettonicamente fuori dagli schemi ma funzionalmente non era questa grandezza. Questo non è comunque corretto perché l'edificio non ha mai dato la possibilità di funzionare nel modo in cui doveva."

(C. Lelieveld, candidata dottoranda);

"... inviai un sms a mio padre. Scrissi: sono vivo ma l'architettura è morta" (P.Niemeijer, studente);

"... ma cosa preoccupava maggiormente Van den Broek era che gli studenti avrebbero familiarizzato con spazi, dimensioni e con questo genere di cose, durante i loro studi. "

(W. Roling, studente ora professore);



Figura 26 aula disegno

“... io trovai l’edificio non più riconoscibile nella facoltà di architettura. Nuova vita doveva essergli iniettata”

(W. Patijn, studente, professore e ora preside di facoltà);

“... nel mio caso l’edificio giocava un ruolo importante per incontrarsi”

(J. Van Rijs, studente ora componente degli MVRDV);

“... ma il nuovo edificio potrebbe emanare più luce e spazio. Specialmente in inverno quando è così grigio in Olanda che si ha bisogno di un po’ di colore.”

(S. Sariyildiz, studente ora professore);

“... Questa è la qualità che Van den Broek e Bakema investirono nell’edificio e ancora questa è la qualità per il futuro. Questo è in linea con la sostenibilità.”

(F. van Dongen, studente ora Architetto);

“... ma l’incendio ci ha anche dato una opportunità di fare una scelta estrema. Ora noi abbiamo una chance per la facoltà di Architettura e per il TUDelft. ”

(A. den Heijer, studentessa ora insegnante in Real Estate e Housing);

Le opinioni riportate fanno capo a una pluralità di persone che lavorano, studiano, insegnano all’interno del Bouwkunde o che hanno studiato e ora sono dei professionisti del settore anche di una certa importanza.



Figura 27 la Main street



Figura 28. lavori di gruppo e lezione comunitaria di disegno



Figura 29 l’incendio visto dalla biblioteca del campus

2.4 L'edificio del Bouwkunde

Per comprendere al meglio ciò a cui riferiscono i precedenti commenti è bene capire il funzionamento del vecchio edificio e il suo modo di porsi all'interno del campus. L'analisi degli spazi e la loro composizione permette d'impadronirsi delle dinamiche interne nonché delle possibili interazioni tra spazi e funzioni che è bene mantenere o cambiare nel futuro progetto.



Figura 30 assonometria

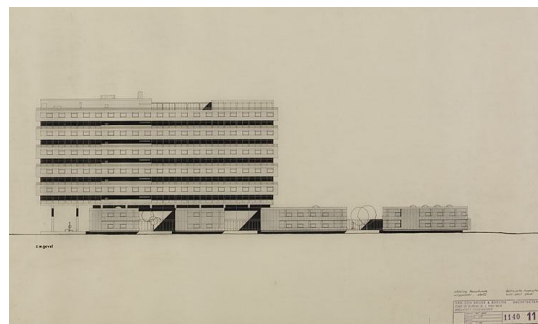


Figura 31 prospetto ovest

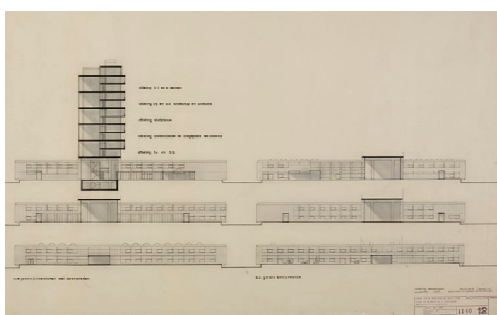


Figura 32 sezione

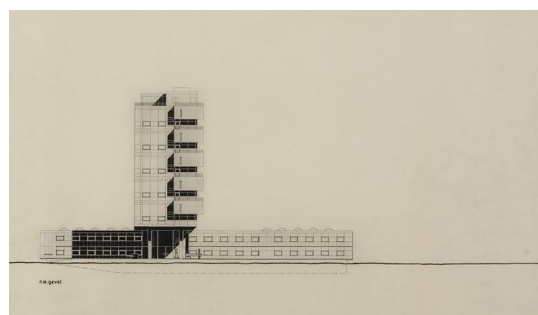


Figura 33 prospetto nord

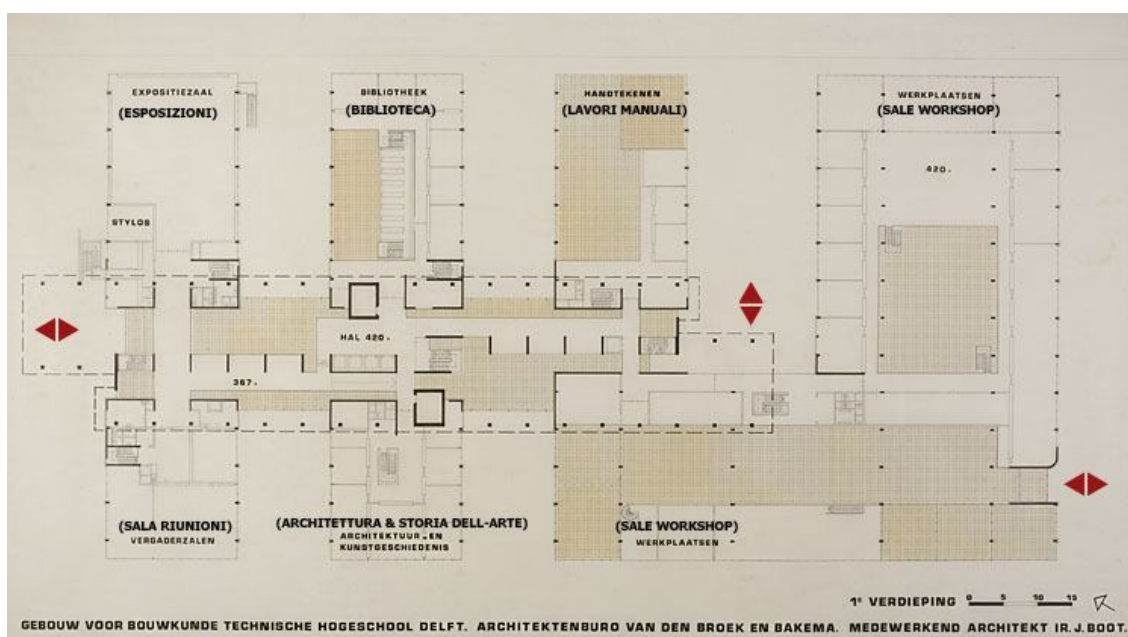


Figura 34 pianta basamento

L'architettone prevede l'opposizione di due grandi volumi; il primo basamentale e il secondo che spicca sul contesto comprendendo al suo interno cinque livelli di funzioni.

Il basamento prevede una sorta di "street" centrale a livello del piano terra che serve sette grandi ambienti a doppia altezza, divisi per funzione. Abbiamo perciò dei grandi spazi che raccolgono un gran numero di utenti. Le funzioni principali che si concentrano al piano terreno sono dunque:

- Biblioteca;
- Sala per esposizioni e club Stylos;
- Sala per lavori manuali;
- Sala per raccolta dati ed esercitazioni su architettura e storia dell'arte;
- Duplice sala per workshop;
- Sale riunioni



Figura 35 sketch d'interno Main Street



Figura 36 sketch d'interno aula disegno

Nell'immagine proposta è facile notare tale sistema di spazi.

Si deduce pertanto che nel basamento risiedono tutta una serie di attività collettive attraverso le quali gli utenti passano dal semplice socializzare al lavoro manuale, allo scambio di opinioni e confronti tipici dei lavori di gruppo.

Elemento cardine compositivo è la ricerca di aree ospitanti momenti di socializzazione continua negli spazi comuni. Tecnicamente la ricerca di volumi interni molto grandi, migliora la ricezione della luce naturale, ma svantaggia l'ambiente dal punto di vista termico. Anche l'acustica viene gestita con più difficoltà nei grandi spazi.

Lo spazio distributivo interno permette l'attraversamento in quattro direzioni collegando in modo sequenziale i sei grandi spazi precedentemente citati. In posizione leggermente decentrata rispetto al baricentro del basamento abbiamo

l'innesto del connettivo verticale che da una tridimensionalità al sistema dei collegamenti andando a ripartire gli utenti per anni accademici nei successivi livelli superiori. Questi ultimi sono concepiti ciascuno su due diverse quote e divisi piani metricamente tra zona di lezione e zona di disegno comunitario rispetto allo spazio centrale distributivo centrale. La doppia altezza interna e l'affaccio su più fronti di ogni singolo livello migliorano l'illuminazione interna in relazione alle funzioni che vengono ospitate.

2.5 Metodologie nell'insegnamento e statistiche

All'aspetto simbolico e architettonico si accompagnano elementi di natura più pratica, che è bene conoscere per calibrare al meglio la quantità di spazi richiesti e la progettazione. Dal bando vengono estrapolate le metrature di massima dei locali ma non va dimenticato che stiamo operando su un territorio estero le cui abitudini non per forza sono identiche alle nostre. A questo proposito risultano indispensabili informazioni di massima quali il numero complessivo di studenti da accogliere (da relazionare alle richieste del bando) e lo studio di abitudini e delle modalità di insegnamento applicate.

In seguito si riportano il numero di studenti e i trend di crescita di anno in anno per una stima complessiva di 3000 utenti circa e l'orario giornaliero impostato secondo il loro anno accademico.

Tabella 5 numero di utenti

Facoltà	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
3mE	1427	1462	1444	1590	1713	1823	1955	2112
BK	3208	3316	3276	3210	3016	2987	2837	2893
CITG	2028	1955	1831	1749	1696	1700	1681	1795
EWI	1650	1735	1736	1786	1786	1669	1670	1690
IO	1649	1639	1635	1649	1675	1690	1677	1746
LR	1422	1521	1581	1643	1689	1693	1816	1914
TBM	798	907	910	979	931	843	852	861
TNW	914	895	933	957	1018	1154	1223	1288
Tot. TUDelft	13096	13430	13346	13563	13518	13559	13711	14299

I dati in possesso, arrivano fin al 2007 anno antecedente il disastroso incendio che segnò la fine del Bouwkunde.

Tabella 6 tipologie di utenza

anno	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Istruzione								
Affluenza	2202	2221	2097	2392	2497	2598	2703	3260
Stranieri	232	312	336	415	398	456	554	705
Donne	505	488	439	503	511	509	529	722
Laureato	-	-	1898	2088	2192	2251	2044	2330
Master	-	-	190	300	304	347	859	930
Rimanenti	2202	2221	3	1	1	-	-	-
Pop. Tot.	13096	13430	13346	13563	13518	13559	13711	14299
Stranieri	979	1145	1248	1381	1436	1486	1607	1862
Donne	2691	2823	2817	2843	2765	2695	2680	2824
Laureati	-	-	9918	10206	9978	10165	9655	9453
Master	-	-	2516	2801	3105	3149	3887	4724
Rimanenti	13096	13430	912	556	435	245	169	122
Diplomi	1312	1427	2728	2730	2779	2975	2915	-
Laureati	-	-	1190	977	1046	1277	1165	*
Dottorati	1312	1427	141	149	132	52	27	*
Master	-	-	1397	1604	1601	1646	1723	*

* annunciati a fine 2008 ma non ancora registrati nelle statistiche

Si riportano anche i rapporti tra iscritti: uomini e donne, studenti olandesi e presenze internazionali. La tendenza di iscrizioni vede il "BK" come una tra le prime scelte di possibile indirizzo all'interno del campus. Si fa notare come il numero di donne sia in continua crescita. La presenza di un numero di stranieri in lenta ascesa all'interno del campus e della stessa facoltà del Bouwkunde, fa riflettere sull'importanza a livello internazionale degli insegnamenti proposti. Inutile rimarcare che conoscere le abitudini giornaliere dell'utenza risulti di fondamentale importanza.

A questo proposito all'interno della giornata l'insegnamento risulta così programmato:

Da LUNEDI' a GIOVEDI':

06:30 ÷ 07:00 ingresso staff e studenti autorizzati
 07:00 ÷ 18:00 ingresso libero a tutti
 18:00 ÷ 22:00 ingresso staff e studenti autorizzati

Il VENERDI':

06:30 ÷ 07:00 ingresso staff e studenti autorizzati
 07:00 ÷ 18:00 ingresso libero a tutti

Il metodo Olandese si diversifica da quello Italiano perché lascia molta autonomia allo studente.

Le lezioni come vengono intese qui in Italia, si riducono a poche ore mattutine o pomeridiane rimandando eventuali chiarimenti a colloqui su appuntamento con i docenti.

La possibilità di prolungare la propria permanenza all'interno dell'università fino a orario tardo deve fare riflettere sulle possibili implicazioni di livello progettuale. Qui di seguito viene riportato il calendario accademico:

Tabella 7 anno accademico

1° SEMESTRE		
01/09	17/10	Lezioni
20/10	31/10	Lezioni-free week; esami; lezioni
3/11	19/12	Lezioni
22/12	02/01	Periodo natalizio
05/01	09/01	Lezioni-free week
12/01	30/01	Esami

Il calendario accademico prevede due periodi di insegnamento.

I° semestre:

fine agosto ÷ fine gennaio;

II° semestre:

inizio febbraio ÷ inizio luglio,

2° SEMESTRE		
02/02	20/03	Lezioni
23/03	03/04	Lezioni-free week; esami; lezioni
06/04	24/04	Lezioni
27/04	05/05	Vacanze di Maggio
06/05	05/06	Lezioni
08/06	12/06	Lezioni-free week;
15/06	03/07	Esami
17/08	28/08	Esami "di riparazione"

scanditi da quattro sessioni di esami e una sessione aggiuntiva a fine agosto successiva al periodo di vacanze. Il calendario accademico è così riassumibile:

Esso rappresenta uno strumento prezioso per individuare i periodi più o meno critici di cui tenere presente. Viene riportato nella pagina successiva come esempio pratico il calendario accademico per il 2010-2011.

Annual timetable, TU Delft academic year 2010-2011

1st SEMESTER																											
Week no.	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4					
Week type	C	C	C	C	C	C	C	CW	CW T	T	C	C	C	C	C	C	V	V	C	CW	CW T	T					
number of weeks	1-01	1-02	1-03	1-04	1-05	1-06	1-07	1-08	1-09	1-10	2-01	2-02	2-03	2-04	2-05	2-06			2-07	2-08	2-09	2-10					
Mon	30 Ac. Yr.	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	29	6	13	20	27	3	10	17	24					
Tues	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25					
Wed	1	8	15	22	29	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12	19	26					
Thurs	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27					
Fri	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28					
Sat	4/09	11/09	18/09	25/09	2/10	9/10	16/10	23/10	30/10	6/11	13/11	20/11	27/11	4/12	11/12	18/12	25/12	1/01	8/01	15/01	22/01	29/01					
Sun	5/09	12/09	19/09	26/09	3/10	10/10	17/10	24/10	31/11	7/11	14/11	21/11	28/11	5/12	12/12	19/12	26/12	2/01	9/01	16/01	23/01	30/01					

2nd SEMESTER																											
week no.	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26					
week type	C	C	C	V	C	C	C	C	CW	CW T	T	C	C	C	C	C	C	C	C	CW	CW T	T					
number of weeks	3-01	3-02	3-03		3-04	3-05	3-06	3-07	3-08	3-09	3-10	4-01	4-02	4-03	4-04	4-05	4-06	4-07	4-08	4-09	4-10	4-11					
Mon	31	7	14	21	28	7	14	21	28	4	11	18	East Mon.	2	9	16	23	30	6	Whit Mon.	20	27					
Tues	1	8	15	22	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28					
Wed	2	9	16	23	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	29					
Thurs	3	10	17	24	3	10	17	24	31	7	14	21	28	Lib. Day	12	19	26	Asc. Thurs.	9	16	23	30					
Fri	4	11	18	25	4	11	18	25	1	8	15	Good Fri.	29	6	13	20	27	3	10	17	24	1					
Sat	5/02	12/02	19/02	26/02	5/03	12/03	19/03	26/03	2/04	9/04	16/04	23/04	30/04	7/05	14/05	21/05	28/05	04/06	11/06	18/06	25/06	2/07					
Sun	6/02	13/02	20/02	27/02	6/03	13/03	20/03	27/03	3/04	10/04	17/04	24/04	1/05	8/05	15/05	22/05	29/05	05/06	12/06	19/06	26/06	3/07					

SUMMER TIMETABLE, 2010-2011 ACADEMIC YEAR

week no.	27	28	29	30	31	32	33	34	35
week type	V	V	V	V	V	V	V	H	
Mon	4	11	18	25	1	8	15	22	29
Tues	5	12	19	26	2	9	16	23	30
Wed	6	13	20	27	3	10	17	24	31
Thurs	7	14	21	28	4	11	18	25	
Friday	8	15	22	29	5	12	19	26	
Sat	9/7	16/7	23/7	30/7	6/8	13/8	20/8	27/8	
Sunday	10/7	17/7	24/7	31/7	7/8	14/8	21/8	28/8	

C = lectures and other teaching activities	lezioni e altre attività educative
CW = lectures/study week (varies per programme)	lezioni/settimane studio (variabili per programma)
CWT = lectures/study week/exams (varies per programme)	lezioni/settimane studio/esami (variabili per programma)
T = exams	esami
H = resits	esami di riparazione
V = no teaching/exams (vacation, official holidays)	no lezioni/esami (vacanze)

Figure 37 calendario accademico anni 2010-2011

2.6 L'area di progetto e la situazione attuale

La visita del luogo di progetto completa l'iter conoscitivo iniziale.

La zona si propone come area di scavi per la rimozione delle ultime macerie del vecchio edificio.

Figura 38 situazione attuale dell'area di progetto



Figura 39 Installazioni provvisorie post-incendio

La situazione difficile successiva all'incendio ha visto una serie di cambiamenti logistici legati alle modalità di insegnamento e alla loro prosecuzione. Si passa da un'installazione di fortuna in tende esterne alla zona a una sistemazione più consona adeguando alle necessità uno tra i principali edifici di rappresentanza del campus sulla strada Julianalaan.

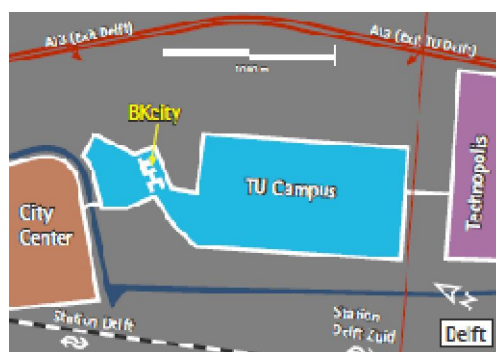


Figura 40 localizzazione del BK City

Interessante è studiare la nuova e temporanea sistemazione del BOUWKUNDE in quella che viene chiamata BK city, per capire quali elementi cardine e rappresentanti il vecchio edificio sono stati riconosciuti e mantenuti; cosa è stato scartato e cosa si propone per il futuro.

Vengono riportate di seguito le piante dei 3 livelli del BKcity da cui è stato possibile estrapolare il tutto.

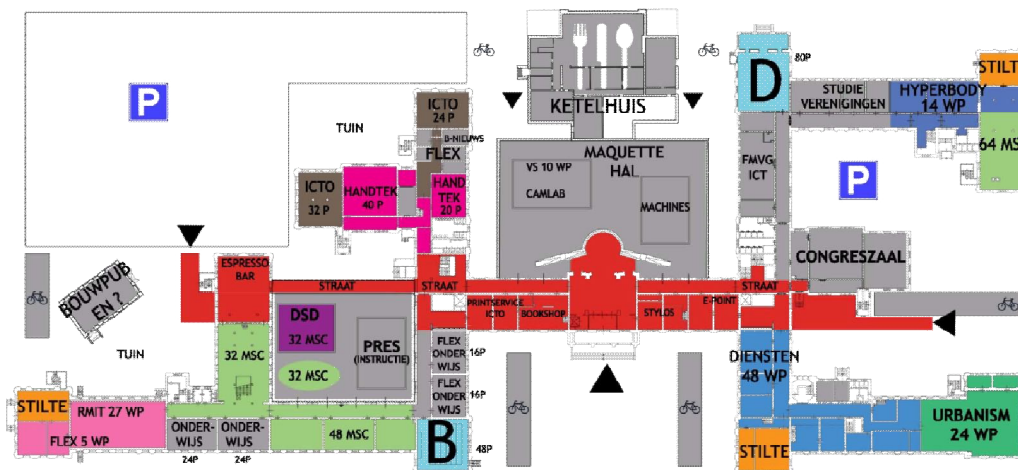


Figura 41 planta piano terra

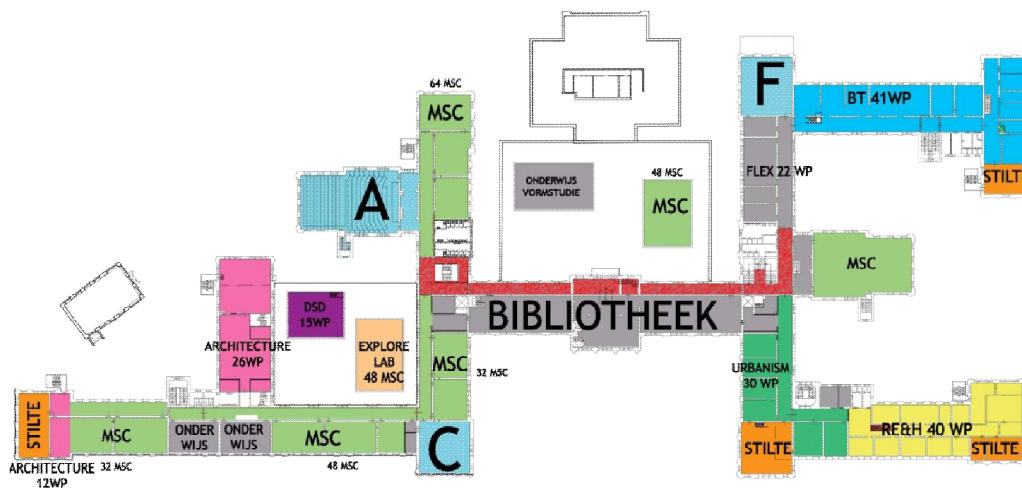


Figura 42 planta piano primo

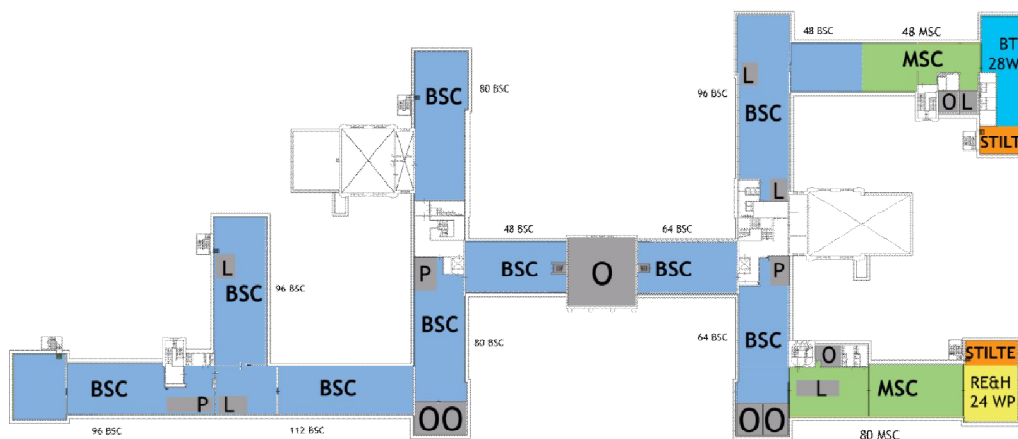


Figura 43 planta piano secondo

L'intervento rispecchia l'adeguamento di un edificio già esistente: l'impianto è pertanto totalmente differente da quello del Bouwkunde. Il corpo centrale non è altro che una lunga stecca che alle estremità ramifica diversificando gli spazi secondo gli indirizzi della facoltà di architettura. Caratteri comuni sono:

- L'identità di una facoltà in un unico edificio.
- L'accentramento degli spazi comuni
- Le ampie finestrate oltre che per una migliore visibilità interna anche come segno distintivo di un'architettura locale.
- Un approccio disinvolto verso colorazioni anche forti in interno ed esterno

L'ampliamento interessa l'introduzione di spazi socialmente introdotti con le due "glasshouse":

- Sud come spazio per il "modelling studio";

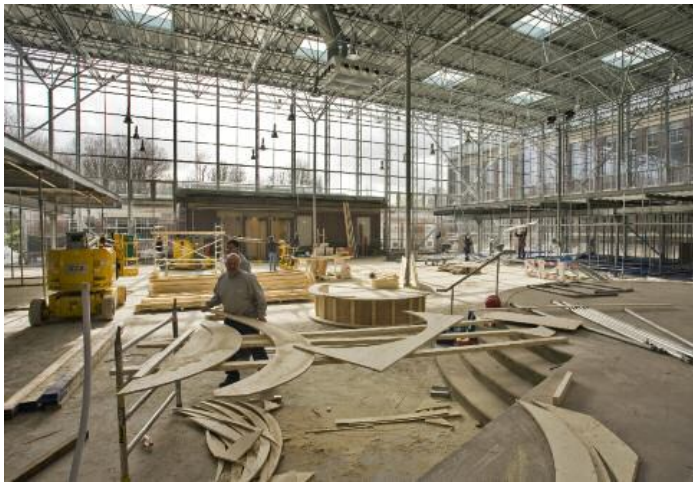


Figura 44 costruzione dello spazio modelling

- Est come "exhibition space".



Figura 45 costruzione dello spazio esibizioni

2.7 Analogie e discrepanze con il vicino campus di Utrecht

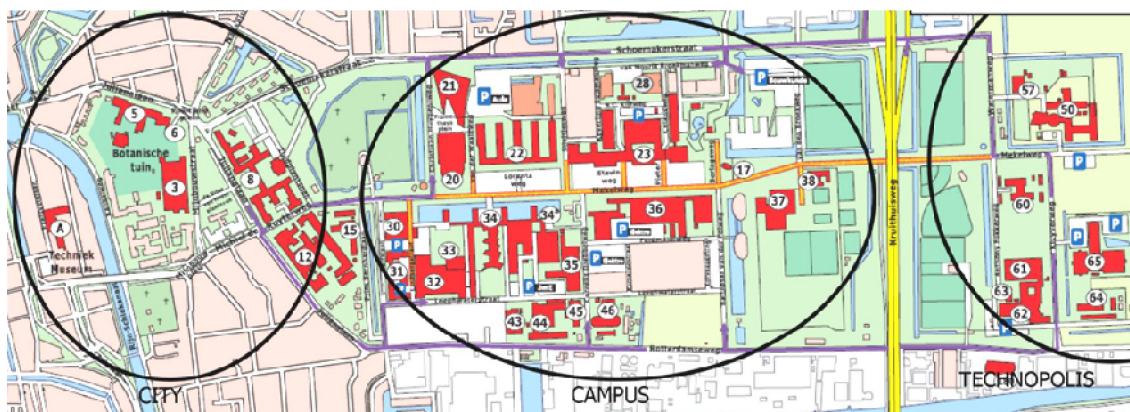


Figura 46 vista d'insieme campus TUDelft



Figura 47 l'Aula (TUDelft)

Per una maggiore completezza del discorso fin qui portato avanti sembra interessante confrontare il campus universitario del TUDelft con quello della vicina città di Utrecht. Il sopralluogo ha permesso di isolare alcune caratteristiche comuni ad entrambi.



Figura 48 ampliamento sede fac. Civile (TUDelft)



Figura 49 biblioteca del campus TUDelft



Figura 50 sede facoltà di matematica ed elettronica (TUDelft)

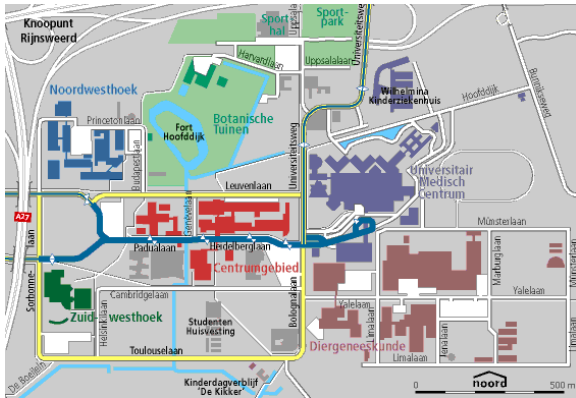


Figura 51 campus universitario di Utrecht

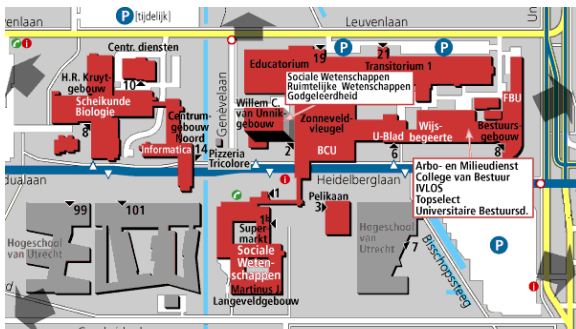


Figura 52 Utrecht: zoom sugli edifici centrali



Figura 53 biblioteca del campus di Utrecht

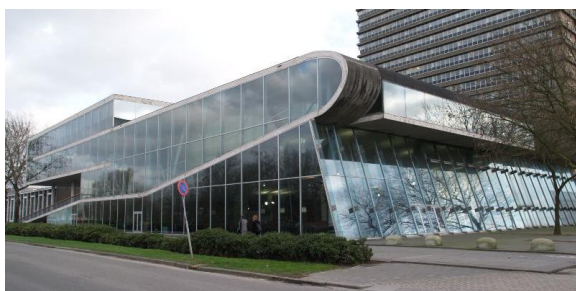


Figura 54 Educatorium (Utrecht)



Figura 55 facoltà di economia (Utrecht)

In Olanda il territorio viene spartito per così dire in “aree di influenza”; zone territoriali che si specializzano in determinati ambiti di ricerca e dialogano con il territorio indirizzandone lo sviluppo. A tal proposito è interessante notare come il TUDelft rappresenti all’interno di questa rete il polo tecnologico mentre l’Università di Utrecht quello di scienze naturali/biologia e ricerca medica. Sebbene vi sia un tale differenza settoriale di competenze, l’impostazione morfologica dei campus non sembra essere diversa; a tal proposito si nota come:

- Esiste una frammentazione in più edifici che corrisponde a una intrinseca divisione delle discipline/facoltà interne al polo;
- Gli edifici vivono di una loro singolarità personale compositiva benché appartenenti al medesimo campus;
- I campus delimitano porzioni di città e possono essere chiusi o meno al traffico cittadino.

A tal proposito notiamo come all’interno del TUDelft gli Edifici dell’Aula e della Biblioteca spicchino per libertà morfologica all’interno del campus; gli altri edifici hanno forma più ordinaria ma non esiste un “life motif”. Dello stesso avviso sono l’ampliamento della sede di ingegneria civile che contrappone un blocco vetrato a una pesante struttura in calcestruzzo e prefabbricato e la sede della facoltà di ingegneria elettrica e matematica. Nel campus di Utrecht la biblioteca spicca nel contesto in cui è inserita così come l’Educatorium che crea un parallelo con l’edificio di rappresentanza dell’Aula. Gli edifici non sembrano dialogare tra loro ma

si caricano come detto di singolarità architettonica ed è così anche per la sede di medicina che per quella di economia e management.

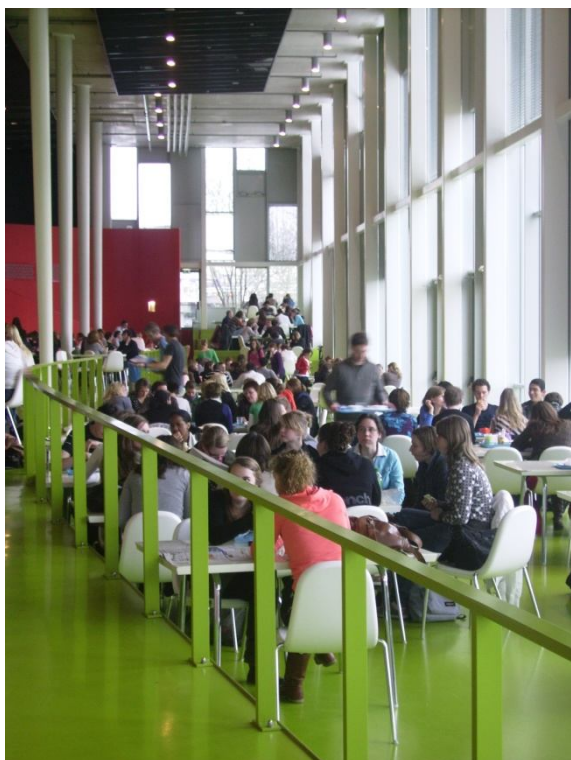


Figura56 zona ristoro campus Utrecht. Area di medicina



Figura 57 zona ristoro interna all'Aula del TUDelft



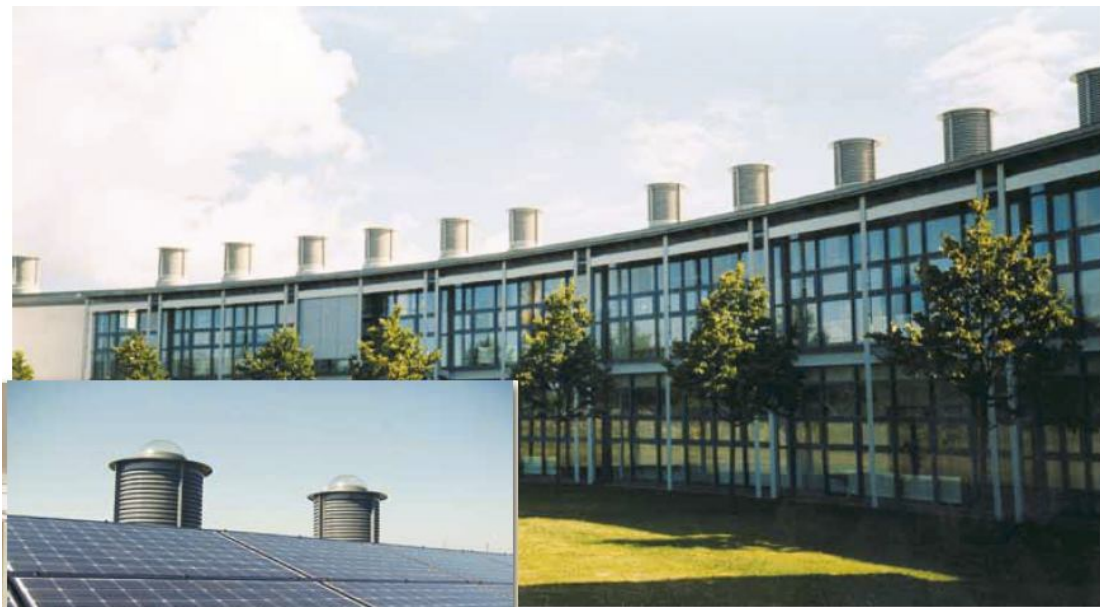
Figura 58 zona ristoro interna all'Aula del TUDelft (vista 2)

L'attenzione cade anche su caratteri specifici e singolari, come il fatto che in tutti gli edifici dei campus si preveda uno spazio di ristoro. Si è poi scoperto che tale spazio sottintende una pratica molto sentita in Olanda legata al relazionarsi con altri individui. Il pranzare viene percepito come momento d'insieme e di socializzazione.

2.8 Riferimenti progettuali



Oggetto: **CH2 – Council House of Melbourne** Luogo/Anno **Melbourne (Australia), 2006**
Progettista: **Città di Melbourne e gruppo DesignInc**
Riferimento architettonico:
esempio di analisi delle soluzioni tecniche/ecosostenibili adottabili



Oggetto: **Haute Vallée School** Luogo/Anno **St Helier, (Jersey) 1998**
Progettista: **Architecture PLB (Winchester)**
Riferimento architettonico:
esempio di utilizzo camini di ventilazione naturale in progettazioni di tipo scolastiche



Oggetto: **Universita dell'Aia** Luogo/Anno
L'Aia (Olanda), 2006
 Progettista: **Città di Melbourne e gruppo DesignInc**
 Riferimento architettonico:
esempio di progettazione spazi comuni/piazze interni all'edificio



Oggetto: **Centro di riabilitazione REHAB** Luogo/Anno
Basilea (Svizzera), 2002
 Progettista: **Herzog e de Meuron**
 Riferimento architettonico:
esempio di disposizione planimetrica di locali e pozzi di luce



Oggetto: **IIT - Illinois Institute of Technology, Chicago (Stati Uniti), 2003**
Luogo/Anno
centro studenti
Progettista: **OMA Rem Koolhaas**
Riferimento architettonico:
esempio di disposizione planimetrica dei percorsi interni



Oggetto: **Educatorium**
Luogo/Anno
Utrecht (Olanda), 1997
Progettista: **OMA Rem Koolhaas**
Riferimento architettonico:
esempio di disposizione planimetrica dei percorsi e locali ad elevato affollamento (zona ristorazione e ricevimenti)



Oggetto:
Utrecht University Library

Luogo/Anno
Utrecht (Olanda), 2004

Progettista: **Wiel Arets e Associati**

Riferimento architettonico:

esempio di disposizione planimetrica su più livelli e di percorsi interni.



Oggetto:
Maxxi - Museo d'arte del XXI secolo

Luogo/Anno
Roma (Italia), 2009

Progettista: **Z**

Riferimento architettonico:

esempio di gestione dei percorsi interni all'edificio



Oggetto:
Mekelpark del TU Delft

Progettista: **Mecanoo**

Riferimento architettonico:

esempio di gestione dei percorsi e collegamenti esterni all'edificio, nonché riferimento per la valutazione dello stato del contesto preesistente e futuro.

Luogo/Anno
Delft (Olanda), 2009



Oggetto:
Biblioteca del TU Delft

Progettista: **Mecanoo**

Riferimento architettonico:

esempio di composizione di volumi e gestione dello spazio interno e della luce

Luogo/Anno
Delft (Olanda), 1997



Oggetto: **Facoltà di economia e management, università di Utrecht** Luogo/Anno: **Utrecht (Olanda), 1995**
 Progettista: **Mecanoo**
 Riferimento architettonico: **esempio di gestione dei percorsi interni ad un edificio scolastico e dislocazione pozzi di luce**



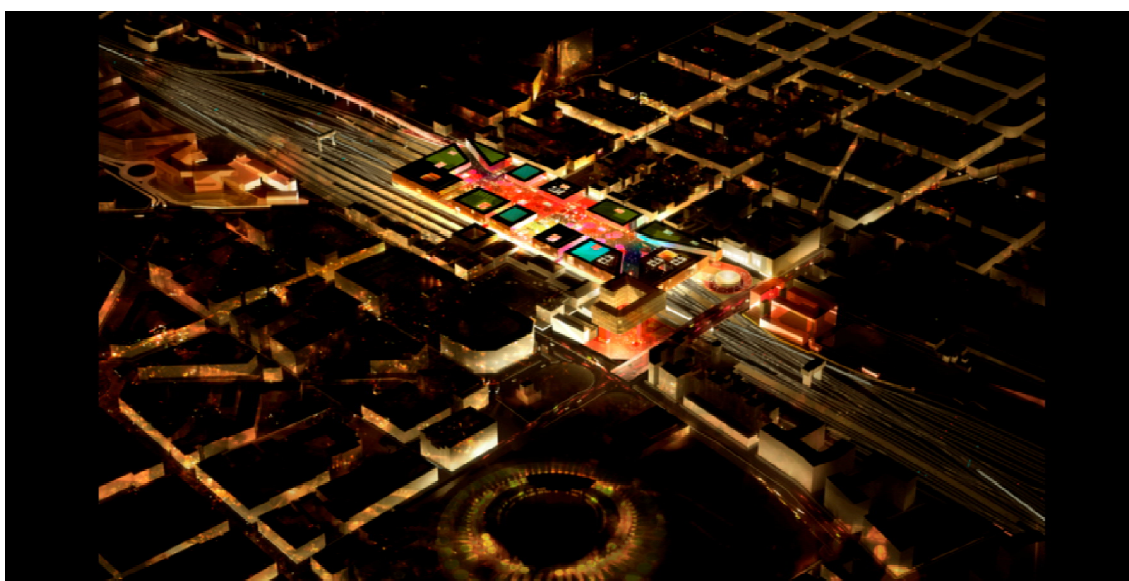
Oggetto: **Palazzo di Giustizia a Cordoba (City of Justice)** Luogo/Anno: **Cordoba (Spagna), 2008 (in costruz.)**
 Progettista: **Mecanoo**
 Riferimento architettonico: **esempio di edificio di tipologia “piastra”**



Oggetto: **University for technical studies and economics** Luogo/Anno **Aalen (Germania), 2006**
Progettista: **MGF Architects**
Riferimento architettonico: **esempio di studio della pannellatura verticale mobile di rivestimento**



Oggetto: **Cité du Design** Luogo/Anno **Saint Étienne (Francia), 2006**
Progettista: **LIN**
Riferimento architettonico: **esempio di studio scocca di rivestimento/copertura e sua modularità**



Oggetto: **Concorso per la stazione di Bologna** Luogo/Anno
Bologna (Italia); non realizzato
 Progettista: **MVRDV**
 Riferimento architettonico:
esempio di gestione dei collegamenti e dei flussi e creazione spazio urbano



Oggetto: **Borneo-Sporenburg** Luogo/Anno
Amsterdam (Olanda); 2000
 Progettista: **MVRDV**
 Riferimento architettonico:
esempio d'interpretazione dello spazio urbano tipico olandese



Oggetto:

Almazara Olisur Olive Oil Factory

Progettista:**GH+A**

Riferimento architettonico:

esempio di studio di scocca di rivestimento/copertura

Luogo/Anno

Santiago (Cile); 2008

2.9 Un percorso progettuale a tappe

Il processo di progettazione compositiva parte dalla macroscale attraverso uno sguardo all'intera area di progetto fino ad arrivare alla microscale del singolo spazio funzionale. Fino adesso è stato descritto tutto ciò che in qualche modo ha influenzato la progettazione. Tuttavia ciò che è stato presentato come valutazione precedente alla creazione architettonica deve essere pensato come un qualcosa di temporalmente contestuale all'evoluzione delle forme architettoniche.

Vengono riportate di seguito le linee guida che indirizzeranno lo sviluppo dell'intero progetto:

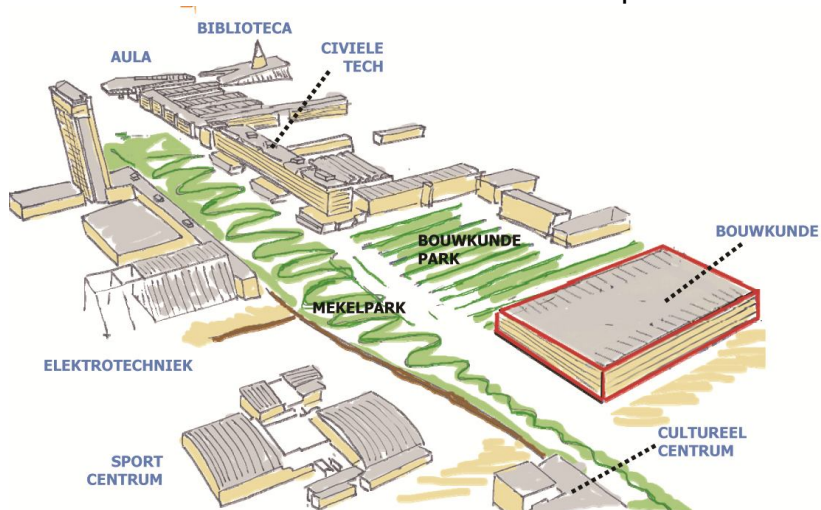


Figura 59 sketch del campus e inserimento volume del Bouwkunde

- creazione di un simbolo, un punto di riferimento visibile e riconoscibile nel campus;
- creazione di un'unica entità che raccolga molteplici funzioni interne;
- creazione di aree di socializzazione;
- portare il verde all'interno dell'edificio;



Figura 60 sketch di interno zone comuni

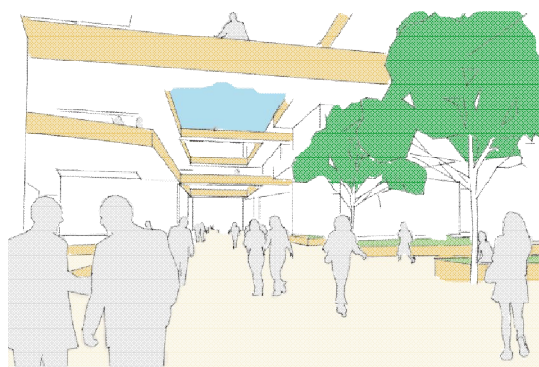


Figura 61 sketch di interno percorsi

- gestione dei flussi attraverso una rete di percorsi interni riconoscibile.

2.9.1 Elaborazione planimetrica

La creazione di un unico edificio è stata fin da subito una chiara scelta progettuale e ad essa si affianca una soluzione “a piastra” dell’intero complesso.

Tale associazione viene forzata da altre considerazioni di natura spaziale e di impatto sul contesto. All’interno del campus si nota come la maggior parte degli edifici preferisca una soluzione planimetrica estensiva a dispetto di un tipologia a torre. Quest’ultima è presente come facoltà di elettronica e matematica. Ad una prima analisi la sua presenza risulta invasiva in termini visivi e di ombreggiamento sul contesto.

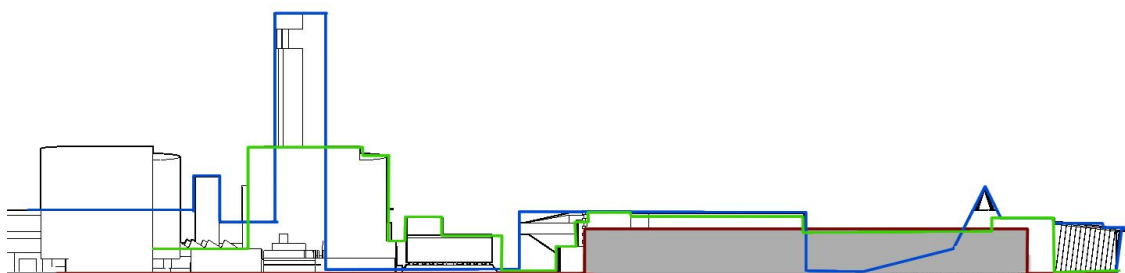


Figura 62 studio skyline campus; sez. trasversale

Uno studio dello skyline fa notare come la soluzione a tre piani e sottotetto fuori terra si armonizzi al meglio all’interno del lotto di progetto. Le due linee evidenziate in verde e blu permettono di visualizzare l’andamento delle altezze degli edifici che risulta mediamente costante eccezione fatta per alcuni casi singolari interni al campus. La linea blu evidenzia gli edifici più lontani mentre quella verde quelli prossimi alla zona di progetto. La linea rossa è quella di progetto e analizza il possibile inserimento dell’edificio abbozzate le dimensioni attraverso alcune valutazioni volumetriche.

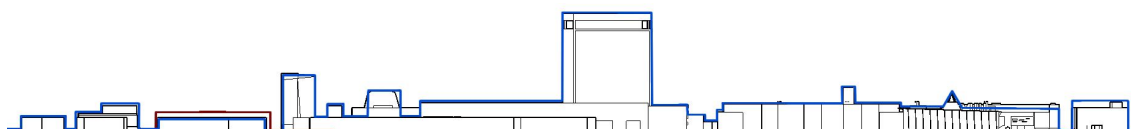


Figura 63 studio skyline campus; sez. longitudinale

La vista longitudinale al campus non fa che confermare le costatazioni enunciate attraverso la sezione trasversale; la facoltà di elettronica è l’edificio che spicca e sormonta gli altri.

Si coglie l’occasione per esplicitare la scelta dell’area di progetto che ricade inevitabilmente sul sito appartenente alla vecchia sede ormai demolita (vedi paragrafo “area di progetto e situazione attuale”). Tale scelta viene dettata non solo da ragioni conseguenti le indicazioni del bando ma trova forza in considerazioni di tipo orientativo / illuminotecnico / energetico a favore di una buona accessibilità alla luce solare.

La soluzione finale è chiaramente di tipo estensivo tanto da arrivare a comprendere una parte dello spazio a est adibito a parcheggio; ciò risulta evidente anche solo attraverso una valutazione di massima della metratura

totale richiesta. La tipologia a piastra viene quindi scelta come via preferenziale per creare un edificio che si insedi nel contesto e al suo interno nasconda una pluralità di ambienti e spazi.

La successiva valutazione degli spazi funzionali e la loro ripartizione comporta il primo vero problema compositivo; l'entità della superficie da trattare è enorme e il ragionare sulle superfici appoggiandosi su un'unica scala di schematizzazione/restituzione grafica non paga. Il rischio di "perdersi" all'interno dello spazio mentre si genera la pianta è notevole.

Si deve attuare un approccio su più scale di definizione di rappresentazione; in questo modo l'evoluzione di una singola parte di edificio procede di pari passo con la definizione di macrozone funzionali.

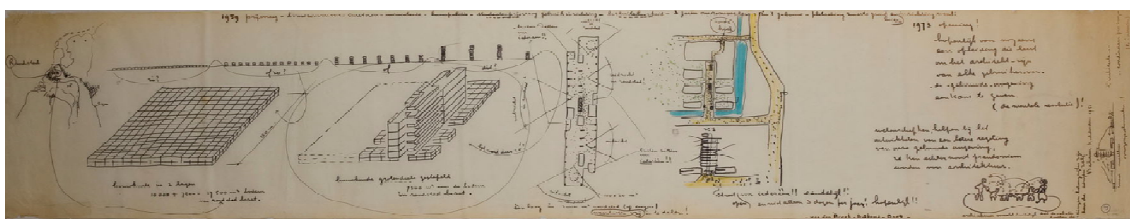


Figura 64 stralcio di tavola progettuale di V.den B.

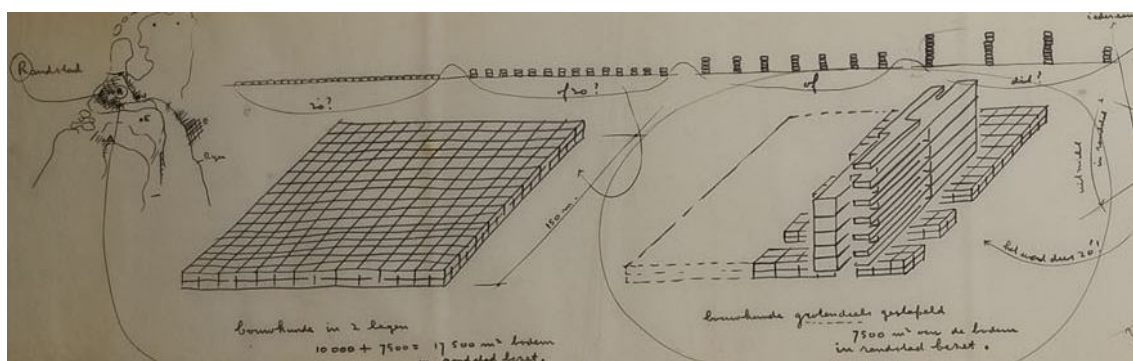


Figura 65 stralcio di tavola progettuale di V.den B. (zoom)

La metodologia applicata prende spunto da uno stralcio di tavola progettuale dello stesso Van der Broek. Da essa si trae una logica semplice di schematizzazione dello spazio in volumi più piccoli che possono essere gestiti con più facilità all'interno del processo di composizione.

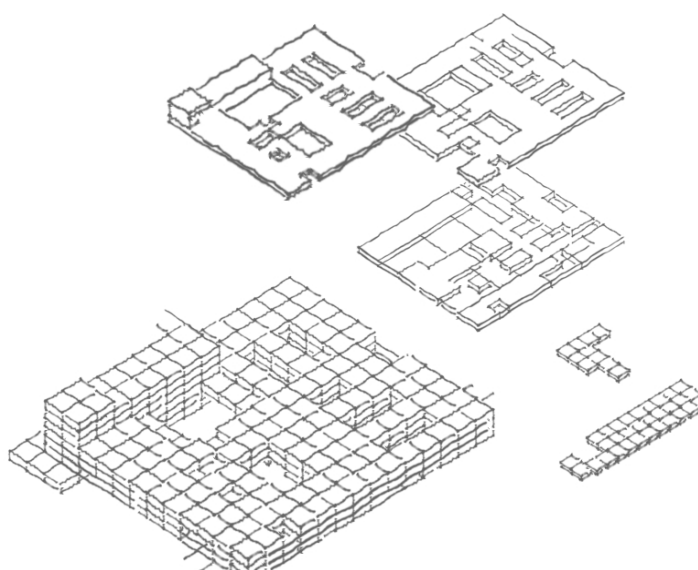


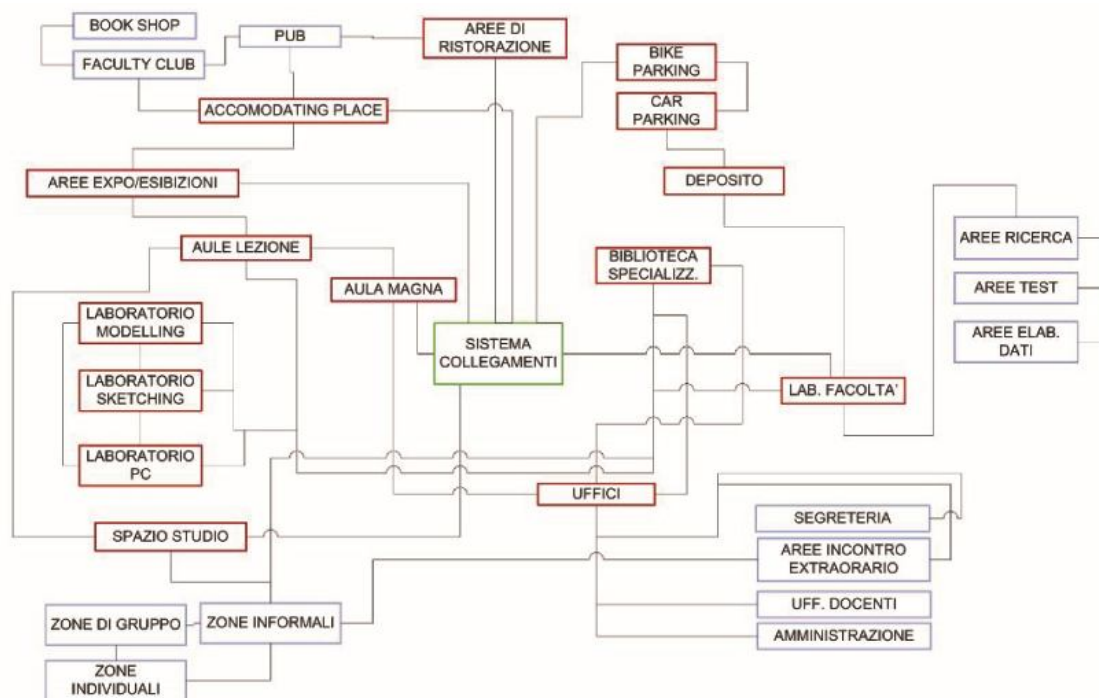
Figura 66 processo di schematizzazione spaziale per macrovolumi

L'evoluzione di tale logica semplificativa prevede la ripartizione di tali volumi minori a seconda delle destinazioni d'uso individuate e proposte dal bando. In questo modo non solo si mantiene sotto controllo il volume totale dell'edificio ma anche il rapporto quantitativo tra le varie funzioni. Il blocco introdotto ha dimensioni di comodità pari a 10x10m e alto 3m.

Come si può notare il progetto è ancora svincolato da eventuali valutazioni sull'area di progetto; risente solo di una definizione generale del volume massimo utilizzabile sulla base delle metrature proposte da bando relazionate alla superficie occupabile rilevata. Nelle fasi successive sarà evidente lo sviluppo delle caratteristiche compositive.

Ora risulta interessante ragionare ancora sugli spazi e sulle funzioni: l'interazione qualitativa tra le attività previste definisce la successione e l'accostamento in un determinato ordine dei volumi base introdotti precedentemente. Si fornisce uno schema che deve fare riflettere sull'importanza del connettivo interno all'edificio.

Figura 67 schematizzazione dei collegamenti tra zone funzionali



Attraverso tale schema si capisce come sia importante isolare le zone di pubblica funzione da attività scolastiche e d'ufficio che necessitano di una maggiore privacy.

Il volume riesce a prendere forma e acquista una connotazione più realistica nel momento in cui si decide di evolvere le singole unità volumetriche in aggregati di funzioni in una successione che deve essere tutta immaginata. A tal proposito ipotizzando di percorrere lo spazio si riescono a collocare le varie destinazioni secondo un ordine mentale preciso che genera la pianta nella sua alternanza di spazi pubblici, privati e di connettivo.

La planimetria ottenuta è ancora "grezza" ma permette di confrontarsi con tematiche spaziali imprescindibili per il buon esito finale. Vero è che vengono

definite le minime unità aggregative all'interno delle quali lo spazio viene ordinato prediligendo l'accoppiamento di determinate funzioni a scapito di altre. La figura successiva propone un abbozzo di tale ordine mentale ma risulta evidente come lo spazio venga ordinato in sottozone minori.

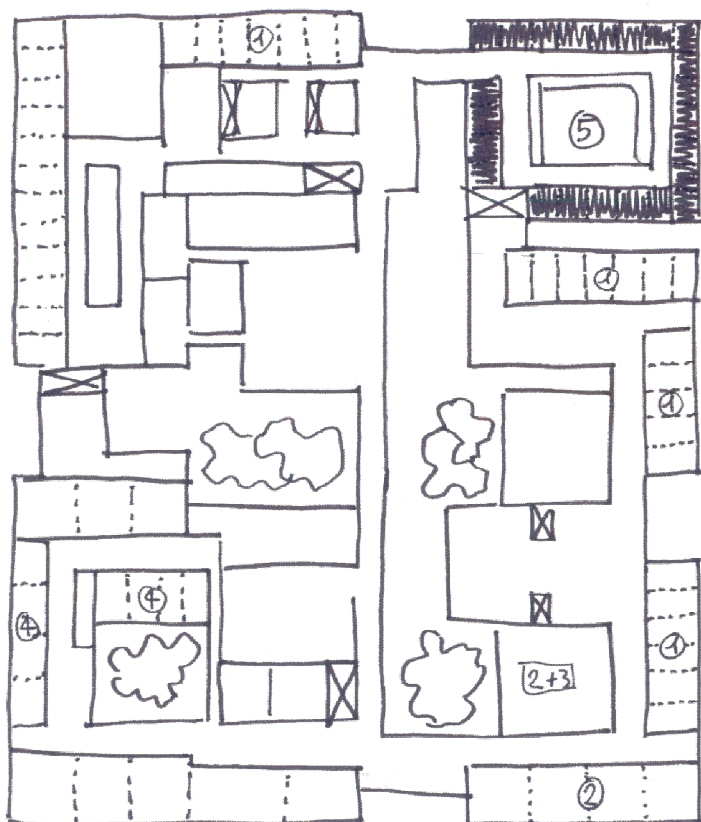
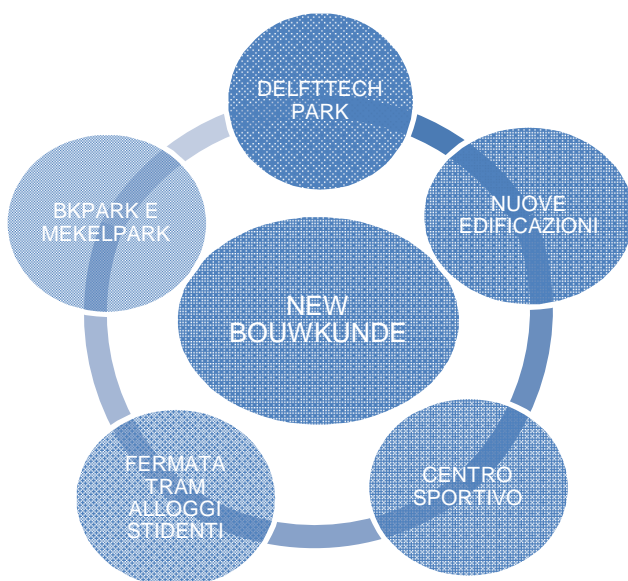


Figura 68 sketch di elaborazione planimetrica:
 1-zona studio aula / modulo singolo
 2-aule modulo doppio
 3-laboratori
 4-uffici
 5-biblioteca

Figura 69 schema dei punti nevralgici del contesto

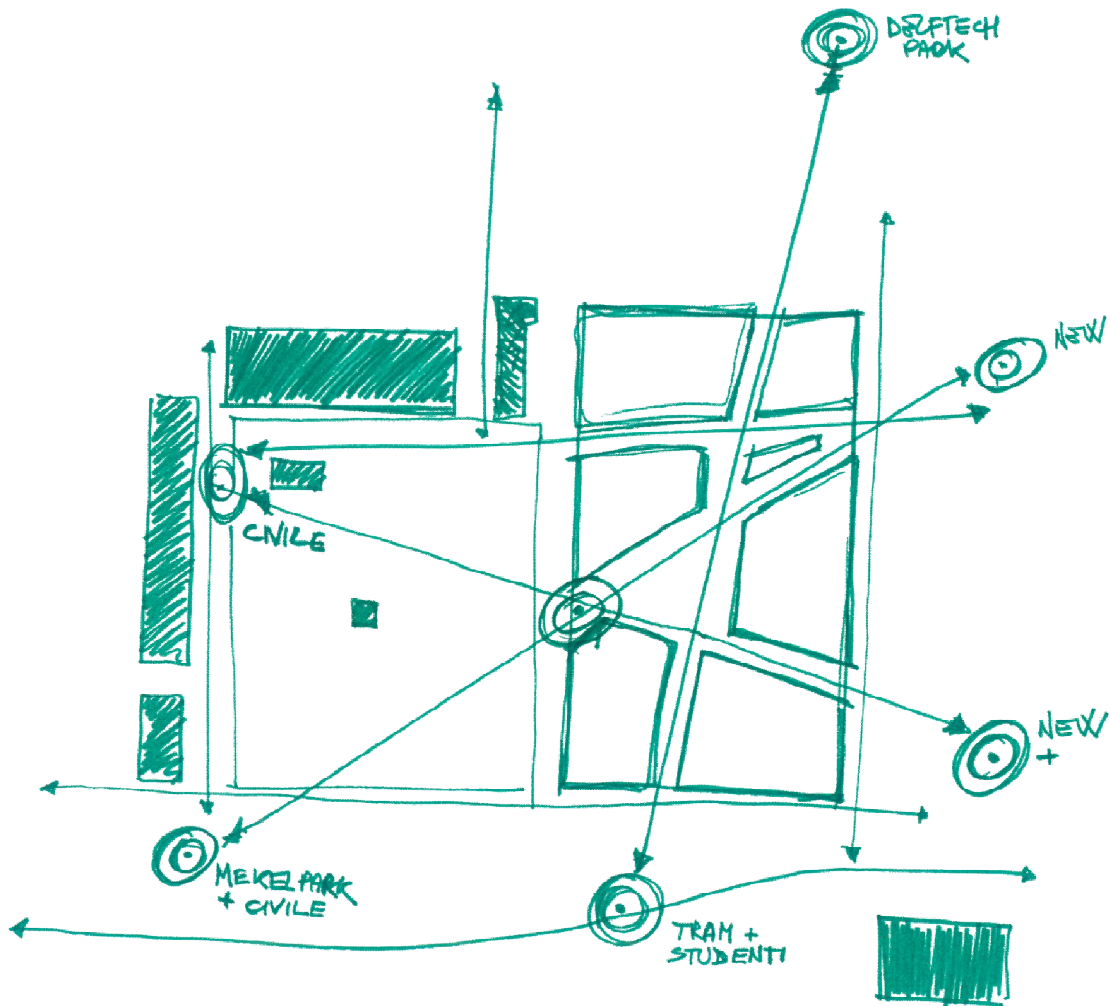


L'area di progetto viene attraversata da invisibili linee di collegamento tra poli di attrazione esterni o concomitanti al campus. Da questa constatazione deriva la possibilità di raffinazione della pianta fin qui sviluppata.

Dal successivo diagramma risulta chiaro come vi sia una particolare trama di collegamenti insita nell'area e una potenziale gestione dei flussi di attraversamento della stessa. Tale argomento risulta essere il secondo aspetto compositivo di fondamentale importanza.

I punti di attrazione che vengono presi in considerazione sono i seguenti:

Figura 70 sketch di sintesi collegamenti e punti nevralgici esterni all'area di progetto



- Sede di ing. Civile e Bouwpark
- Sede di elettronica e matematica
- Stazione del tram e residenze studentesche
- Tecnopolis e sport centrum
- Tecnopolis e futuri interventi
- Delftechpark

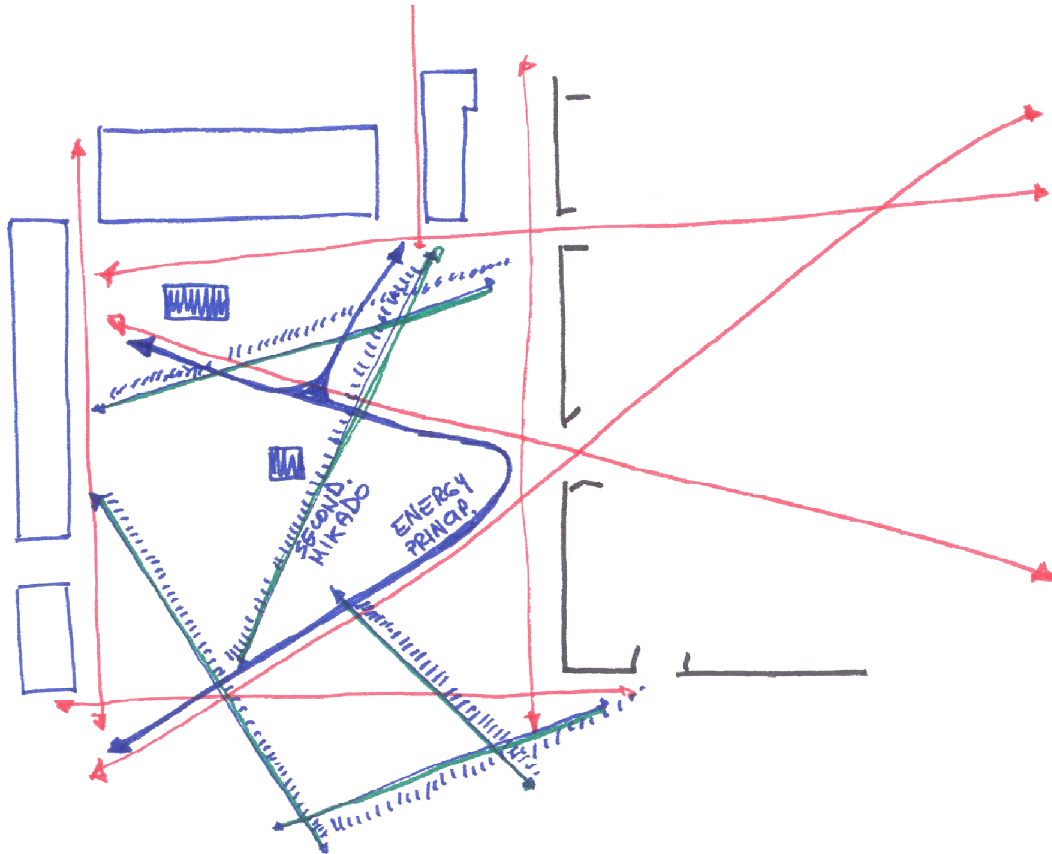
La schematizzazione proposta permette un'evoluzione della pianta e una caratterizzazione dello spazio verde esterno adibito a parco.

Il parco viene trattato secondo una logica in linea con l'ammodernamento dell'esistente mekelpark. Si crea un'estensione della lingua dei collegamenti interna al campus: la Energy-line si biforca e devia all'interno dell'area collegando l'edificio e segnando il lotto insieme ai mikado posati apparentemente in modo casuale ma che cercano di collegare i punti nevralgici e di sosta secondo il criterio del percorso più breve.

La percorribilità è di tipo pedonale mentre la ciclabilità è rimandata a percorsi situati ai bordi delle zone verdi.

Nello schema successivo viene evidenziato il percorso principale rispetto agli schemi di posa casuali dei mikado.

Figura 71 sketch riassuntivo della sistemazione esterna del parco



Alla luce di tali nuove constatazioni la pianta vede evolversi secondo un nuovo criterio: gli spazi precedentemente immaginati vengono raggruppati in macrozone di funzione prettamente pubblica a livello basamentale (piano terra) mentre ai piani superiori la semplificazione di solo due destinazioni suggerisce l'unificazione in 2 grandi aree accostate.

Tale schematizzazione sottintende una duplice rete di percorsi posta a livelli differenti; si definiscono pertanto una macrorete al piano terra e una microrete ai livelli superiori:

- la macrorete definisce gli spazi e ne esalta l'unicità delle destinazioni;
- la microrete è funzionale e permea i piani creando veloci collegamenti tra le aule e tra uffici.

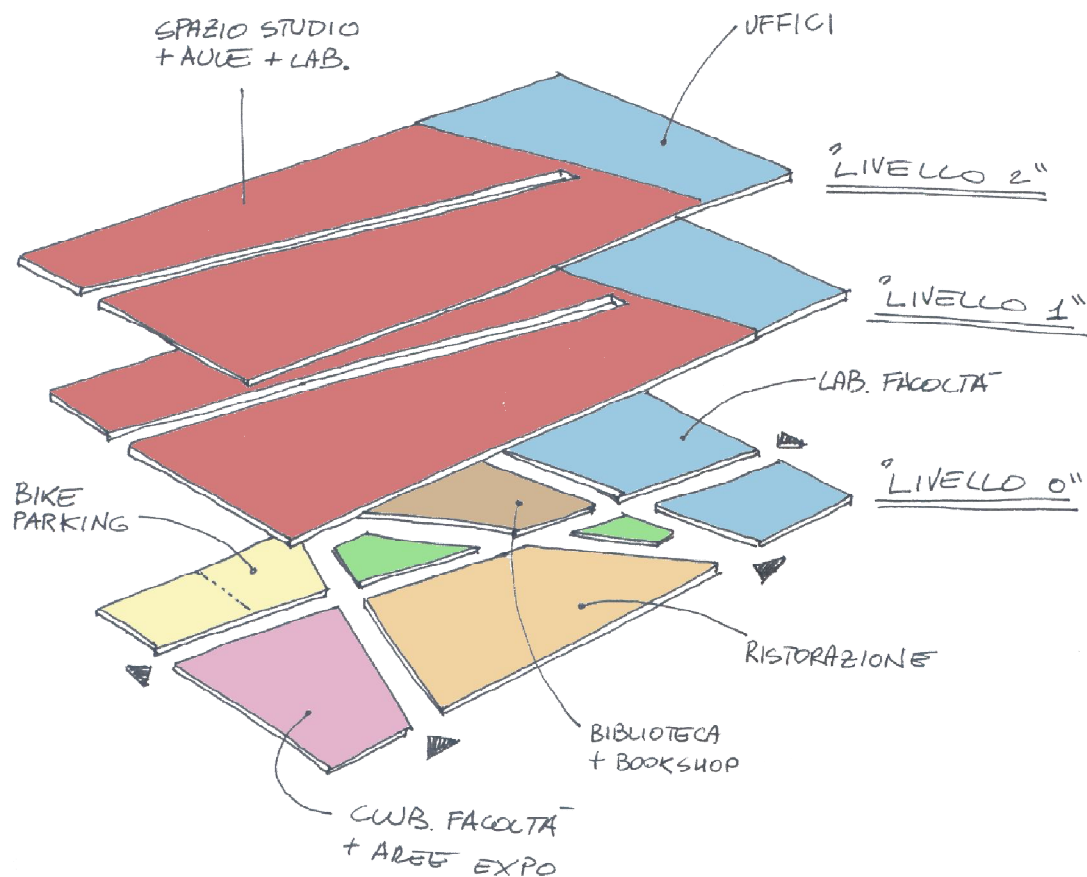


Figura 72 schema di riassunto divisione funzionale a più livelli

L'impostazione di tale connettivo vuole rassomigliare a un intersecarsi di "streets" a più livelli che filtrano il passaggio dall'esterno all'interno: dal pubblico a zone con maggiore privacy.

L'ingresso principale risulta orientato sul lato nord alla piega della Energy line in arrivo dal Bouwpark (vedi schemi precedenti). I percorsi tracciati creano due zone comuni la prima, più grande divisa in area esterna e interna all'edificio e la seconda, più piccola, totalmente interna. Longitudinalmente la pianta viene spartita in due ampie zone dalla street centrale; essa rappresenta una linea compositiva forte tanto che la sua riproposizione ai piani superiori richiede l'ausilio di "passaggi aerei" per ricucire le due metà della pianta.

I percorsi tracciati permettono di ristabilire la continuità di attraversamento dell'intera

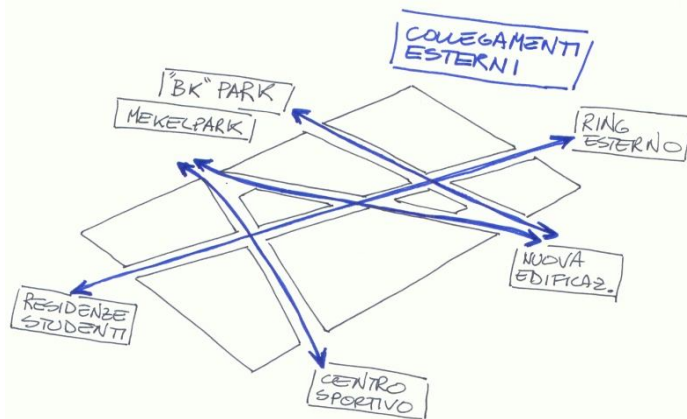


Figura 73 caratterizzazione collegamenti piano terra

area di intervento ricucendo i 4 lembi di terreno delimitanti l'edificio che ricordiamo, si spalma su quasi tutta l'area interessata.

Al piano terra i blocchi vivono di una loro singolarità volumetrica come unità abitative in affaccio sulla strada limitrofa; ciò è possibile in quanto abbiamo una dominanza di funzioni pubbliche. Gli schemi proposti identificano la valutazione delle funzioni dominanti che è poi possibile riflettere all'esterno e quali meno:

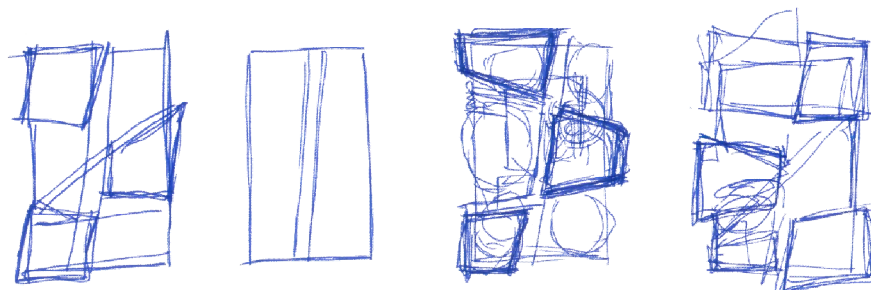


Figura 74 sketch di ragionamento sui blocchi/funzione del piano terra

- Mensa
- piazza/biblioteca
- uffici/laboratori
- pub/zona espositiva

La microrete dei livelli superiori al PT consente di collegare in modo adeguato gli spazi funzionali rispettivamente di uffici e zona studentesca. Si assiste ad una unificazione progressiva dello spazio attraverso la semplificazione delle possibilità aggregative tra gli spazi. Risulta chiaro che la frammentazione del piano terra non paga ai livelli superiori dove abbiamo funzioni che per loro natura interagiscono tra loro come se fossero un tutt'uno.

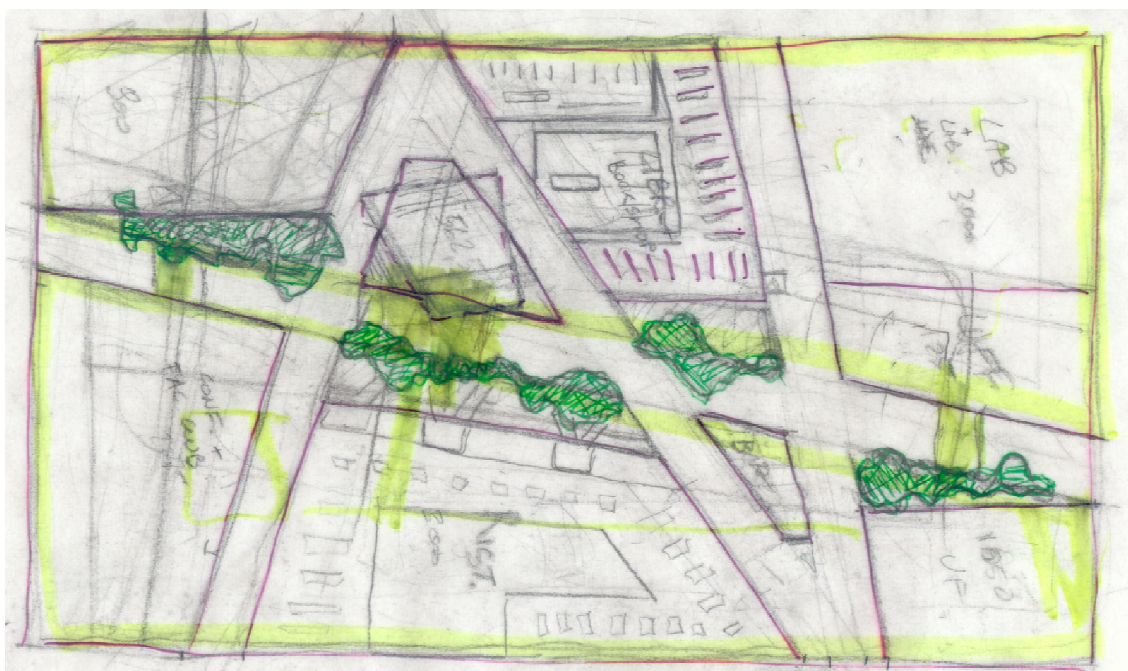


Figura 75 sketch di sovrapposizione tra percorsi e volumi tra i vari livelli

Tale processo è in un certo qual modo figlio della intrinseca volontà di creare un edificio unico; uno spazio unitario e compatto. Le linee nere delimitano gli spazi sottostanti del piano terra mentre le linee evidenziate in giallo visualizzano l'unificazione dei piani superiori in due grandi "faldoni" tra loro da collegare attraverso percorsi in punti selezionati da valutare strategicamente. L'immagine proposta è simbolo di tale ragionamento perché propone la sovrapposizione di tali spazi; il ragionamento è ben visibile.

Rispetto al dettaglio planimetrico di caratterizzazione spaziale precedentemente raggiunto, sembra essersi fatto un passo indietro nella progettazione ma è solo un'impressione in quanto si sta cercando di sviluppare un discorso lineare di un processo che per sua natura non può essere sequenziale ma prevede la parallelizzazione di più valutazioni. Le due valutazioni sono concomitanti e interagiscono tra loro.

A riprova di ciò che è stato appena detto si coglie l'occasione per introdurre una valutazione preliminare sulla struttura portante dell'edificio.

Molte scelte compiute in tale ambito sono correlate a valutazioni di tipo energetico ma nel nostro ambito attuale è interessante capire la correlazione tra modulo strutturale e unità volumetrica che con l'approccio compositivo iniziale è stato introdotto. Il risultato finale che si vuole raggiungere è la creazione di una maglia strutturale il più regolare possibile nascosta all'interno di un impianto che seguendo le linee tracciate fino adesso non brilla per regolarità.

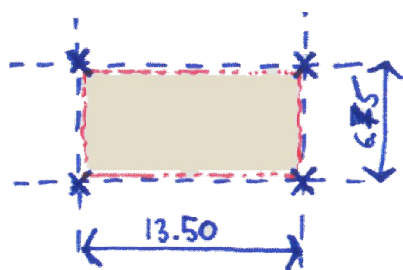


Figura 76 modulo strutturale

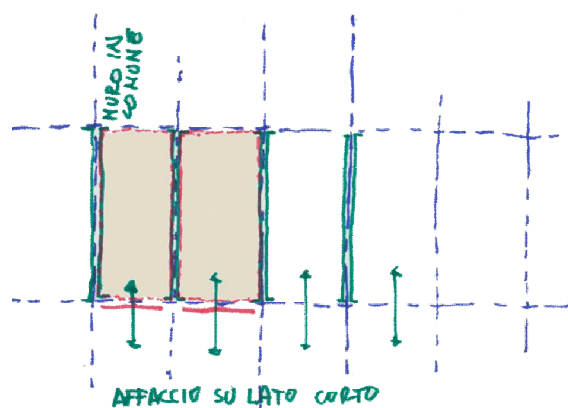


Figura 77 associazione di moduli lungo il lato lungo e affaccio esterno sul lato corto

le immagini permettono di apprezzare una sequenzialità nelle elaborazioni del modulo considerandone prima l'aggregabilità e in secondo modo la tipologia di ambienti configurabili. In verde si evidenziano i percorsi di uno dei piani superiori. Si vuole indagare in tale fase la coerenza tra la maglia e gli spazi funzionali. Tale stadio compositivo presuppone una interazione tra l'unità base strutturale e quella funzionale.

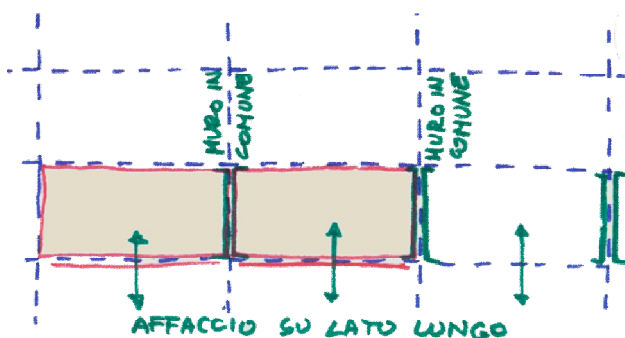


Figura 78 associazione di moduli lungo il lato corto e affaccio esterno sul lato lungo

L'evoluzione del modulo viene quindi studiata attraverso una sinergia tra elemento strutturale scelto e suoi limiti dimensionali relazionati alla portanza e valutazioni di tipo dimensionale/spaziale consigliate da manualistica e regolamenti in uso per le funzioni.

Le precedenti dimensioni di massima pari a 10x10m vengono corrette su valori di 13.50x6.75m in rapporto $\frac{1}{2}$ tra loro. Il modulo come si vedrà permetterà una certa flessibilità nell'aggregazione tra gli spazi interni:

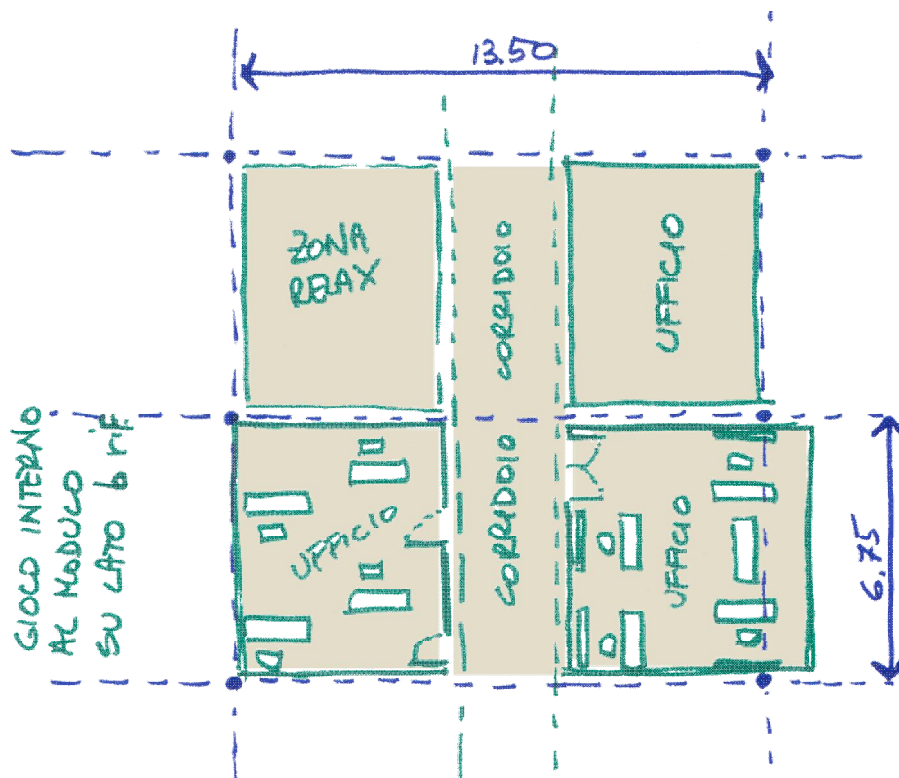


Figura79 schema modulare di aggregazione interna zona uffici

La proposta per la zona uffici prevede l'ottimizzazione dello spazio utilizzando il modulo lungo il lato più corto alternando zone di ufficio e zone di relax o corridoio.

Successivamente la proposta per la zona studenti propone il modulo lungo il lato lungo in modo da sfruttare al meglio i possibili affacci esterni per illuminare i locali.

Le variazioni configurabili all'interno dei moduli sono l'inserimento dei pozzi di luce e delle zone di collegamento.

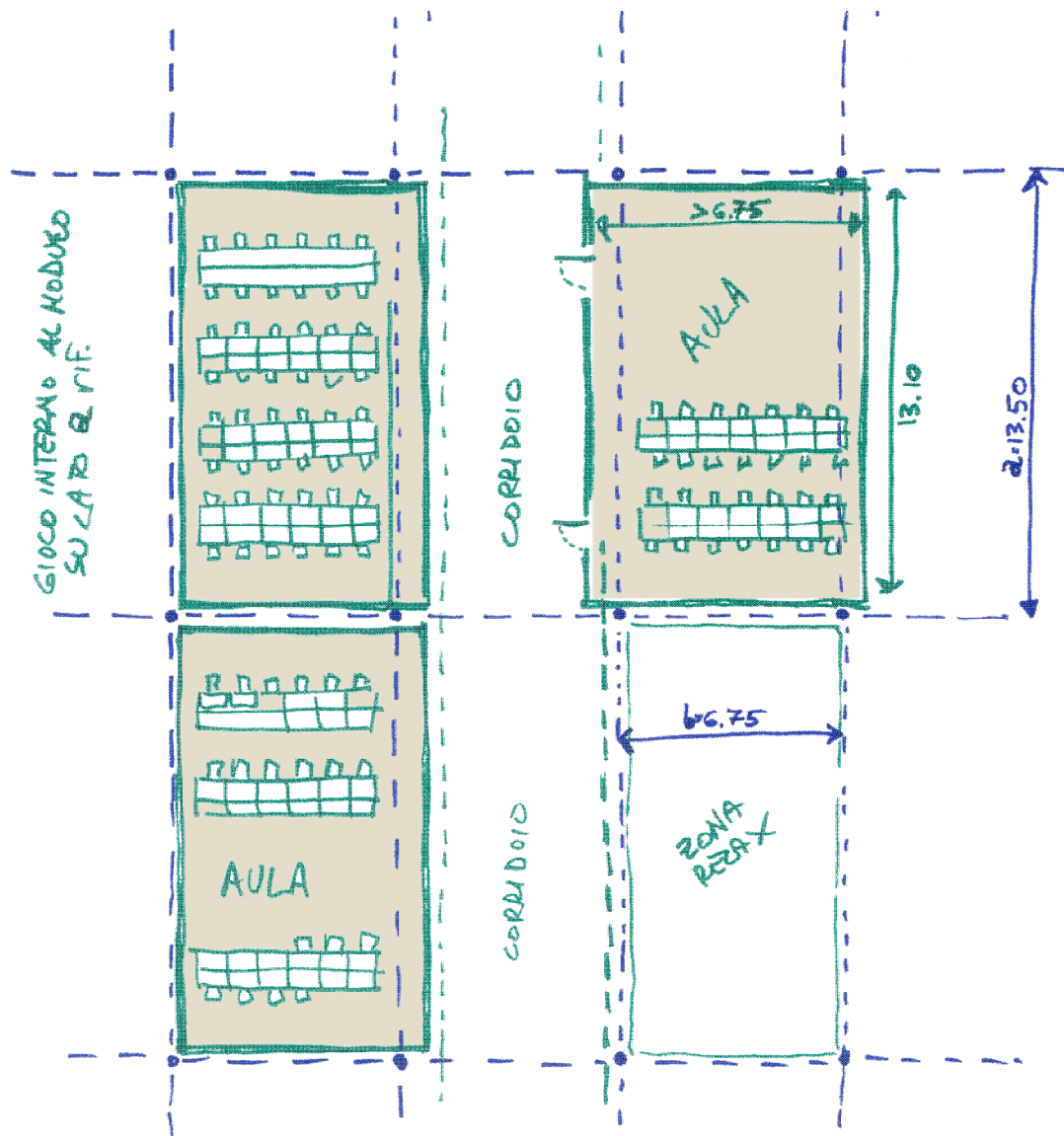


Figura 80 schema modulare di aggregazione interna per la zona studio

Il modulo permette l'alternanza di spazi funzionali e zone relax ma anche bagni, scale e uffici. L'immagine propone quindi uno stralcio delle possibilità aggregative.

La successione tra spazio funzionale e connettivo viene studiata in progressione cercando una visualizzazione mentale degli spazi come già proposto precedentemente oppure sfrutta, riproponendo, gli spazi già ipotizzati precedentemente.

Il progetto acquista definitivamente scala umana perché è possibile gestire in modo più o meno modulare la pianta e di riflesso il volume dell'intero edificio.

A questo punto è possibile effettuare un "passaggio di scala" verso le piante definitive.

2.9.2 Elaborazione prospettica

L'elaborazione dei prospetti tiene conto di molteplici fattori e non solo di natura compositiva ma anche di esigenze tecniche per la fruizione degli spazi. Così come le piante anche per i prospetti il punto di partenza è l'idea base di un unico edificio; un grande volume che si impone all'interno del campus. L'architettonico si compone in modo paritario di prospetti, piante e sezioni; l'elaborazione di tali elementi avviene in parallelo perché unica è la concezione dello spazio. Logica risulta dunque essere la partenza da uno stesso concetto comune unita all'esplicitazione in facciata della divisione interna tra il livello PT pubblico e i due livelli superiori di maggiore privacy.



Figura 81 sketch di progetto

L'idea progettuale verte dunque su un elemento basamentale che si schiaccia sotto la presenza di un corpo unitario superiore. La smaterializzazione del blocco inferiore avviene attraverso l'utilizzo del vetro pensato come materiale unificatore per tale livello. Il corpo superiore si presenta come una massa unitaria di forma pura pronta per essere lavorata.

Volendo riproporre in facciata l'idea di progressiva unificazione già vista a proposito delle piante risulta evidente la necessità di un elemento visibile che possa funzionare allo scopo.

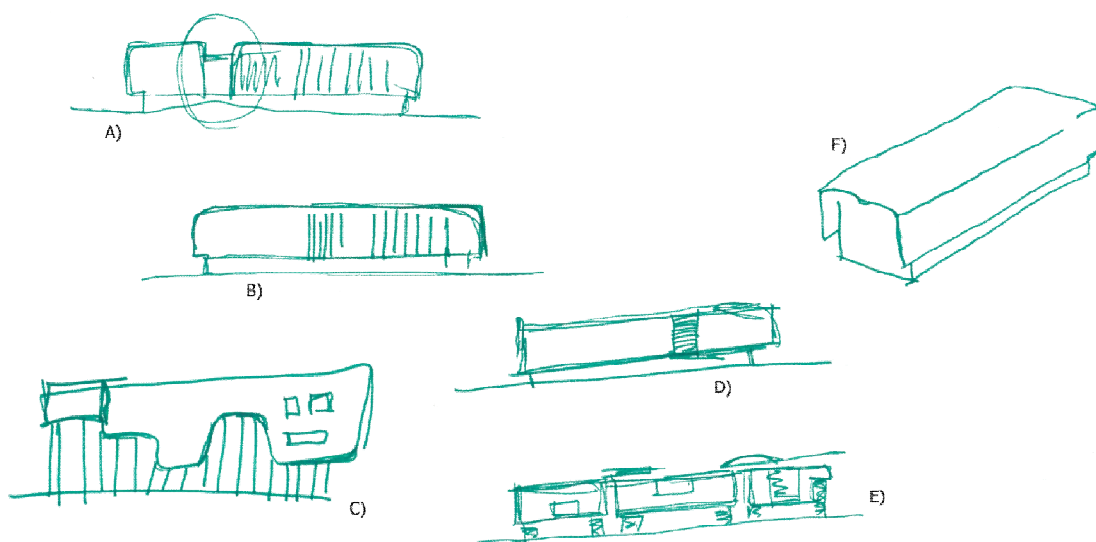


Figura 82 sketch di evoluzione copertura: a;b) fronte est-ovest valutazione ingressi ed elementi verticali, c) fronte sud-nord irregolarità della scocca su vetro, d,e) fronte sud-nord valutazione di frammentazione della scocca, f) scocca con oggetto su fronte est-ovest

È a tal proposito che si va ad introdurre l'elemento compositivo della scocca di rivestimento. Questo elemento si fissa come obiettivo l'unificazione dell'intero corpo architettonico sotto un unico grande elemento di copertura comune.

Ciò che poteva sembrare un elemento pesante gravante sulla base ora diviene leggero e flessibile che è possibile intagliare e scavare là dove la necessità lo richieda.

La concezione della scocca parte dalla elaborazione di una semplice superficie, che come un foglio viene arrotolato e adattato sulla "scatola-edificio" sottostante. Successivamente viene scanalata e intagliata là dove esigenze di natura tecnica lo richiedono. La gestione dei locali interni necessita della presenza inevitabile di aperture verso l'esterno che negano l'integrità del rivestimento. Il risultato finale è simile ad una pelle che adagiata su una forma sottostante, si adatta e si sfilaccia.

La scocca non è più un mero oggetto architettonico ma si carica di valenza tecnologica rispondendo a problematiche illuminotecniche, celando il passaggio impiantistico, supportando l'installazione di sistemi rinnovabili.

"L'abbraccio" di questo elemento scende sui fianchi dell'edificio interessando i fronti nord e sud che divengono parte integrante di tale sistema e aggettando su quelli ad est e ovest.

La caratterizzazione dei fronti vuole creare un connubio tra estetica e funzionalità. La differenziazione secondo due percorsi comunicativi diversi accoppia le facciate tra loro parallele secondo le direzioni specifiche:

- **NORD-SUD**

Su tale fronte si è voluta ricercare un'analogia con una delle più tipiche immagini delle cittadine olandesi; abitazioni con grandi aperture ammassate una dopo l'altra e in affaccio su un canale cittadino.

Tale successione propone talvolta l'accostamento di materiali costituenti la facciata tra loro totalmente diversi.

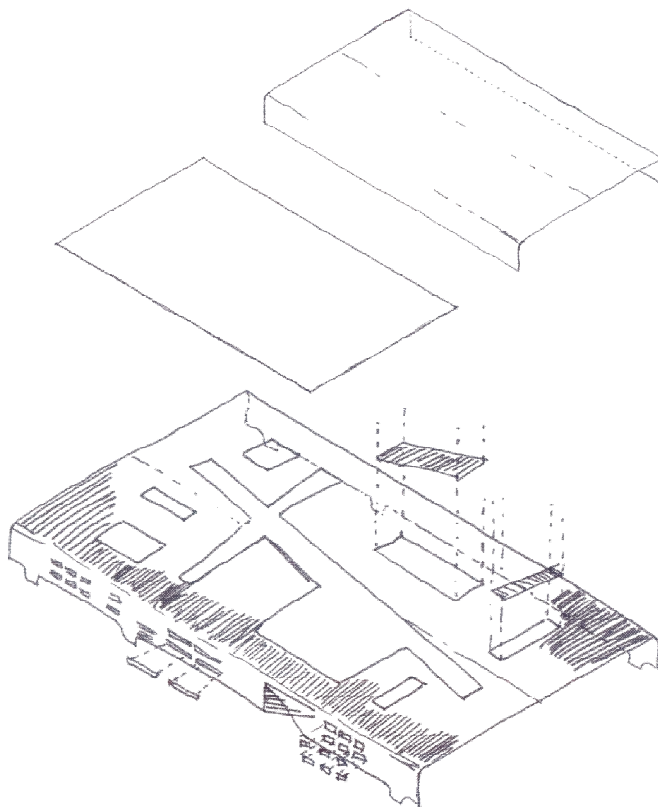


Figura 83 evoluzione della scocca di rivestimento



Figura 84 lettura e comparazione in negativo di vuoti e pieni tra facciata e ambienti di contesto.

La trasposizione in facciata di tale motivo pretende una diversificazione del rivestimento dal punto di vista cromatico ma sempre sulla stessa tonalità di colore e dal punto di vista geometrico alternando i rigonfiamenti e scanalature dei pannelli del piano di facciata. Il tutto viene scandito dalla presenza di ampie superfici finestrate che bucano tale piano. Effetto analogo si otterrebbe considerando il prospetto del progetto “Borneo” degli MVRDV di case residenziali olandesi. Da un punto di vista progettuale sembra inutile sottolineare che anche il prospetto vive di una certa modularità nel rapporto tra i singoli materiali di rivestimento e la posizione e dimensione delle finestre.

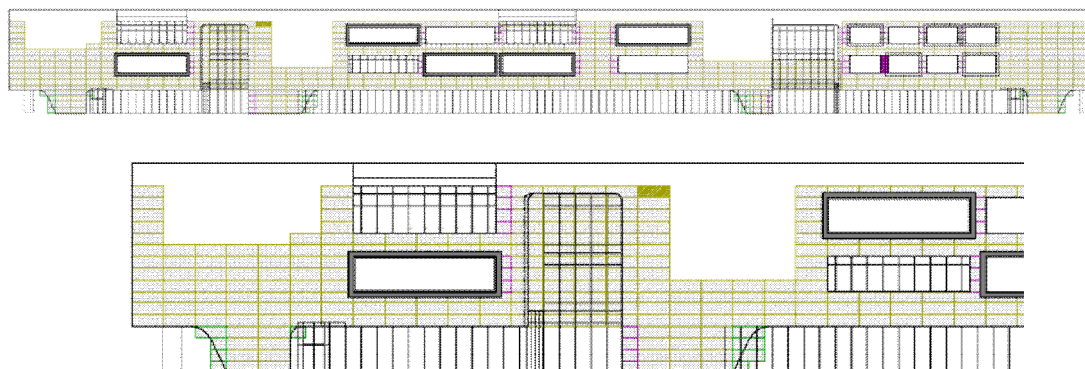


Figura 85 schemi di gestione della modularità del rivestimento della facciata

L'immagine mostra come il modulo base in facciata richiami quello della larghezza delle zone vetrate e cioè pari a 1.35m. l'unità base rappresentata da un rettangolo è alta 1m e larga 2.70m (modulo giallo) rendendo possibili eventuali dimezzamenti di modulo (elemento viola) o adattamenti in alzato con la posizione delle finestre. Vi sono poi indicati in verde i moduli che vengono tagliati per meglio adattarsi alla forma della scocca. Il livello del piano terra viene arretrato rispetto al piano di facciata dei piani superiori.

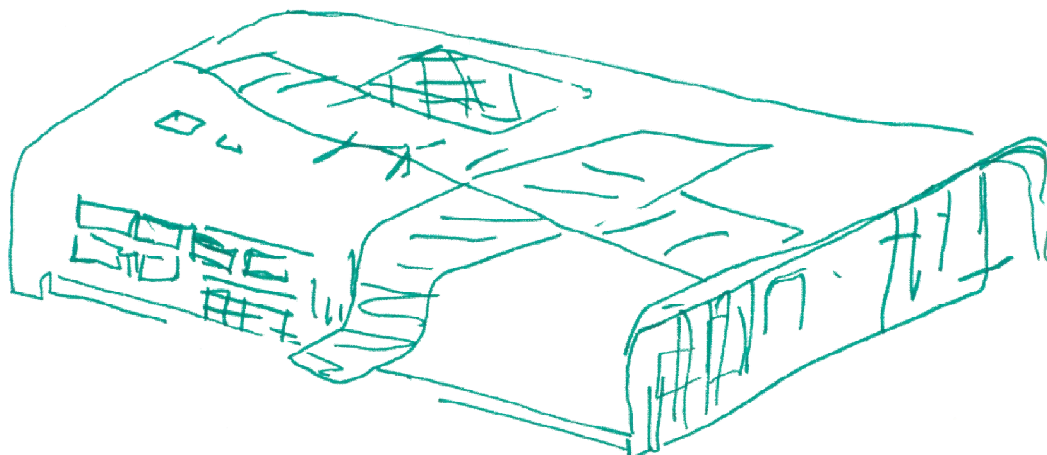


Figura 86 sketch di previsione sulla possibile forma finale del progetto (vista nord-ovest)

- EST-OVEST

La direzione est-ovest viene trattata in modo totalmente differente andando ad estremizzare la presenza di un elemento tecnologico qual'è il frangisole ad orientamento verticale. Tale scelta deriva da riflessioni di tipo tecnico illuminotecnico/energetico ma anche dalla volontà di rompere con i due fronti adiacenti pur ammettendo la presenza della scocca aggettante. Il frangisole viene ingigantito e disposto lungo tutta la facciata. L'effetto è di ottenere un nuovo piano capace di smaterializzarsi parallelo a quello di rivestimento sottostante.

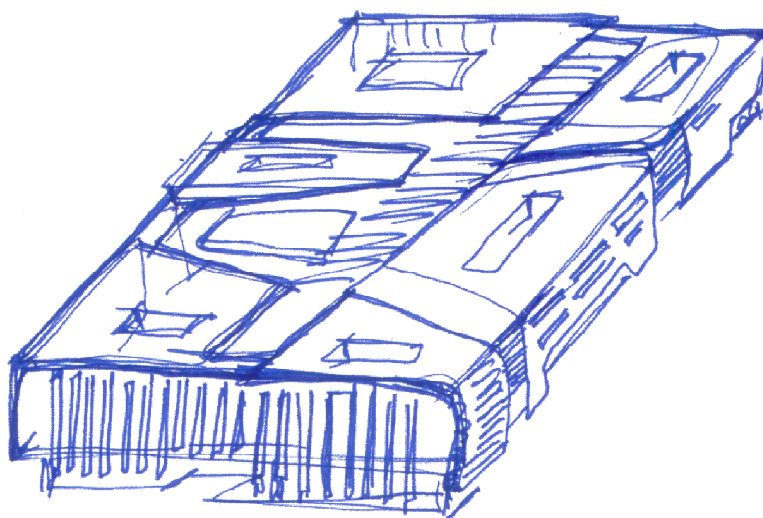


Figura 87 sketch di previsione sulla possibile forma finale del progetto (vista est-sud)

2.10 Il progetto



Figura 88 vista d'insieme del progetto del NEW BOUWKUNDE

2.10.1 Planivolumetrico



Figura 89 vista d'insieme dell'intervento (stralcio da tavola dedicata)

Il progetto della nuova sede d'Architettura interno al TUDelft si colloca all'estremità meridionale del campus come edificio di "chiusura" o di "presentazione" per chi giunge dal lato della Tecnopolis.

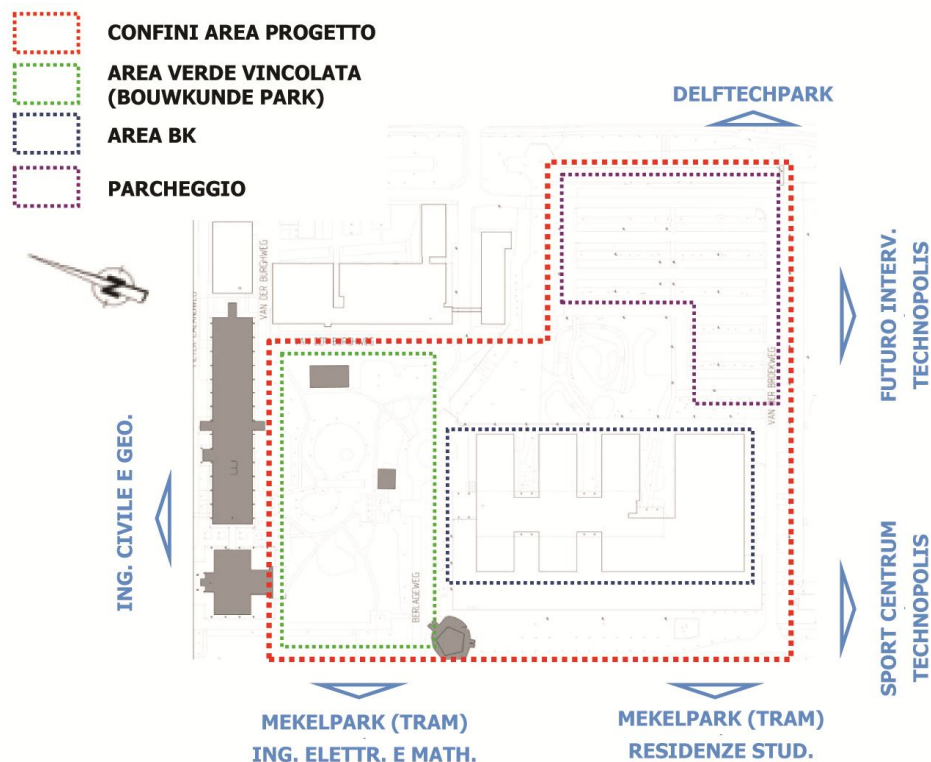


Figura 90 definizione degli spazi interni all'area di progetto

L'area utilizzata è quella suggerita dal bando e cioè quella contestuale al vecchio edificio demolito ma comprendente il vicino parcheggio. Nell'immagine si specificano le aree interne alla zona di progetto e la localizzazione dei principali punti di collegamento.

Risulta palese la scelta di una tipologia d'intervento definita "a piastra" prediligendo un approccio progettuale estensivo al fine di mantenere un'altezza finale dell'edificio coerente con il contesto. Il campus non presenta edifici esageratamente alti (eccetto la facoltà di elettronica); la ricerca di un minore impatto in elevazione è considerato quindi uno degli obiettivi. La tipologia a "piastra" viene quindi promossa come tipologia progettuale che meglio interpreta il contesto e la volontà architettonica.

Il Bouwpark viene mantenuto (come da richiesta bando) e rappresenta uno spazio verde che funge da filtro tra la vicina sede di Ingegneria Civile e il nuovo intervento.

Esso viene riadattato più coerentemente con la politica di gestione dei percorsi intrinseca all'area. Tale modifica viene ritenuta necessaria per meglio integrare il progetto nel contesto.

Va fatta notare che l'edificio pur essendo "ingombrante" nel proporsi con tutto il suo volume riesce ad integrarsi al meglio all'interno del Mekelpark (l'area che nell'immagine è delimitata in verde più chiaro e centrale a tutti gli edifici del campus). L'area si è evoluta secondo un progetto, di ridefinizione dei percorsi interni del campus. Il nuovo Boukunde si inserisce e rispetta tali percorsi inserendosi al meglio nel "frames" (vedi cap precedente) e sviluppando l'"energy line" anche all'interno del parco.

La distruzione del Bouwkunde ha interrotto la risistemazione delle zone limitrofe all'edificio tra cui il parco.

A tal proposito il progetto architettonico si è fatto carico anche di ricucire l'incoerenza all'interno di una visione più ampia dei collegamenti tra "edificio-campus-parco". Com'è facile notare l'edificio possiede più di un ingresso; quello principale risulta posto sul fronte nord in affaccio sul parco attraverso una piazza.

Lo studio dei percorsi interni al fabbricato potenzia la politica dei collegamenti attuata dal mekelpark. A dispetto dei due fronti nord e sud, l'est e l'ovest ragionano su un unico accesso.

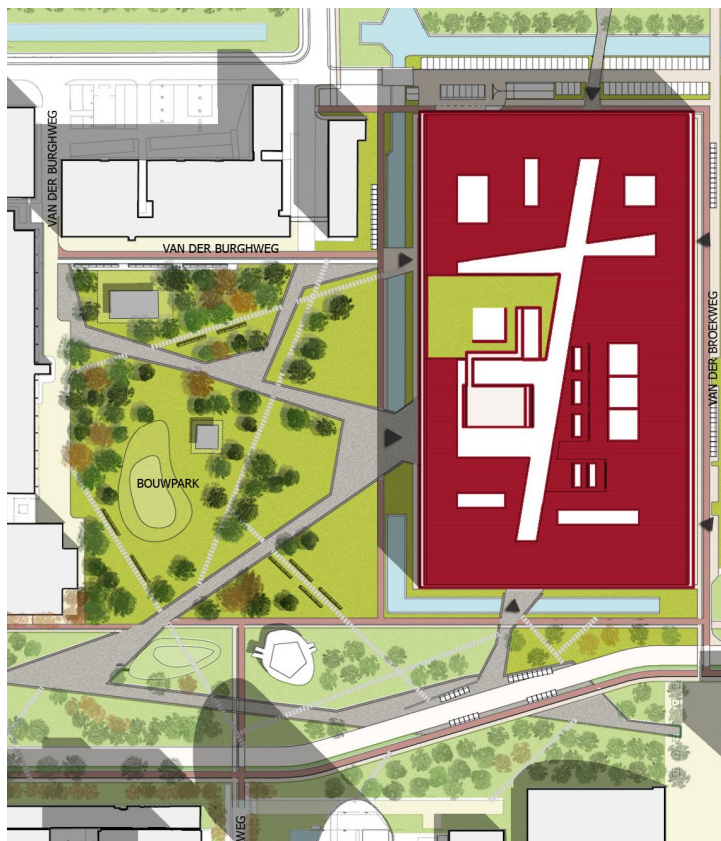


Figura 91 Ingrandimento sul nuovo Bouwkunde e il BKpark

Ad ovest è stato creato un migliore collegamento pedonale tra la futura nuova sede e lo scalo tramviario a dispetto della precedente ipotesi di sviluppo che, interfacciandosi con il vecchio edificio, portava l'utenza verso l'ingresso a nord obbligando così a transitare dal parco. Con questa nuova configurazione invece si ha un semplice, veloce e diretto collegamento.

Progetto precedente



Progetto proposto

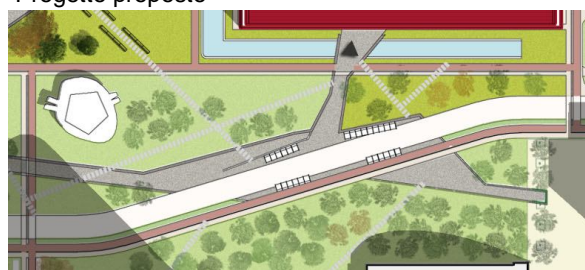


Figura 92 comparazione tra l'intervento precedente al crollo dell'edificio e intervento di progetto

A Est il parcheggio a cielo aperto viene ridimensionato per ragioni progettuali ma esteso nella sua capienza in quanto sviluppato al piano interrato dell'edificio. L'attraversamento pedonale realizzato nello stesso stile di quello posto ad ovest permette un rapido attraversamento del canale che cintura l'edificio e indirizza l'utente verso l'area del Delftechpark.

Il fronte Sud si affaccia su uno spazio a verde inedificato. La strada che lo separa dal lotto d'intervento viene chiusa al traffico e resa ciclo-pedonabile.

2.10.2 Piante e sezioni

Un ulteriore ingrandimento di scala permette di cogliere maggiormente la complessità interna dell'edificio. Viene proposto il piano terra in rapporto con il contesto e si ricreano i flussi di persone all'interno dello spazio geometrizzato.

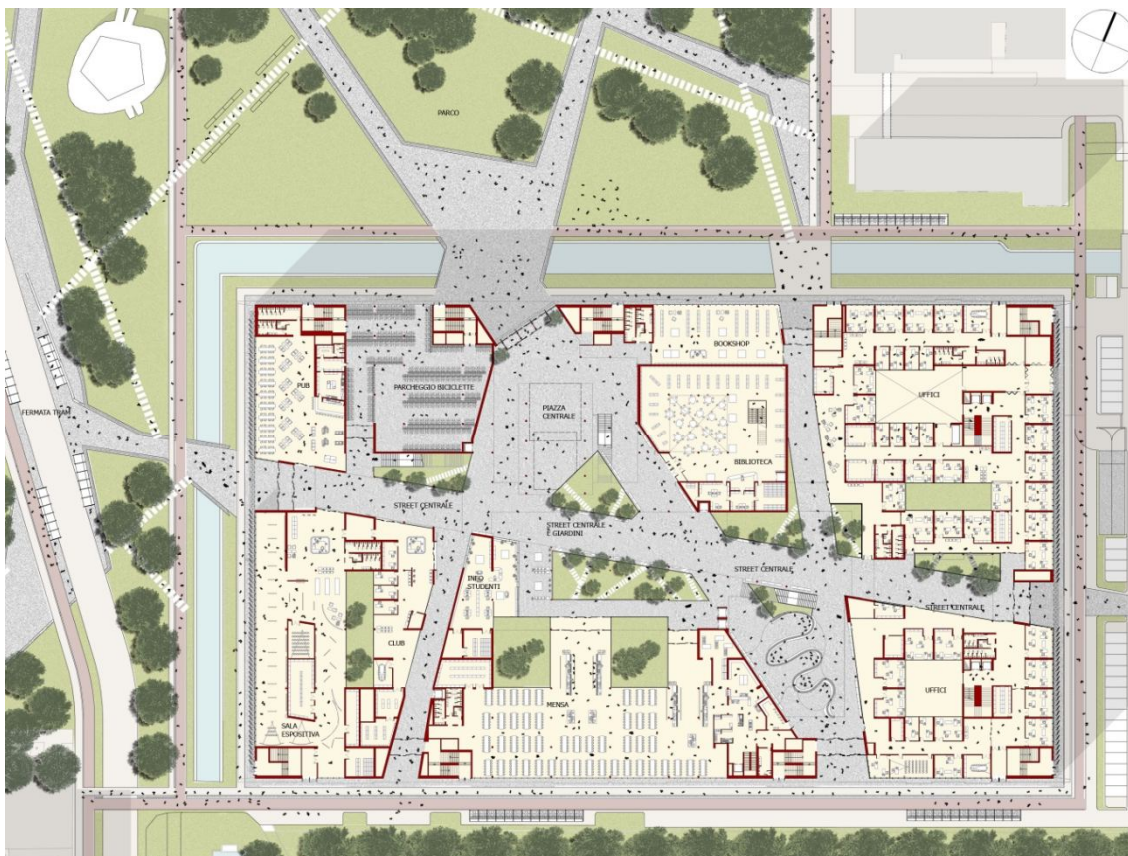


Figura 93 ingrandimento sul piano terra e inserimento nel contesto.

La nuova sede della facoltà d'Architettura viene pensata come un grande contenitore di sottospazi come se fosse una "città dentro una città". Il campus universitario di Delft si inserisce nel contesto isolandosi dal traffico e si circonda di tutti i servizi che il contesto offre. L'espansione di tale concetto porterebbe quasi a pensare ad un edificio che vuole comportarsi come una città in miniatura.

Al suo interno è perciò possibile trovare spazi per loro natura differenti ma che sono accomunati da un'unica visione del progetto ed è proprio l'accostamento di tali destinazioni che crea uno spazio più grande organico e funzionante.

L'intervento si compone di 3 livelli fuori terra e un piano interrato che funge da parcheggio.

Le macroaree visibili per destinazione sono la zona uffici in testa all'edificio e rivolta ad est, la zona studio (l'area più grande) nella restante parte e la zona pubblica spalmata per tutto il basamento.

Il piano terra ha le seguenti dimensioni totali 183,11m per 108,63m e l'edificio si sviluppa in altezza fino alla quota di 18,60m. L'ingombro totale comprensivo di scocca di copertura è di 190,75m per 110,50m.

“Livello 0”: piano terra



Figura 94 piano terra e funzioni



legenda:

- pub
- punto info studenti (segr.)
- bookshop
- mensa
- biblioteca
- street centrale e giardini
- sala esposizioni
- piazza centrale (allestimenti)
- uffici direzionali / uffici laboratorio
- club
- parcheggio biciclette



Il piano terra conta un totale di 19933 m² lordi così suddivisi:

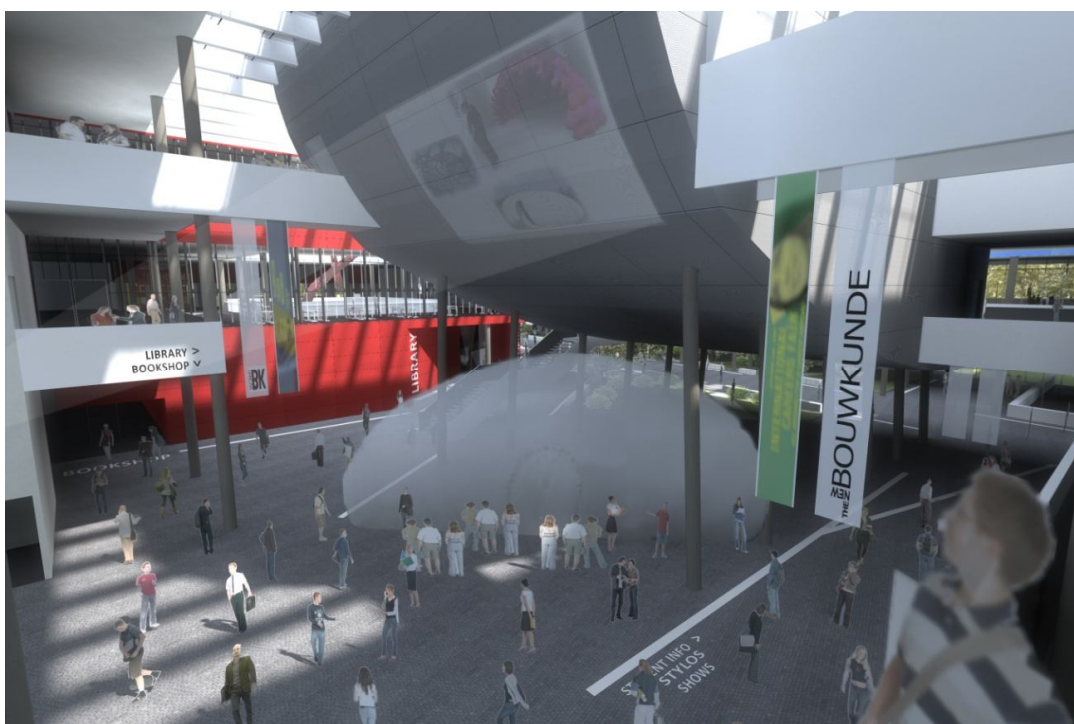
- 4464 m² lordi “zona uffici”;
- 1427 m² lordi “piazza centrale”;
- 777 m² lordi “pub”;
- 746 m² lordi “piazza secondaria”
- 1617 m² lordi “biblioteca” e “bookshop”;
- 1340 m² lordi “zona espositiva”;
- 682 m² lordi “club”;
- 2322 m² lordi “mensa”;
- 482 m² lordi “info studenti”;
- 1850 m² lordi “aree verdi” e 3263mq lordi “spazi/streets pubblici”
- 938 m² lordi “parcheggio biciclette”.

Tale livello si presenta come spazio filtro tra l'ambiente di maggiore privacy ai piani superiori e l'ambiente esterno. Le funzioni collocate in questo livello sono prettamente di stampo pubblico e raccolgono gli spazi adibiti a: biblioteca, mensa, pub, area uffici, zona espositiva, bookshop e parcheggio biciclette coperto. L'altezza interna lorda del piano è di circa 6m.

Gli spazi vengono ricavati all'interno di un grande rettangolo intagliato attraverso il tracciamento di macrodirettrici esterne all'area. Si vuole creare una sorta di percorso "cittadino": la main street attraversa il blocco longitudinalmente correndo nella direzione dalla "fermata tram" verso il Delftechpark a est del lotto. Le "streets" secondarie tagliano lo spazio trasversalmente rendendo possibile l'attraversamento dell'intera zona secondo direzioni differenti.



Figura 95 comparazione tra la precedente hall d'ingresso e la nuova hall d'ingresso



Dall'unione di tali collegamenti si generano due aree che definiremo piazze volte ad assorbire la funzione di grandi spazi di ritrovo e di manifestazione studentesca. All'interno della piazza centrale è possibile montare installazioni temporanee come ad esempio il "blob" nella main hall del vecchio edificio davanti alla reception per studenti in occasione di una mostra interna all'edificio.



Figura 96 vista sui giardini in fronte alla zona ristorante e sul corpo aggettante della biblioteca

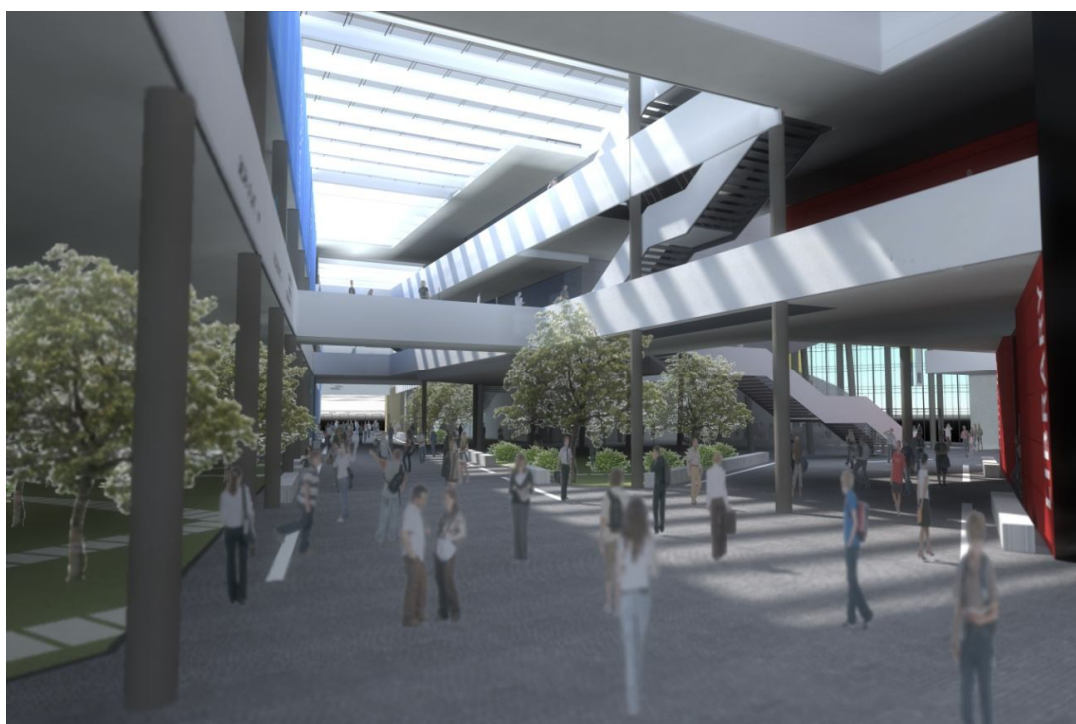


Figura 97 vista sui giardini interni al di sotto dell'aula magna.

Lungo la main street sono dislocati spazi adibiti a verde e zone di ritrovo e socializzazione. A tal proposito lo spazio più grande è quello della mensa comune. La pratica del pranzare come momento di ritrovo con altre persone è molto sentita in olanda tanto da dotare qualsiasi edificio pubblico di uno spazio che assolva tale compito. Tale considerazione venne già fatta nei paragrafi precedenti.

Ultimando l'analisi della pianta si fa notare la presenza del Bouw-pub verso l'ingresso ovest dell'edificio in opposizione allo spazio espositivo sul fronte sud. In comunicazione con l'esterno il parcheggio delle biciclette è antistante al pub.

La biblioteca si affaccia sulla street centrale e sulla piazza ed è uno spazio che copre tutti e tre i livelli fuori terra. È una sorta di spazio "cuscinetto" tra la zona uffici e le zone studentesche.



Figura 98 vista d'interno della biblioteca

Internamente notiamo la disposizione di scaffalature di libri di libera consultazione e di zone prettamente di studio singole o di gruppo. Internamente al lucernario è appesa un'opera d'arte recuperata dall'edificio predecessore.

La zona uffici occupa tutto il blocco di testa sul fronte est prediligendo per il basamento zone di laboratorio e test e pochi uffici di rappresentanza.

“Livello 1 e 2”: piano primo e secondo



Figura 99 piano primo e funzioni



legenda:

- | | |
|----------------------------------|--|
| ■ aule lezione / studio / lavoro | ■ aula pc / deposito / sala stampa |
| ■ biblioteca | ■ aule lab. e plastici |
| ■ bar | ■ uffici direzionali / uffici professori |
| ■ aule lezione | ■ aula magna |



Il piano primo conta un totale di 20233 m² lordi così suddivisi:

- 3042 m² lordi “aule lezione”;
- 223 m² lordi “bar”;
- 608 m² lordi “aule laboratori e plastici”;
- 708 m² lordi “magazzini e sale stampe”;
- 3953 m² lordi di spazi pubblici (es. corridoi);
- 1343 m² lordi di “aree informali di lavoro e relax”;
- 1480 m² lordi “biblioteca”;
- 4069 m² lordi “zona uffici”

** (i m² mancanti riferiscono ai vuoti sopra la main street o come pozzi di luce)



Figura 100 piano secondo e funzioni



legenda:

- | | |
|----------------------------------|--|
| ■ aule lezione / studio / lavoro | ■ aula pc / deposito / sala stampa |
| ■ infermeria | ■ aule disegno |
| ■ bar | ■ uffici direzionali / uffici professori |
| ■ aule lezione | ■ aula magna |
| ■ biblioteca | |



Il piano secondo conta un totale di 20233 m² lordi circa

- 3042 m² lordi “aule lezione”;
 - 608 m² lordi “aule disegno”;
 - 223 m² lordi “bar”;
 - 176 m² lordi “infermeria”;
 - 532 m² lordi “magazzini, aule pc e sale stampe”;
 - 3625 m² lordi di spazi pubblici (es. corridoi);
 - 1884 m² lordi di “aree informali di lavoro e relax”;
 - 437 m² lordi “aula magna”;
 - 1377 m² lordi “biblioteca”;
 - 3934 m² lordi “zona uffici”
- ** (i m² mancanti riferiscono ai vuoti sopra la main street o come pozzi di luce)

Uno schema sintetizzato dei percorsi e dei collegamenti verticali può essere di aiuto:

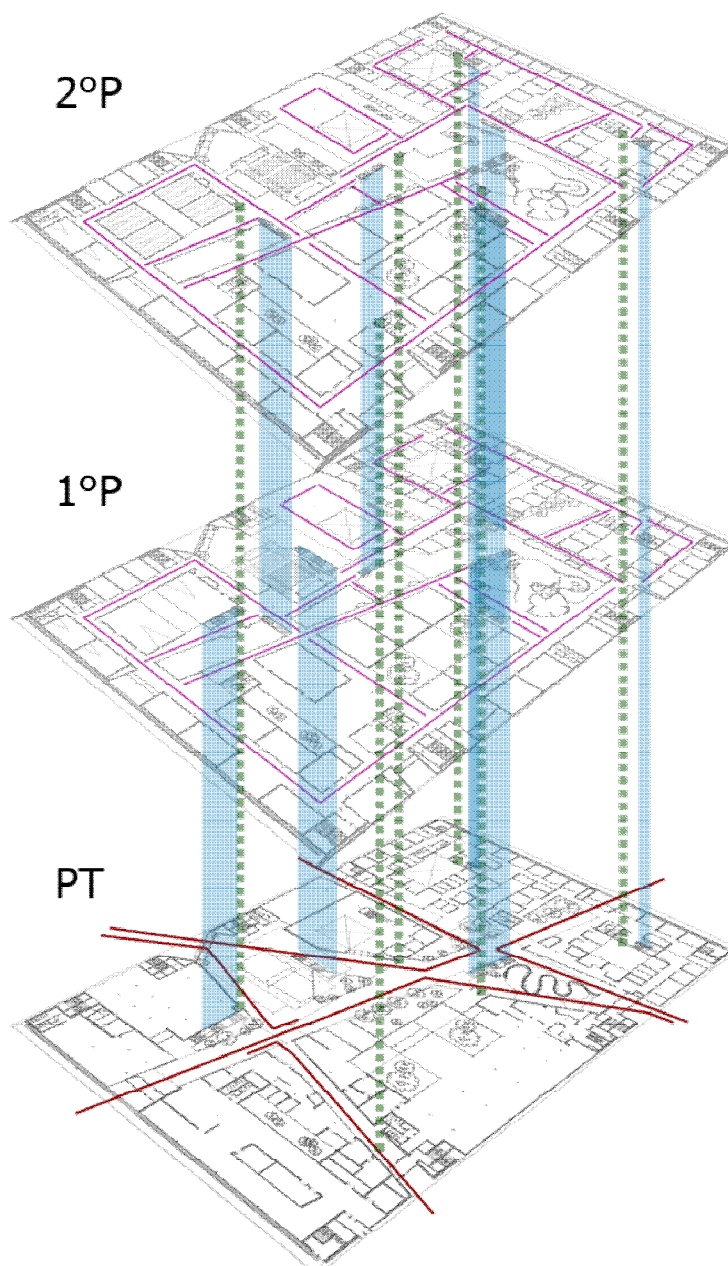


Figura 101 schematizzazione dei punti di accesso, percorsi possibili e collegamenti verticali

Vengono così evidenziati i collegamenti verticali principali e si specifica al meglio la loro collocazione in pianta; i punti di risalita vengono posizionati in modo sistematico per permettere all'utente di raggiungere la destinazione nel minore tempo possibile e secondo la strada più veloce. Si distinguono ascensori (tratteggio verde) dalle normali scale (fasce azzurre). Si passa da un ambiente pubblico quale il piano terra all'interno del quale si è ricreata l'atmosfera "urbana" nella gestione dei collegamenti alle zone superiori con maggiore privacy e un ridimensionamento dei percorsi che diventano maggiormente "a misura d'uomo".

I piani superiori seguono tutt'altra logica rispetto il basamento. Essi infatti contengono solamente due destinazioni precise: zona uffici e zona studenti. Va fatto notare come la disposizione dei locali segua un preciso criterio di migliore accesso alla luce. In questo modo le aule adibite a lezione comunitaria che richiedono l'uso di proiezioni si trovano dislocate a nord mentre quelle di utilizzo più generico che richiedono una buona illuminazione sono situate a sud o in prossimità dei pozzi di luce.

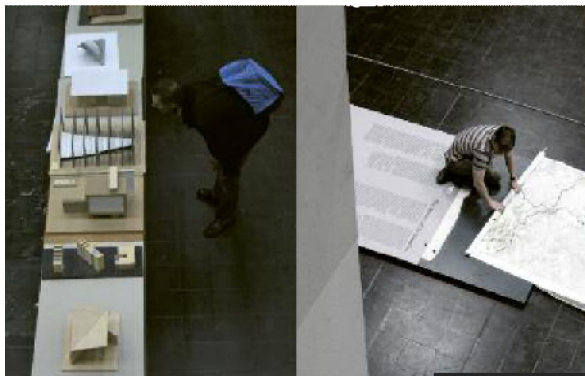
Le aule di disegno e di lavori di gruppo/manuali sono situate in posizione centrale rispetto alla pianta. Tale posizione trova motivazione in determinati dettami di insegnamento: il fare architettura deve essere un percorso mostrato al pubblico affinché il pubblico possa interagire e scambiare opinioni e pareri sui lavori. Successivamente si riportano delle interpretazioni di tali spazi.



Figura 102 comparazione tra la precedente aula di disegno e la situazione attuale



È pratica comune esporre il proprio lavoro posizionandolo là dove tutti, anche solo passando, possano vedere e commentare in modo da creare una coscienza comune del sentirsi partecipi di un processo più grande che non interessa i loro singoli lavori.



Il fare architettura deve essere visto nella completezza del processo dal disegno alla esposizione. Per questo motivo gli spazi di relax vengono visti come aree di lavoro informale dove è possibile affiggere al muro le tavole architettoniche prodotte e poter dibattere e lavorare.



Figura 103 comparazione tra la precedente zona di transito e relax e l'attuale



Gli spazi di disegno manuale vengono posti all'ultimo piano in modo da poter sfruttare la luce naturale zenitale in quanto sono quelli con maggior esigenza di illuminazione.

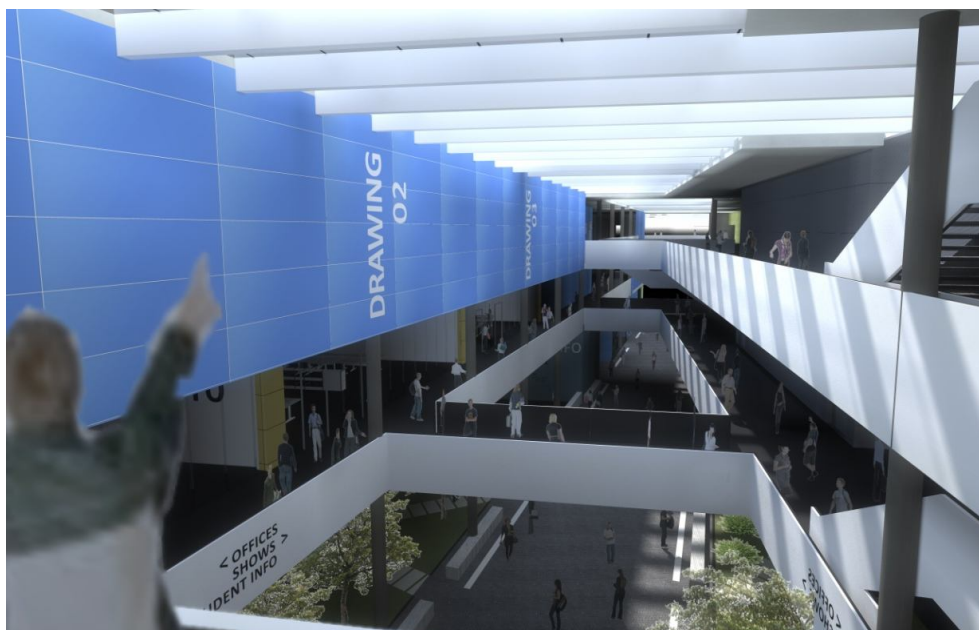


Figura 104 vista interna sulla street principale e le passerelle aeree

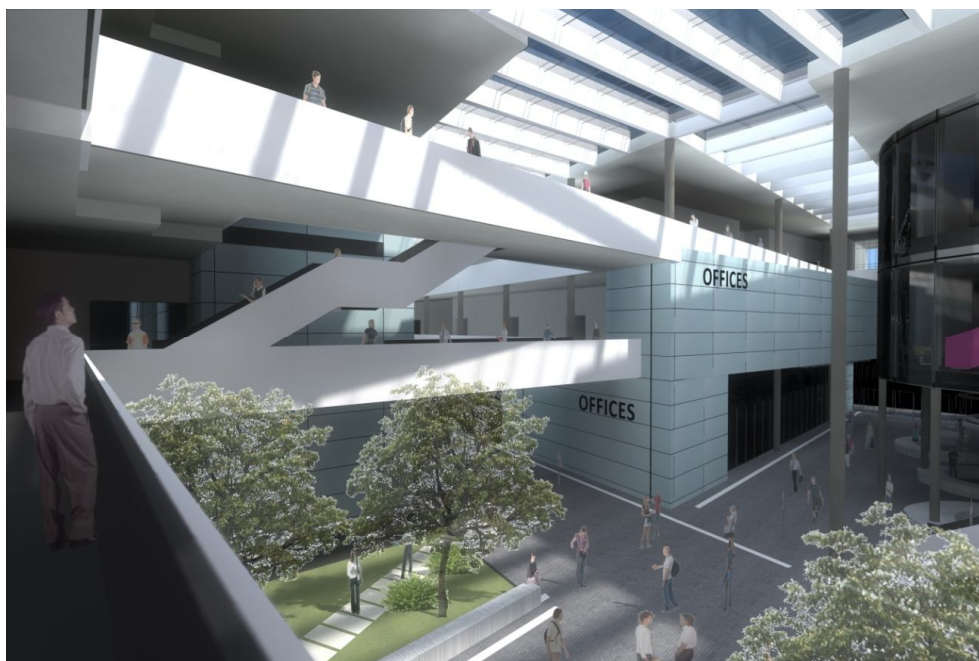


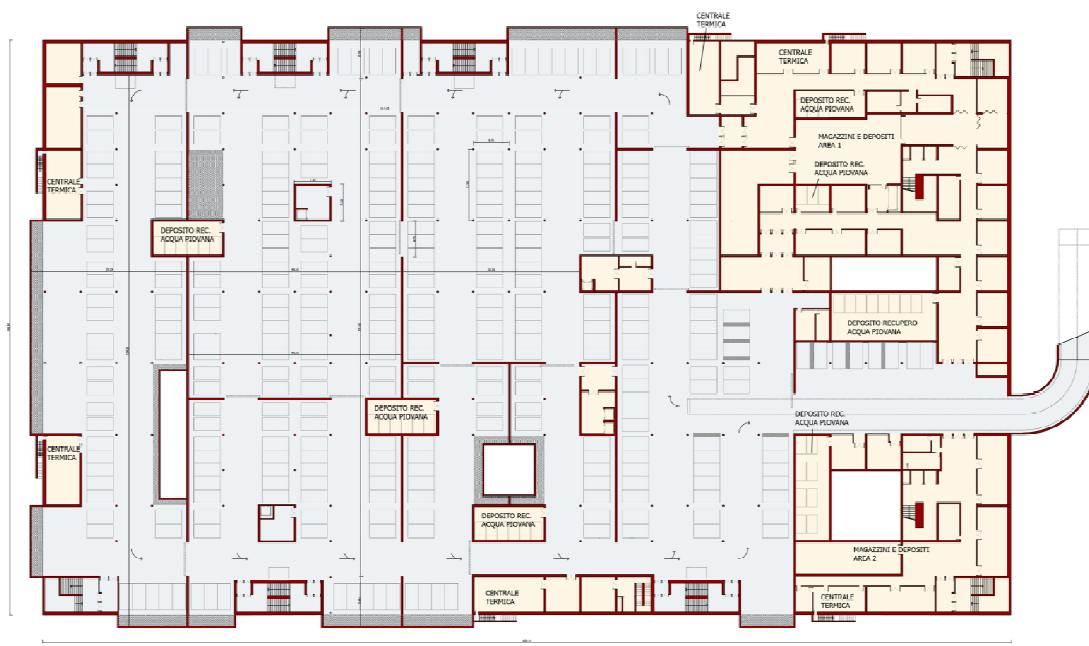
Figura 105 vista interna sulla zona uffici

La linea di “taglio” della street viene percepita anche ai piani superiori costringendo l’utente ad attraversamenti su passerelle aeree che cercano di ricucire i due lembi della pianta.

La zona uffici posta in testa all’edificio sul lato est si divide sui tre piani e ripartisce ai livelli superiori gli uffici direzionali e logistica con quelli dei professori adibiti al ricevimento degli studenti in orario esterno alle lezioni.

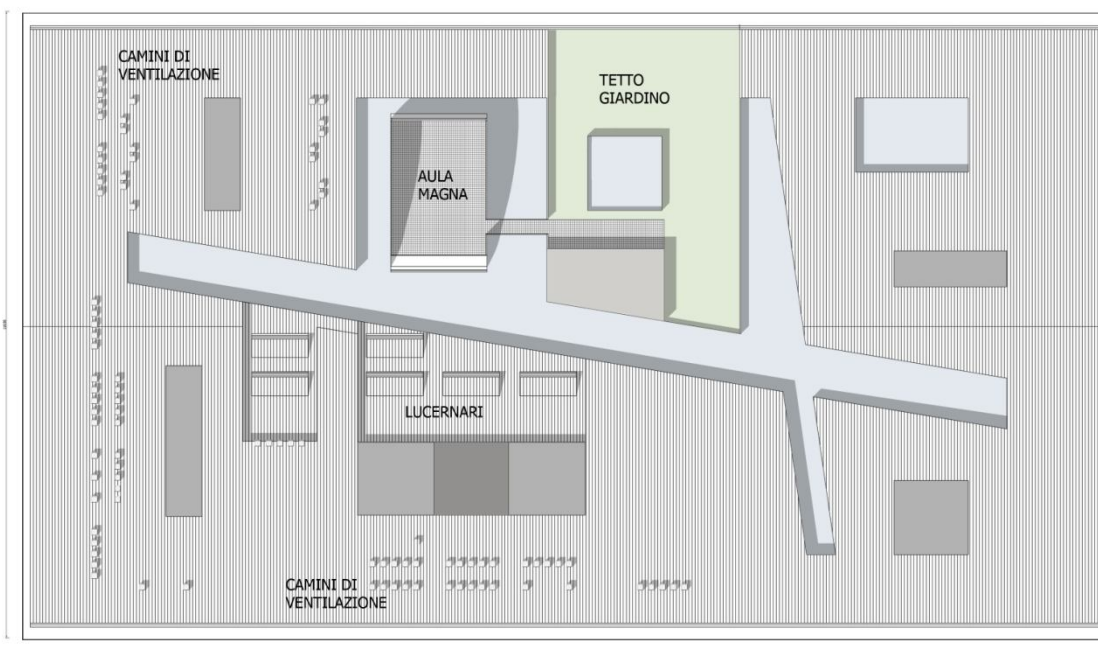
“Livello -1 e 3”: parcheggio interrato e sottotetto e copertura

Figura 106 livello interrato



Il livello interrato funge da parcheggio per le automobili e offre spazi per i locali delle centrali termiche nonché magazzini. Esso si estende per l'intera superficie coperta dal piano terra e comprende anche i locali per il deposito dell'acqua piovana di recupero. Questi locali risultano distribuiti all'interno del piano per meglio rispondere alle richieste di utilizzo. La compartimentazione interna rispetta la normativa antincendio.

Figura 107 livello copertura



L'essenza della copertura si fonde con l'elemento architettonico unificatore della scocca metallica di rivestimento che scende a comprendere le facciate dei prospetti sud e nord. Tale trattazione risulterà più chiara quando verranno presentati i prospetti.

Ad ogni modo essa non ha semplice funzione estetica ma anche impiantistica. Il rivestimento metallico denota una certa flessibilità e permette l'installazione di impianti che sfruttano le energie rinnovabili nonché il recupero di acque piovane. La copertura risulta bucata in punti strategici sia per l'inserimento dei condotti di ventilazione naturale che sfruttano camini eolici sia per la creazione di lucernari e pozzi di luce di varia misura per aumentare l'illuminazione interna. Il livello sottotetto ha un'altezza di 2m ed è assolutamente funzionale al passaggio impiantistico. Esso nasconde sia le condotte del recupero di acqua piovana che quelle per la distribuzione dell'aria condizionata. Le condotte raggiungono facilmente gli eventuali cavedi e attraversano l'edificio per raggiungere i locali desiderati.

La scocca metallica deve essere immaginata come una "pelle" che ricopre la parte superiore dell'edificio intagliandosi e scoprendo le parti sottostanti quando le esigenze di tipo tecnico lo richiedono; prime tra tutti quelle illuminotecniche.



Figura 108 sezione architettonica trasversale (si rimanda alla tavola per una migliore lettura)

Si faceva pocanzi riferimento alla condizione illuminotecnica dell'edificio. La sezione trasversale proposta permette di capire come l'intero fabbricato viva di espedienti illuminotecnici e conformazioni spaziali particolari per creare ambienti in cui è possibile far giungere la luce.

La scelta tipologica "a piastra" necessita di tali giochi compositivi interni anche solo per romper la possibile monotonia interna.

È in questa ottica che l'edificio diventa un contenitore di spazi attività e modi di vivere.

Oltre agli spazi già presentati (l'aula magna e la piazza sottostante oppure le aule di disegno) annoveriamo locali in situazioni di aggetto sulla street centrale in cerca di luce attraverso grandi vetrate oppure ballatoi aerei che permettono l'attraversamento longitudinale e trasversale dell'edificio mentre si transita in fronte alle aule in cui vengono svolte le regolari attività.



Figura 109 volume della biblioteca in aggetto sulla main street in fronte al bar



Figura 110 vista dai ballatoi aerei che costeggiano i laboratori di lavori manuali

A livello basamentale si può ancora proporre il secondo spazio “piazza” di ritrovo che funge anche da filtro con la zona d’ingresso agli uffici e l’ennesima vista sulla street principale



Figura 111 vista in ingresso dal lato sud est dell’edificio; zona “piazza” di ritrovo comune



Figura 112 vista in ingresso dell’edificio dal lato “tram”.

2.10.3 Prospetti e viste d'esterno

L'edificio si vuole imporre nel contesto come punto di riferimento e simbolo da tutti riconoscibile. Vuole spiccare nel panorama del campus.

Ciò che è stato presentato come grande contenitore di spazi funzionali diversi in realtà vive di un imprescindibile senso di unitarietà che lo porta a completarsi esternamente con un grande elemento unificatore come la scocca di copertura.

La copertura avvolge l'edificio da nord a sud e aggetta sui fronti est ed ovest indicando una differenziazione dei prospetti.



Figura 113 vista del fronte nord

(per una migliore leggibilità del prospetto si rimanda alla opportuna tavola allegata)

Il fronte nord è il fronte che si apre al parco attraverso due aperture di cui una sappiamo essere la principale. Quest'ultima è inclinata rispetto alla piazza e viene enfatizzata dalla piega che la scocca prende nel taglio del lembo inferiore. Il fronte gioca attraverso un'alternanza di aperture più o meno sottolineate da cornici e una differenziazione nei cromatismi sempre sulla tonalità rossa.



Figura 114 vista del fronte nord

(per una migliore leggibilità del prospetto si rimanda alla opportuna tavola allegata)

Il fronte sud ragiona allo stesso modo presentando degli inevitabili frangisole in fronte alle aperture e interni alle cornici metalliche o complanari al piano di facciata della scocca.

Il materiale utilizzato è l'alluminio in pannelli sagomati per creare una ulteriore varianza nella lettura della



Figura 115 vista prospettica dell'edificio; fronte nord-ovest

superficie del prospetto che come paese predilige una certa orizzontalità delle linee per snellire il volume sovrastante il basamento. Quest'ultimo viene smaterializzato con l'utilizzo del vetro che corre lungo tutti i fronti.

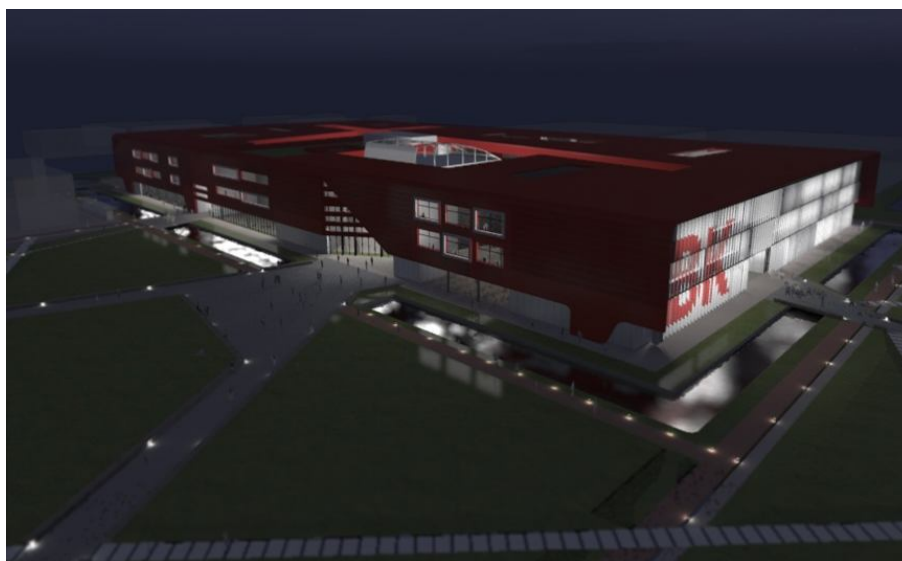


Figura 116 vista prospettica notturna dell'edificio; fronte nord-ovest

L'utilizzo di ampie vetrate permette di apprezzare nottetempo interessanti giochi di luce che filtrando dalle facciate e dai frangisole illuminano il contesto.



Figura 117 vista prospettica dell'edificio; fronte sud-est

Determinate scelte architettoniche non sono casuali ma sono frutto di una rielaborazione di tematiche già presenti nel contesto e nella tradizione olandese. Il colore rosso tendente al bruno della facciata gioca sulla rievocazione del color mattone delle case di Delft mentre le grandi vetrate richiamano l'immagine delle grandi finestrate della tipica abitazione olandese che nel tentativo di sfruttare al meglio l'affaccio su strada si presenta con ampie superfici vetrate.

La seguente carrellata di immagini permette di visualizzare al meglio l'edificio lungo i fronti nord e sud

Nelle prime due immagini si nota lo svilupparsi del fronte nord verso la piazza centrale che fa da cuscinetto tra il parco e l'edificio mettendo in contatto quest'ultimo con la rete di collegamenti del campus.

La presenza di zone di deposito biciclette coperte lungo i percorsi pedonali e ciclabili è studiata per fornire all'utenza dei comodi punti di sosta senza dover attraversare l'area e percorrere distanze inutili.

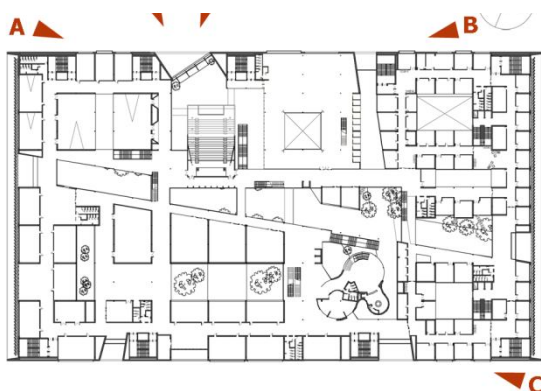
La terza immagine permette di apprezzare la matericità del rivestimento metallico che tende a modulare sia la tonalità di colore che la propria forma.

L'ingresso viene segnalato con un cambio di piegatura nella scocca secondo un'angolatura che permette di mettere l'ingresso in asse con il principale collegamento in arrivo dal mekelpark.

La penultima immagine permette di capire tale ragionamento mentre l'ultima segnala che l'ingresso non solo è punto di arrivo di tale percorso ma si proietta all'interno del parco una volta percorso il secondo percorso in arrivo alla piazza.



Figura 118 immagini dell'edificio e relativi punti di vista



Di altra natura sono i fronti est ed ovest; uguali tra loro vedono il predominare della funzionalità sulla forma. In esse l'elemento tecnologico schermante del frangisole domina l'estetica della facciata ingigantendosi e disponendosi a cortina per tutta la lunghezza del lato in esame.



Figura 119 vista d'insieme del nuovo Bouwkunde e del Bouwpark; fronte ovest

Figura 120 fronte est

(per una migliore leggibilità del prospetto si rimanda alla opportuna tavola allegata)



La mobilità dell'elemento permette ulteriori giochi di smaterializzazione della facciata retrostante a favore di una superficie fittizia data dalla successione regolare degli elementi. A questo proposito si è cercato di enfatizzare il gioco imprimendo su alcuni pannelli la scritta "codice" identificativa della sede di architettura "BK" che compare e scompare a seconda della rotazione impressa alle pale durante la giornata.

Nelle immagini successive si può apprezzare tale ragionamento.



Figura121 fronte ovest ; pannelli mobili in facciata

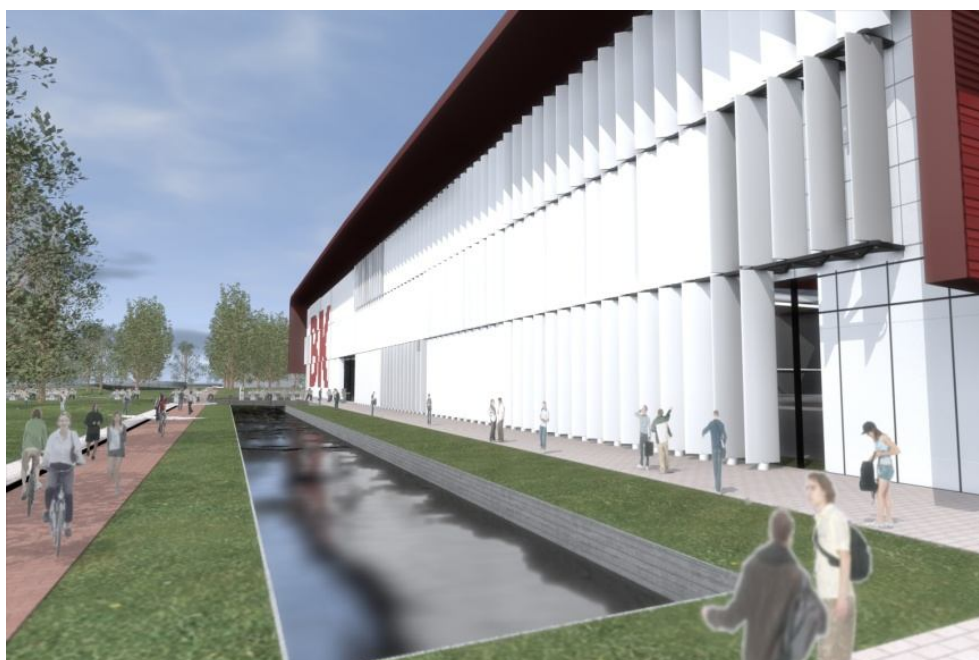


Figura 122 vista lato est

Anche in questo caso alcune viste in notturna permettono di apprezzare il lavoro svolto nel curare l'interazione tra l'edificio ed il contesto anche in orari serali più tipicamente invernali visto e considerato che il sole cala presto e la sede rimane in ogni caso aperta al pubblico fino a orario inoltrato.



Figura 123 fronte ovest ; pannelli mobili in facciata; resa luminosa notturna

2.10.4 Antincendio

Il piano di antincendio conta la presenza di scale per l'evacuazione dell'edificio dislocate ai 4 angoli e a step intermedi sempre rimanendo all'interno dei dettami della normativa D.M. 9 Marzo 2007.

Ogni compartimento non eccede i 6000 m² circa; in questo modo si deve ripartire il piano in più compartimentazioni antincendio.

Si coglie l'occasione per fare notare che fondamentalmente i compartimenti riprendono la divisione spaziale che il piano terra impartisce ai vari ambienti. Questo si spiega non solo per rimanere entro il valore di metratura suggerito dalla normativa ma nel caso nostro permette di isolare al meglio gli ambienti. I piani superiori tendono a rispettare questa conformazione dettata dal piano inferiore.

A tal proposito però va puntualizzato che mentre al piano terra il blocco mensa è staccato dal blocco esposizioni e club; ai piani superiori tale divisione scompare perché la destinazione diviene unica e la superficie misurata rispetta il limite di compartimentazione imposto dalla legge. Questo permette una migliore compartimentazione a fronte di un rispetto compositivo interno degli spazi.

I muri di confinamento delle zone evidenziate nelle successive piante saranno quelli che dovranno avere una tenuta al fuoco adeguata in base al conteggio del carico antincendio del locale.

Per il conteggio vengono presi in considerazione tre tipologie di locali in modo da capire quali fossero le specifiche criticità:

- locale studio;
- biblioteca;
- locale ufficio

Tale conteggio viene introdotto a questa fase di progettazione perché oltre a definire le specifiche delle future chiusure e partizioni basa la sua valutazioni su considerazioni volumetriche, tipologia di attività svolta e riduzione del pericolo attraverso la presenza di dispositivi antincendio che è bene saperne la presenza fin dalle prime fasi di progetto.

$$q_{f,d} = q_f * \delta_{q1} * \delta_{q2} * \delta_n$$

Con:

$q_{f,d}$	valore orientativo del carico d'incendio specifico in MJ/m ²
q_f	carico d'incendio specifico
δ_{q1}	fattore di rischio in relazione alla dimensione del compartimento
δ_{q2}	fattore di rischio in relazione al tipo di attività svolta
δ_n	fattore di protezione

Locale studio/aula

Carico d'incendio specifico

Tipologia attività: scuola
 Carico incendio specifico: 285 MJ/m²
 Frattile 80%: 1,5
 Area compartimento: 6000 /m²

$$q_f = 427.5 \text{ MJ/m}^2$$

Fattore di rischio in relazione alle dimensioni del compartimento

Superficie da 5000 a 10000 m²

$$\delta_{q1} = 1,8$$

Fattore di rischio in relazione al tipo di attività svolta

Classe di rischio: II (Aree che presentano un moderato rischio di incendio come probabilità di innesco, velocità di propagazione di un incendio e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza)

$$\delta_{q1} = 1$$

Fattore di protezione (assente = 1; presente = 0,X)

Sistemi automatici di estinzione ad acqua; $\delta_n^1 = 1$
 Sistemi automatici di estinzione ad altro estinguente; $\delta_n^2 = 1$
 Sistemi di evacuazione automatica di fumo e calore; $\delta_n^3 = 1$
 Sistemi automatici di rilevaz., segnalazione e allarme incendio; $\delta_n^4 = 1$
 Squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio; $\delta_n^5 = 1$
 Rete idrica antincendio interna; $\delta_n^6 = 1$
 Rete idrica antincendio interna e esterna; $\delta_n^7 = 1$
 Percorsi protetti di accesso; $\delta_n^8 = 1$
 Accessibilità ai mezzi di soccorso VV.F. ; $\delta_n^9 = 1$

Struttura in legno NO

Calcolo:

$$q_{f,d} = 427.5 * 1.8 * 1 * 1 = 769.50 \text{ MJ/m}^2$$

Classe di riferimento per livello di prestazione III = **60**

Classe minima per livello di prestazione III = **30**

Biblioteca

Carico d'incendio specifico

Tipologia attività: Biblioteca
Carico incendio specifico: 1500 MJ/m²
Frattile 80%: 1,5
Area compartimento: 6000 /m²

$$q_f = 2250 \text{ MJ/m}^2$$

Fattore di rischio in relazione alle dimensioni del compartimento

Superficie da 5000 a 10000 m²

$$\delta_{q1} = 1,8$$

Fattore di rischio in relazione al tipo di attività svolta

Classe di rischio: II (Aree che presentano un moderato rischio di incendio come probabilità di innesco, velocità di propagazione di un incendio e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza)

$$\delta_{q1} = 1$$

Fattore di protezione (assente = 1; presente = 0,X)

Sistemi automatici di estinzione ad acqua; $\delta_n^1 = 1$
Sistemi automatici di estinzione ad altro estinguente; $\delta_n^2 = 0.8$
Sistemi di evacuazione automatica di fumo e calore; $\delta_n^3 = 0.9$
Sistemi automatici di rilevaz., segnalazione e allarme incendio; $\delta_n^4 = 0.85$
Squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio; $\delta_n^5 = 1$
Rete idrica antincendio interna; $\delta_n^6 = 1$
Rete idrica antincendio interna e esterna; $\delta_n^7 = 1$
Percorsi protetti di accesso; $\delta_n^8 = 1$
Accessibilità ai mezzi di soccorso VV.F. ; $\delta_n^9 = 0.9$

Struttura in legno NO

Calcolo:

$$q_{f,d} = 2250 * 1.8 * 1 * 0.55 = 2227.50 \text{ MJ/m}^2$$

Classe di riferimento per livello di prestazione III = **180**

Classe minima per livello di prestazione III = **90**

Locale ufficio

Carico d'incendio specifico

Tipologia attività: ufficio
 Carico incendio specifico: 420 MJ/m²
 Frattile 80%: 1,5
 Area compartimento: 6000 /m²

$$q_f = 630 \text{ MJ/m}^2$$

Fattore di rischio in relazione alle dimensioni del compartimento

Superficie da 5000 a 10000 m²

$$\delta_{q1} = 1,8$$

Fattore di rischio in relazione al tipo di attività svolta

Classe di rischio: II (Aree che presentano un moderato rischio di incendio come probabilità di innesco, velocità di propagazione di un incendio e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza)

$$\delta_{q1} = 1$$

Fattore di protezione (assente = 1; presente = 0,X)

Sistemi automatici di estinzione ad acqua; $\delta_n^1 = 1$
 Sistemi automatici di estinzione ad altro estinguente; $\delta_n^2 = 1$
 Sistemi di evacuazione automatica di fumo e calore; $\delta_n^3 = 1$
 Sistemi automatici di rilevaz., segnalazione e allarme incendio; $\delta_n^4 = 0.85$
 Squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio; $\delta_n^5 = 1$
 Rete idrica antincendio interna; $\delta_n^6 = 1$
 Rete idrica antincendio interna e esterna; $\delta_n^7 = 1$
 Percorsi protetti di accesso; $\delta_n^8 = 1$
 Accessibilità ai mezzi di soccorso VV.F. ; $\delta_n^9 = 0.9$

Struttura in legno NO

Calcolo:

$$q_{f,d} = 427.5 * 1.8 * 1 * 0.77 = 873.18 \text{ MJ/m}^2$$

Classe di riferimento per livello di prestazione III = **60**

Classe minima per livello di prestazione III = **30**

Arrivati a questo punto ricordiamo alcune prescrizioni sempre da norma: gli estintori sono previsti 1 ogni 200m² il che significa almeno 1 per ogni locale mentre gli idranti a naspo vengono collocati in prossimità delle zone sicure più vicini alle scale antincendio.

Le vie di fuga sono calibrate per un flusso di utenti che necessita di un numero di moduli totali per le vie di fuga pari a 5; ci riferiamo a percorsi la cui larghezza netta tiene conto dell'apertura delle porte ed è pari a 3m.

Ogni scala di sicurezza è dotata di zona filtro e possibilità di alloggiare il disabile in area sicura in attesa dei soccorsi. La scala è stata pensata in configurazione tradizionale sempre rispettando la larghezza della rampa richiesta pari al numero di moduli necessari o in configurazione "intrecciata" che permette di fa evacuare un numero maggiore di persone mantenendo un ingombro in pianta più che adeguato

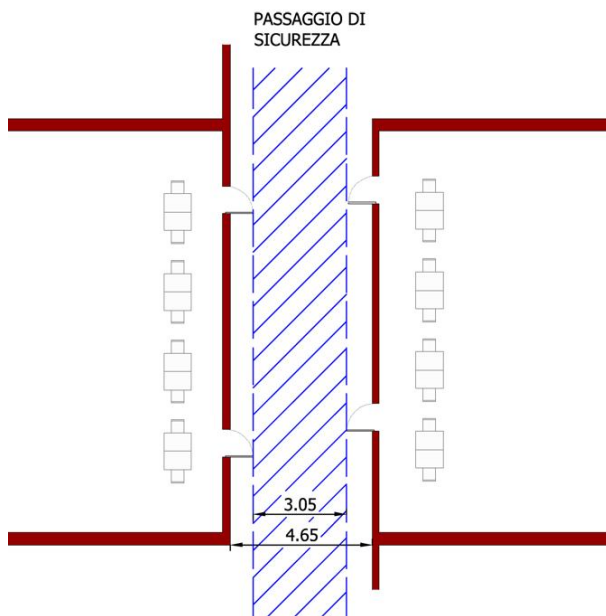
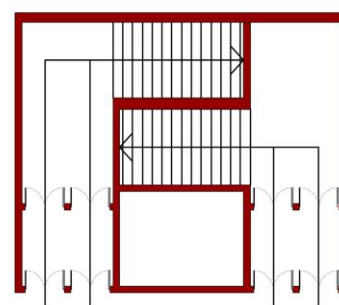
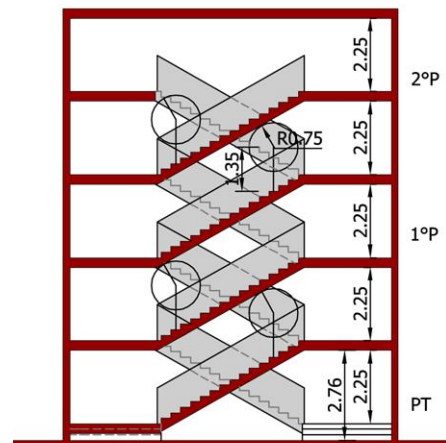


Figura 124 visualizzazione del passaggio tra due stanze studio/lezione ordinarie



IMBOCCO SCALA DI SICUREZZA AL 2°P

Figura 125 modulo scala di sicurezza con doppia rampa incrociata di larghezza 2.4m

A fine sezione si riporta la pianta antincendio relativa al piano primo come esempio che permetta di visualizzare la posizione delle zone di evacuazione e dei dispositivi interni di sicurezza. (per le altre piante si rimanda alla tavola specifica.

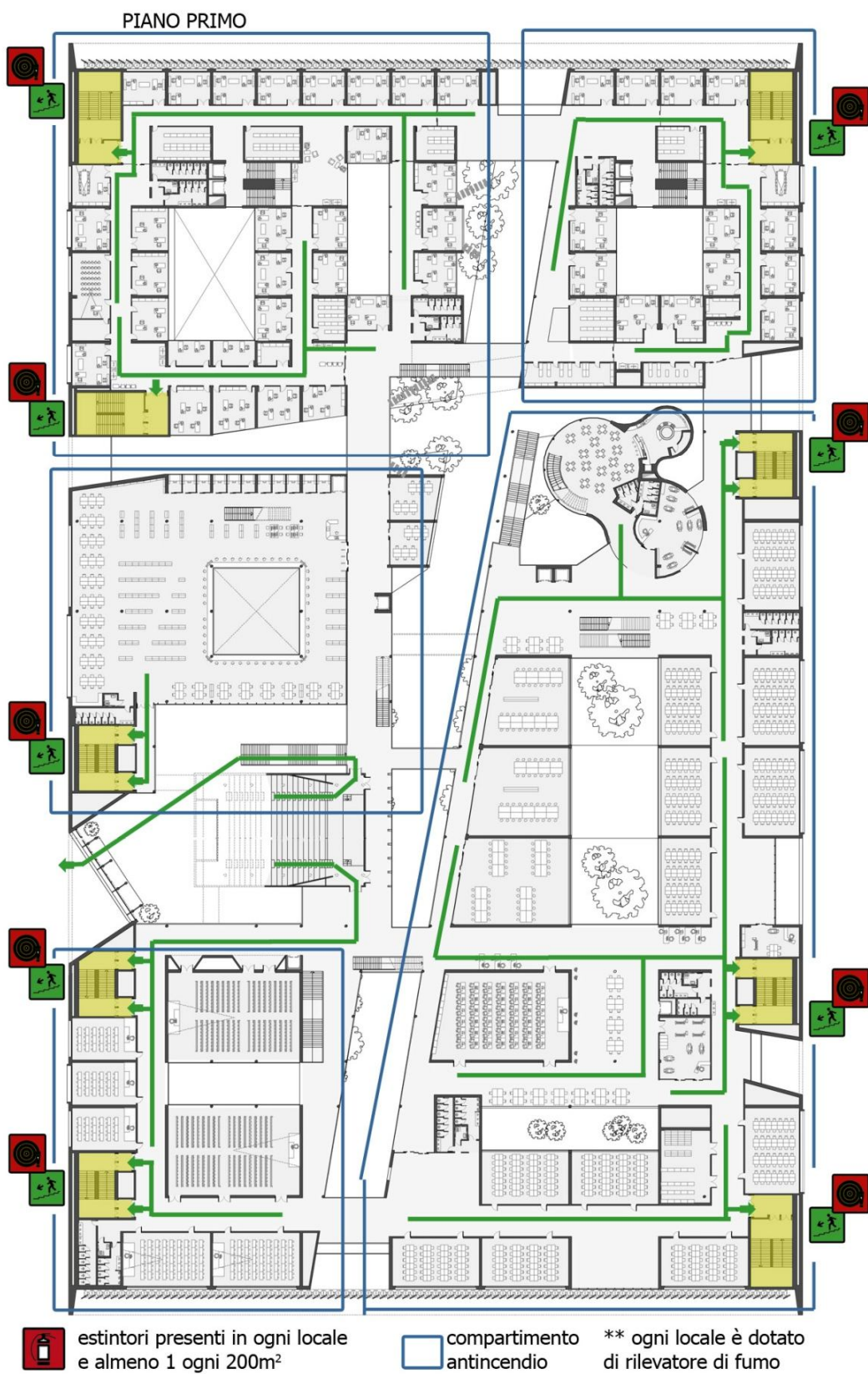


Figura 126 pianta antincendio relativa al livello primo

2.11 Conclusioni

The New Bouwkunde vuole essere una valida proposta per la nuova sede della facoltà di Architettura all'interno del campus del T.U.Delft in Olanda.

Il progetto presenta un edificio che si impone all'interno del campus attraverso il suo aspetto e la sua dimensionalità.

La scelta della tipologia a piastra è stata dettata sia perché ritenuta una sfida architettonica di gestione dello spazio sia per rispetto del contesto. Lo studio dello skyline del campus conferma la percorribilità di tale via. La tipologia d'intervento estensiva ha risvolti anche illuminotecnici sul contesto di basso impatto; la compattezza del fabbricato contribuirà ad apprezzare buoni risultati energetici.

Il progetto architettonico si fonda sul rispetto di una viabilità intrinseca al lotto d'intervento e alla ripresa di caratteri costruttivi architettonici vernacolari estrapolabili dal tessuto cittadino di Delft.

Lo studio delle macrodirettrici che tagliano il basamento permettono di creare ambienti che muovendosi tra il pubblico e il privato simulano un paesaggio urbano interno all'edificio. Le zone interne godono di un diverso livello di privacy che cresce con l'elevarsi dei piani.

L'edificio sembra un contenitore di spazi e situazioni differenti che prendono posto inserendosi nella rete dei collegamenti e in una trama strutturale regolare e modulare.

L'unitarietà del fabbricato viene mantenuta dall'elemento compositivo dalla scocca metallica di rivestimento. Essa avvolge l'edificio da nord a sud e aggetta sui fronti est-ovest. L'aspetto ruvido viene dato dall'utilizzo di pannelli metallici corrugati in alluminio per il rivestimento.

L'inserimento di ampie vetrate permette di intagliare la scocca rivelando uno zoccolo vetrato come basamento oltre che suggerire dall'esterno la posizione di aule e zone studio. La luce viene captata da lucernari e pozzi di luce in copertura. Le vetrate unite ad una mutevole scocca per quanto riguarda trama e tonalità di colore vogliono riproporre l'immagine di case olandesi in affaccio su un canale rivisitando l'immagine secondo una chiave di lettura più moderna.

I fronti est ed ovest colpiscono per la loro singolarità. Essi infatti rompono con l'architettonico fin qui impostato perché basano il loro aspetto sull'ingigantire un elemento tecnico come il frangisole fino a farlo diventare elemento compositivo cardine. La ripetizione di elementi schermanti mobili verticali lungo tutta la facciata permette di giocare con essa creando due diversi piani che si materializzano in base alla rotazione dell'elemento che a questo punto non ha più una mera valenza tecnica-energetica. La colorazione rossastra di varia tonalità vuole rappresentare una provocazione all'interno dell'area che riprende la colorazione delle case in mattoni di Delft.

Il progetto vuole restituire ai suoi utenti uno spazio in cui studiare; uno spazio che possa essere preso a riferimento per le sue caratteristiche tecnologiche e compositive; uno spazio "simbolo" come lo era il precedente edificio. Importanti sono le comparazioni di alcuni ambienti interni con le situazioni analoghe del passato.

2.12 Bibliografia

Bouwkunde portrait of the faculty of architecture of delft university of technology 1970-2008, <http://www.tudelft.nl/>

Architecture in the Netherlands, Philip Jodidio, Taschen, 2007

<http://www.tudelft.nl>

<http://www.delft.nl>

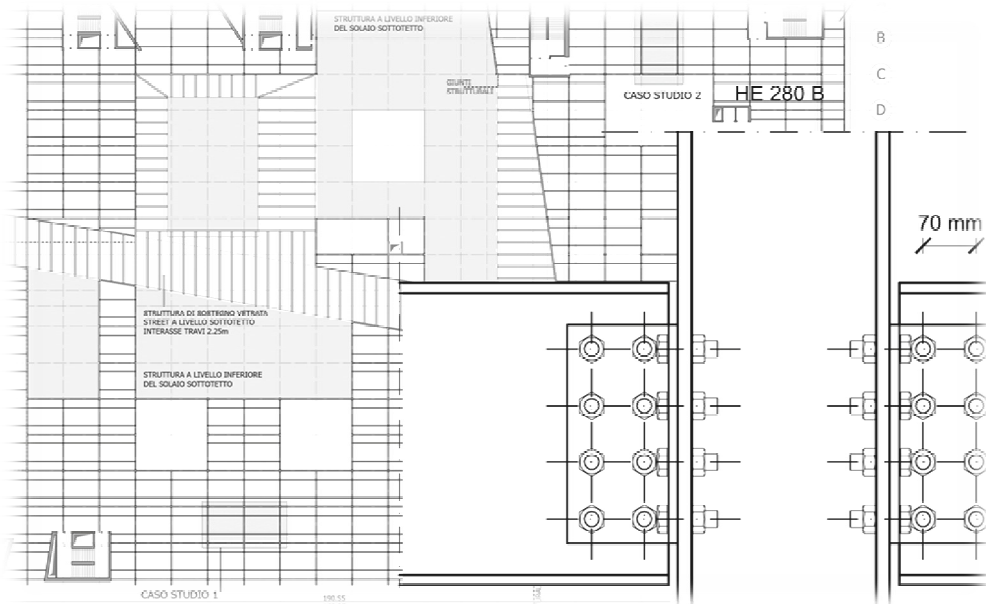
<http://www.wunderground.com>

<http://www.europaconcorsi.com>

A Cura di ARIE GOTTFRIED, *L'Edilizia Scolastica, Universitaria e per la Ricerca*, Quaderni del Manuale di Progettazione Edilizia, Ulrico Hoepli Milano, 2006.

3

PROGETTO
STRUTTURALE



3.1 Premessa

Viste le dimensioni dell'intervento una soluzione strutturale modulare è stata ricercata fin dalle prime fasi progettuali, al fine di semplificare sia la progettazione sia il cantiere. Individuata una maglia strutturale regolare consona alle necessità architettonico-funzionali ed energetiche dell'edificio si è proceduto alla scelta dei materiali. La loro ottimizzazione è stata ottenuta mediante il confronto di differenti schemi statici.

3.2 Vita utile

In accordo con il capitolo 2.3 della norma UNI EN 1990:2006 e la relativa tabella 2.1, la struttura è stata progettata per una vita utile di almeno 50 anni.

3.3 Carichi

Le azioni agenti sulla struttura si dividono in:

- azioni permanenti (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo; si suddividono a loro volta in :
 - peso proprio di tutti gli elementi strutturali (G_1);
 - peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G_2);
 - spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;
 - pretensione e precompressione (P);
 - ritiro e viscosità;
 - spostamenti differenziali;
- azioni variabili (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo
- azioni accidentali (A): azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura (incendi, esplosioni, urti ed impatti)
- azioni sismiche (E): azioni derivanti dai terremoti

3.3.1 Azioni permanenti (G)

Per quanto riguarda il calcolo delle azioni permanenti si riportano i pesi dei diversi pacchetti tecnologici utilizzati.

Tabella 8 IMPALCATO AULE (solai alveolari appoggiati)

Strato	Spessore	Massa volumica	Massa per unità di sup.	Peso per unità di sup.
	[m]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[kN/m ²]
Pavimento in gomma	0,020	1100	22	0,22
Doppia lastra fibrogesso	0,018 + 0,018	1200	43	0,42
Pannelli radianti	0,032	27	1	0,01
Isolante acustico	0,020	100	2	0,02
Sistema pavimento sopraelevato	0,028	1200	34	0,33
Isolante EPS	0,050	25	1	0,01
Solaio alveolare	0,300	-	450	5,10
			Totale	6,11

Tabella 9 IMPALCATO AULE (solai alveolari continui)

Strato	Spessore	Massa volumica	Massa per unità di sup.	Peso per unità di sup.
	[m]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[kN/m ²]
Pavimento in gomma	0,020	1100	22	0,22
Doppia lastra fibrogesso	0,018 + 0,018	1200	43	0,42
Pannelli radianti	0,032	27	1	0,01
Isolante acustico	0,020	100	2	0,02
Sistema pavimento sopraelevato	0,028	1200	34	0,33
Isolante EPS	0,050	25	1	0,01
Getto completamento	0,050	2500	125	1,23
Solaio alveolare	0,300	-	450	3,60
			Totale	5,83

Tabella 10 IMPALCATO BIBLIOTECA (solai alveolari continui)

Strato	Spessore	Massa volumica	Massa per unità di sup.	Peso per unità di sup.
	[m]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[kN/m ²]
Pavimento in gomma	0,020	1100	22	0,22
Doppia lastra fibrogesso	0,018 + 0,018	1200	43	0,42
Pannelli radianti	0,032	27	1	0,01
Isolante acustico	0,020	100	2	0,02
Sistema pavimento sopraelevato	0,028	1200	34	0,33
Isolante EPS	0,050	25	1	0,01
Getto completam.	0,050	2500	125	1,23
Solaio alveolare	0,500	-	650	4,66
			Totale	6,89

Tabella 11 IMPALCATO BIBLIOTECA (solai alveolari appoggiati)

Strato	Spessore	Massa volumica	Massa per unità di sup.	Peso per unità di sup.
	[m]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[kN/m ²]
Pavimento in gomma	0,020	1100	22	0,22
Doppia lastra fibrogesso	0,018 + 0,018	1200	43	0,42
Pannelli radianti	0,032	27	1	0,01
Isolante acustico	0,020	100	2	0,02
Sistema pavimento sopraelevato	0,028	1200	34	0,33
Isolante EPS	0,050	25	1	0,01
Solaio alveolare	0,500	-	650	5,10
			Totale	6,11

Il peso proprio delle partizioni mobili può essere preso in conto sotto forma di un carico q_k uniformemente distribuito. Questo carico uniformemente distribuito così definito dipende dal peso proprio delle partizioni.

Per le partizioni mobili di progetto (con un peso proprio $\leq 1,0$ kN/m) si assume un carico distribuito equivalente pari a $g_k = 0,5$ kN/m²;

3.3.2 Azioni variabili (Q)

Le azioni variabili sono state stimate in base alla destinazione d'uso delle diverse zone dell'edificio, in particolare:

$q_k = 4$ kN/m² per aree in categoria C2: aree con posti a sedere fissi, per esempio aule universitarie;

$q_k = 5$ kN/m² per aree in categoria C3: aree prive di ostacoli al movimento delle persone;

$q_k = 7,5$ kN/m² per aree in categoria E1: aree per immagazzinamento inclusi immagazzinamento di libri e altri documenti.

$q_k = 0,75$ kN/m² per le azioni durante la costruzione (comprendente il personale operaio con piccole attrezzature)

3.3.2.1 Azione del vento

Il valore della velocità di riferimento del vento v_b è dato da:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

dove:

c_{dir} è il coefficiente di direzione, pari a 1,0

c_{season} è il coefficiente stagionale (temporaneo), pari a 1,0
 $v_{b,0}$ è il valore base della velocità di riferimento del vento, pari a 27,5 m/s
 $v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 27,5 = 27,5$ m/s

Il coefficiente di rugosità $c_r(z)$ è dato da:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{per} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$c_r = 0,23 \cdot \ln(18/1,0) = 0,66$$

con:

k_r fattore del terreno
 z altezza dal suolo
 z_0 lunghezza di rugosità, pari a 1,0 per terreni di categoria IV
 z_{min} altezza minima

Il fattore del terreno k_r è dato da:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$$k_r = 0,19 \cdot (1,0 / 0,05)^{0,07} = 0,23$$

con:

$z_{0,II}$ lunghezza di rugosità per un terreno di categoria II, pari a 0,05m

La pressione della velocità di picco $q_p(z)$ è data da:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

$$q_p = 1,50 \cdot 473 \text{ N/m}^2 = 710 \text{ N/m}^2$$

con:

$c_e(z)$ coefficiente di esposizione, pari a

$$c_e(z) = c_r^2 \cdot c_0^2 \cdot \left[1 + 7 \frac{k_r}{c_r c_0}\right]$$

$$c_e = 0,66^2 \cdot 1,0^2 \cdot (1 + 0,23/0,66) = 1,50$$

q_b pressione della velocità di riferimento, pari a:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

$$q_b = 0,5 \cdot 1,25 \text{ kg/m}^3 \cdot (27,5 \text{ m/s})^2 = 473 \text{ N/m}^2$$

con ρ (densità dell'aria) pari a $1,25 \text{ kg/m}^3$

La pressione del vento sulle superfici esterne w_e e la pressione del vento sulle superfici interne w_i sono pari a:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

con:

c_{pe} coefficiente di pressione per superfici esterne

c_{pi} coefficiente di pressione per superfici interne

Considerando l'azione del vento agente perpendicolarmente al prospetto nord o sud dell'edificio si ha:

$b = 180 \text{ m}$
 $d = 110 \text{ m}$
 $h = 18 \text{ m}$
 $e = 2h = 36 \text{ m}$
 $h/d = 0,16$

$c_{pe,A} = -1,2$
 $c_{pe,B} = -0,8$
 $c_{pe,C} = -0,5$
 $c_{pe,D} = +0,7$
 $c_{pe,E} = -0,3$

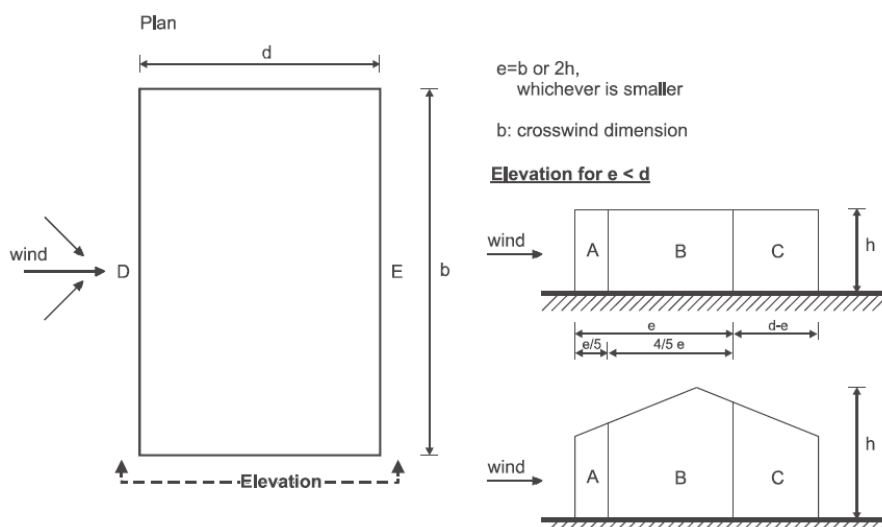


Figura 127 schemi per il calcolo dell'azione del vento

Considerando l'azione del vento agente perpendicolarmente al prospetto est od ovest dell'edificio si ha:

$b = 110 \text{ m}$
 $d = 180 \text{ m}$
 $h = 18 \text{ m}$
 $e = 2h = 36 \text{ m}$
 $h/d = 0,10$

valgono quindi gli stessi coefficienti di pressione del caso precedente.

Considerando l'azione del vento agente sulla copertura piana, essendo la pendenza α tale che $-5^\circ < \alpha < +5^\circ$ si ha:

$$z_e = h = 18 \text{ m}$$

$$r = 2 \text{ m}$$

$$r/h = 0,11$$

$$C_{pe,F} = -0,7$$

$$C_{pe,G} = -0,8$$

$$C_{pe,H} = -0,3$$

$$C_{pe,I} = \pm 0,2$$

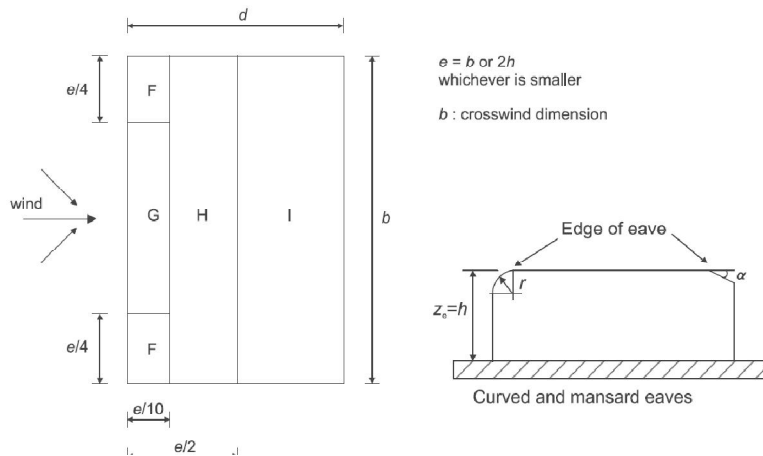


Figura 128 schemi per il calcolo dell'azione del vento

Per il coefficiente di pressione per superfici interne C_{pi} va considerato il valore più sfavorevole fra +0,2 e -0,3.

Le forze esterne valgono quindi:

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum w_e \cdot A_{ref} = c_s c_d \cdot \sum q_p(z_e) \cdot c_{pe} \cdot A_{ref}$$

Con:

c_{sd} coefficiente di struttura, pari a 0,85

Analogamente le forze interne invece valgono:

$$F_{w,i} = \sum w_i \cdot A_{ref} = \sum q_p(z_i) \cdot c_{pi} \cdot A_{ref}$$

Si rimanda alle varie situazioni analizzate per il calcolo delle spinte effettive del vento sulla struttura.

3.3.2.2 Azioni da neve

Il carico da neve sulla copertura vale:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \text{ kN/m}^2$$

con:

s	carico da neve sulla copertura
μ_i	coefficiente di forma, pari a 0,8 per coperture piane
C_e	coefficiente di esposizione, pari a 1,0 per aree con topografia normale
C_t	coefficiente termico, pari a 1,0 poiché la copertura è posta superiormente al sottotetto non riscaldato
s_k	valore caratteristico del carico da neve al suolo

Il valore s_k è definito come:

$$s_k = 0,164 Z - 0,082 + \frac{A}{966}$$

con:

A	altitudine della località sul livello del mare, pari a 0 m
Z	numero di zona assegnato dalla mappa, pari a 0,3

Siccome dalla formula precedente si ottiene un valore negativo, si assume un valore caratteristico del carico da neve pari a $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$, concordemente con quanto specificato nelle precedenti versioni degli Eurocodici.

3.4 Combinazioni

Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_p P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2} + \dots$$

con:

G_1	peso proprio strutturale
G_2	peso proprio non strutturale
$Q_{k1,2}$	carico variabile
γ_{G1}	coefficiente parziale per azioni permanenti (peso proprio strutturale), pari a 1,0 per carichi favorevoli, 1,3 per carichi sfavorevoli
γ_{G2}	coefficiente parziale per azioni permanenti (peso proprio non strutturale), pari a 0 per carichi favorevoli, 1,3 per carichi sfavorevoli compiutamente definiti
γ_{Qi}	coefficiente parziale per azioni non permanenti (carichi variabili), pari a 0 per carichi favorevoli, 1,5 per carichi sfavorevoli
ψ_{0i}	coefficiente di combinazione, pari a 0,7 per uffici e ambienti suscettibili di affollamento, 1,0 per biblioteche, 0 per coperture, 0,6 per vento, 0,5 per neve

Combinazione frequente, impiegata per gli stati limite d'esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

con:

ψ_{1i}	coefficiente di combinazione, pari a 0,5 per uffici, 0,7 per ambienti suscettibili di affollamento, 0,9 per biblioteche, 0 per coperture, 0,2 per vento e neve
ψ_{2i}	coefficiente di combinazione, pari a 0,3 per uffici, 0,6 per ambienti suscettibili di affollamento, 0,8 per biblioteche, 0 per coperture, 0 per vento e neve

Combinazione quasi permanente (SLE), impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

Combinazione caratteristica, impiegata per gli stati limite d'esercizio irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02}Q_{k2} + \dots$$

3.5 Descrizione del progetto e modellizzazione strutturale

Il metodo di progettazione integrata e multidisciplinare seguito fin dalle prime fasi ha consentito di ottimizzare e razionalizzare la maglia strutturale.

In particolar modo, la scelta di un unico modulo (di dimensioni 6,75 m x 13,5 m) come unità fondante dell'intero progetto ha permesso la creazione di una maglia strutturale regolare, con unica eccezione per quanto riguarda gli spazi prospicienti la street centrale e l'aula magna.

Si riportano qui brevemente le scelte effettuate nella scelta dei singoli componenti.

SOLAI

Si è scelto di ricorrere all'utilizzo di solai alveolari, potendo questi elementi garantire:

- copertura di ampie luci;
- benefici igrotermici grazie alla notevole inerzia termica;
- rapidità di costruzione;
- precisione di messa in opera e di finiture.

TRAVI

Per quanto riguarda le travi, si è optato (dopo un'analisi comparativa illustrata nei paragrafi seguenti) per travi miste in acciaio e calcestruzzo poiché consentono:

- rapidità di costruzione (usate insieme ai solai alveolari consentono, se opportunamente progettate, di non ricorrere o ricorrere solo parzialmente all'uso di sistemi di casseratura e puntellamento);
- realizzazione di travi ad elevata rigidità flessionale, capaci di coprire luci significative;
- sfruttamento ottimale delle proprietà intrinseche dei due materiali, in particolare utilizzando l'acciaio nella parte tesa della sezione ed il calcestruzzo in quella compressa.

PILASTRI

I pilastri sono stati realizzati con profili ad H in acciaio al fine di snellire il più possibile la struttura ed ottimizzare i tempi di costruzione.

STRUTTURA DI COPERTURA

La struttura di copertura è stata realizzata con semplici profili ad I in acciaio, uniti ad arcarecci scatolari sempre in acciaio, al fine di ottenere la massima leggerezza.

STRUTTURE SECONDARIE

Tutte le strutture secondarie (strutture di supporto a tamponamenti, frangisole, ecc.) sono realizzate in acciaio, a favore di una maggiore leggerezza, sia architettonica che materica, dell'intero manufatto.

La necessità di inserire un giunto strutturale ogni 40÷50 m ha portato alla divisione dell'edificio in più nuclei strutturali. Si è prestata attenzione affinché la

divisione strutturale coincidesse (ove necessario) con la divisione dei compartimenti antincendio al fine di semplificare i nodi tecnologici.

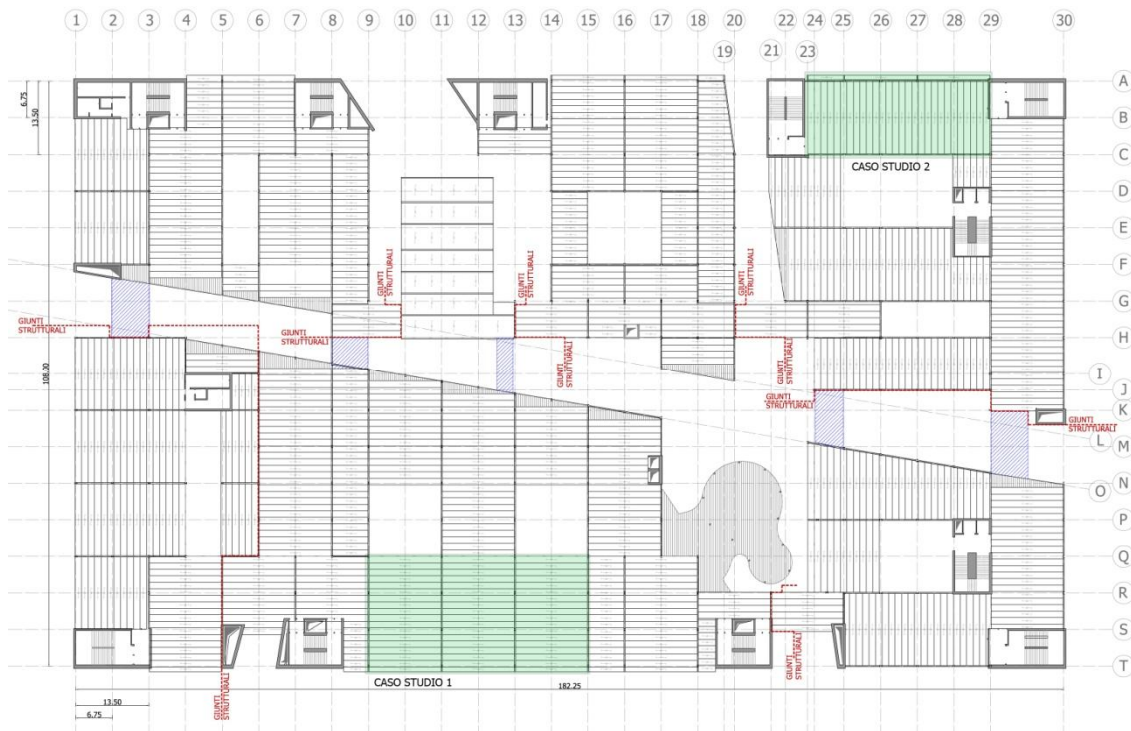


Figura 129 pianta strutturale piano tipo

Si è scelto di studiare, dimensionare e verificare il nucleo posto a sud-ovest, destinato ad aule di studio/lezione. Nell'immagine è tale zona è marcata in verde e contrassegnata come caso 1. Successivamente si propone l'ingrandimento di tale caso.

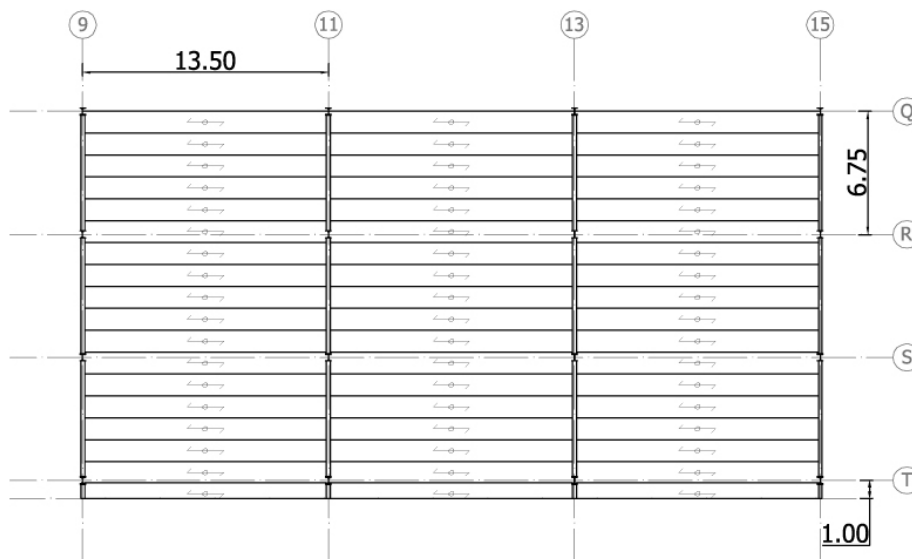


Figura 130 schema strutturale "caso 1"

In particolare è stata posta particolare attenzione nella progettazione delle travi: è stato eseguito un confronto fra varie soluzioni, pervenendo alla scelta della struttura mista come miglior soluzione.

MATERIALI

I materiali da costruzione utilizzati sono:

Acciaio strutturale S355

$f_y = 335 \text{ MPa}$ (tensione caratteristica di snervamento)
 $f_u = 510 \text{ MPa}$ (tensione caratteristica a rottura)
 $E = 210 \text{ GPa}$ (modulo elastico)

Acciaio strutturale S235 (profili scatolari di facciata)

$f_y = 235 \text{ MPa}$ (tensione caratteristica di snervamento)
 $f_u = 360 \text{ MPa}$ (tensione caratteristica a rottura)
 $E = 210 \text{ GPa}$ (modulo elastico)

Acciaio da armatura B450C

$f_y = 450 \text{ MPa}$ (tensione caratteristica di snervamento)
 $f_u = 540 \text{ MPa}$ (tensione caratteristica a rottura)
 $E = 210 \text{ GPa}$ (modulo elastico)

Calcestruzzo classe C25/30

$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ (resistenza cilindrica caratteristica a compressione)
 $R_{ck} = 30 \text{ MPa}$ (resistenza cubica caratteristica a compressione)
 $f_{cm} = 33 \text{ MPa}$ (resistenza media a compressione a 28gg)
 $f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$ (resistenza media a trazione a 28gg)
 $E_{cm} = 31 \text{ GPa}$ (modulo elastico secante)

3.6 Calcoli strutturali

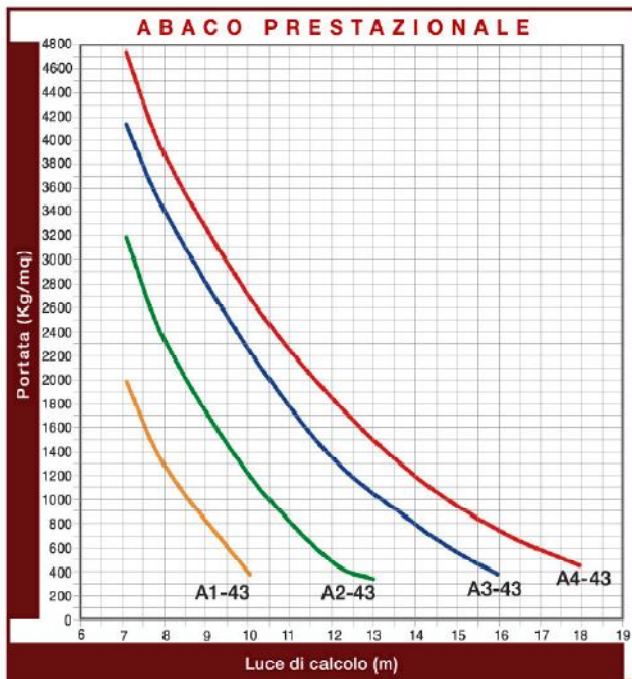
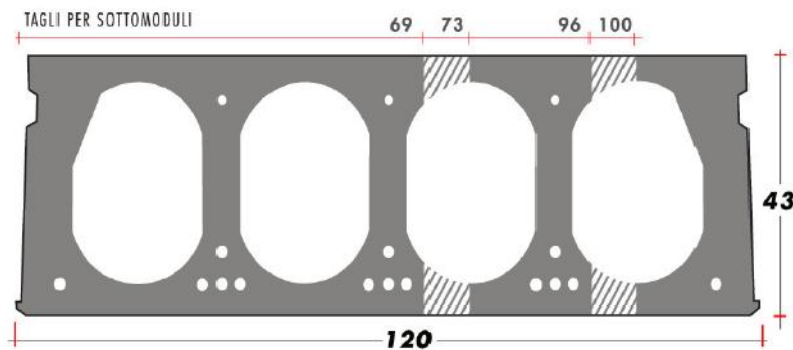
3.6.1 Solai

I solai alveolari sono stati predimensionati grazie alle schede tecniche e relative curve di utilizzo fornite dai produttori.

Solai semplicemente appoggiati

L'altezza minima per solai non di copertura in semplice appoggio è, secondo la norma CNR 10025/89, pari ad $L/35$, ovvero nel nostro caso pari a 39 cm.

Si è scelto un solaio di spessore 43 cm per 515 kg/m^2 (REI 120).



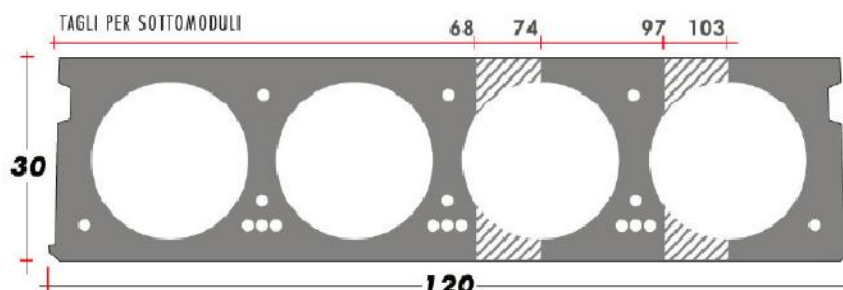
dati	
Peso proprio lastra di solaio	515 Kg/mq
Larghezza lastra di solaio	120 cm
Altezza lastra solaio	43,0 cm
Altezza soletta in opera	5,0 cm
Trasporto	Max 50 mq viaggio
Incidenza getto di testata	0,261 mc lastra
Incidenza getto longitudinale	0,013 mc/ml

TIPO	LUCE DI CALCOLO (m)												
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
A1 - 43	2000	1250	780	380									
A2 - 43	3200	2300	1700	1200	820	480	340						
A3 - 43	4150	3300	2780	2250	1750	1350	1040	800	570	380			
A4 - 43	4750	3850	3230	2700	2220	1850	1500	1200	950	750	580	450	

Figura 131 dati tecnici solaio “semplicemente appoggiato”

Solai in continuità

L'altezza minima per solai non di copertura continui è, secondo la norma CNR 10025/89, pari ad $L/42$, ovvero nel nostro caso pari a 32 cm ($h = h_{\text{solaio}} + h_{\text{soletta}}/2$). Si è scelto un solaio di spessore 30 + 5 cm per 363 + 125 kg/m² (REI 120).



dati	
Peso proprio lastra di solaio	363 Kg/mq
Larghezza lastra di solaio	120 cm
Altezza lastra solaio	30 cm
Altezza soletta in opera	5,0 cm
Trasporto	Max 80 mq viaggio
Incidenza getto di testata	0,18 mc lastra
Incidenza getto longitudinale	0,008 mc/ml



TIPO	LUCE DI CALCOLO (m)										
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A1 - 30	2300	1650	1050	600	350						
A2 - 30	3050	2300	1800	1420	1100	800	480	310			
A3 - 30	3700	2850	2250	1850	1550	1250	1000	750	550	350	
A4 - 30	4150	3200	2600	2150	1800	1550	1300	1050	800	600	430

Figura 132 dati tecnici solaio “in continuità”

Calcolo reazioni vincolari dei solai

Caso 1 – Solai alveolari semplicemente appoggiati

Dato lo schema di trave doppiamente appoggiata, le reazioni vincolari agli appoggi valgono (considerando che su ogni trave poggiano due ordini di solai):

SLU

$$R = (\gamma_G \cdot g + \gamma_q \cdot q) \cdot L = (1,3 \cdot 6,1 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 4 \text{ kN/m}) \cdot 13,5 \text{ m} = 188,1 \text{ kN}$$

SLE

$$R = (g + \psi_{11} \cdot q) \cdot L = (6,1 \text{ kN/m} + 0,7 \cdot 4 \text{ kN/m}) \cdot 13,5 \text{ m} = 120,1 \text{ kN}$$

Caso 2 – Solai alveolari con getto di completamento

L'involuppo delle sollecitazioni di taglio per lo schema di trave continua e di trave incastrata porta ai seguenti diagrammi:

SLU

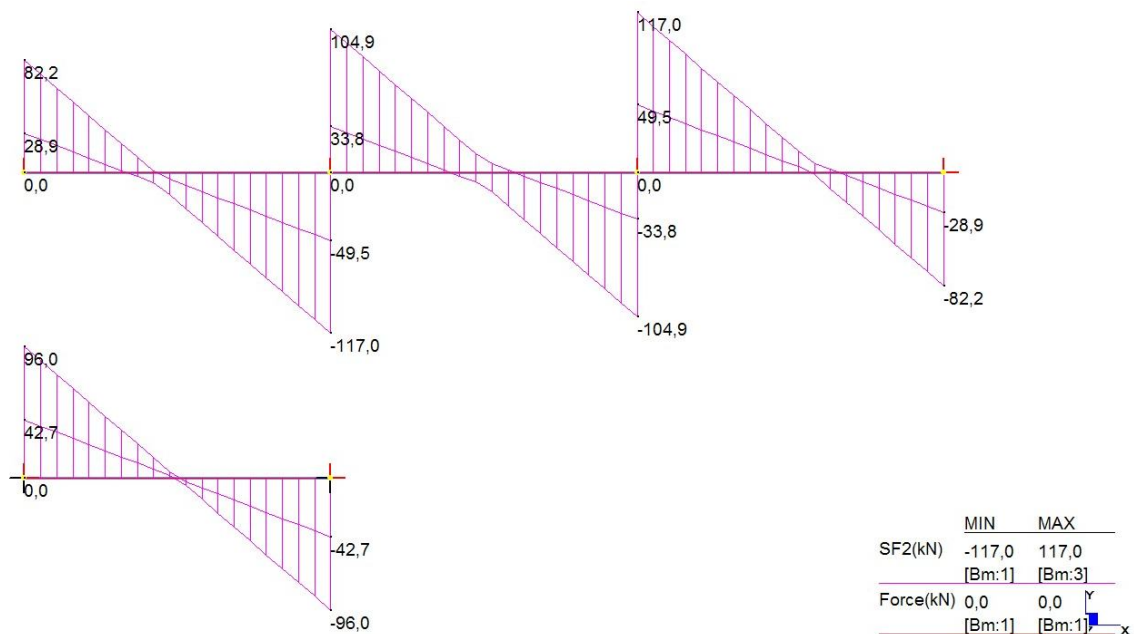


Grafico 8 diagrammi di taglio

Le reazioni vincolari massime e minime valgono:

$$R_{max} = 104,9 \text{ kN} + 117,0 \text{ kN} = 221,9 \text{ kN}$$

$$R_{min} = 33,8 \text{ kN} + 49,5 \text{ kN} = 83,3 \text{ kN}$$

SLE

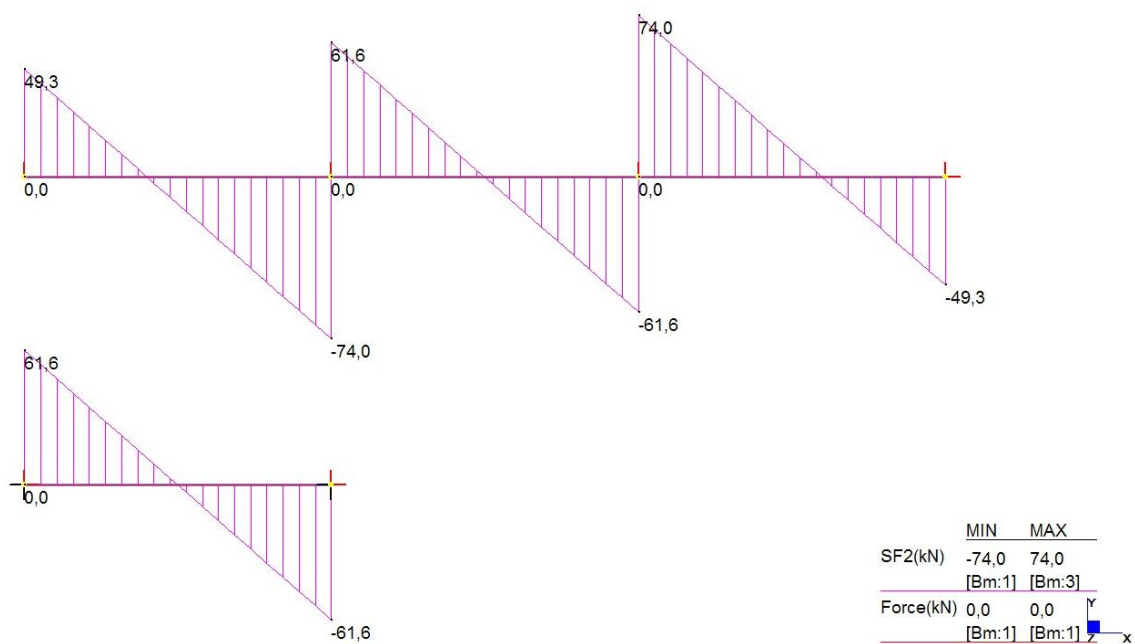


Grafico 9 diagrammi di taglio

Le reazioni vincolari massime valgono:

$$R_{max} = 61,6 \text{ kN} + 74,0 \text{ kN} = 135,6 \text{ kN}$$

3.6.2 Travi e loro ottimizzazione

Scelti i solai alveolari, si è posta particolare attenzione nella progettazione delle travi. Sono state prese in esame 4 possibili soluzioni, al fine di evidenziare potenzialità e debolezze di ciascuna soluzione e giungere alla scelta del sistema strutturale più efficiente.

Le travi sono state progettate analizzando diversi schemi strutturali e diversi materiali; in particolare sono state esaminate le seguenti configurazioni:

- travi un acciaio incernierate con solai alveolari appoggiati;
- travi un acciaio incastrate con solai alveolari appoggiati;

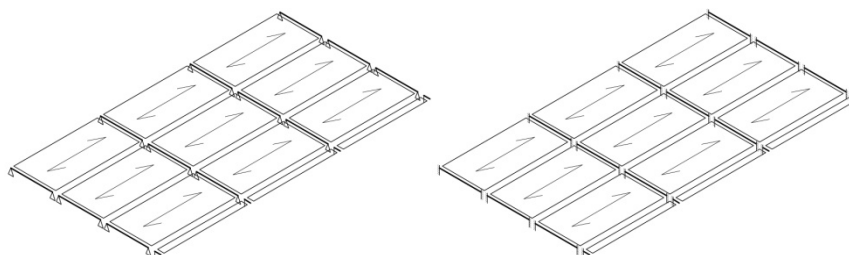


Figura 133 schema travi acciaio appoggiate e solaio alveolare appoggiato; travi incastrate e solaio alveolare appoggiati

- travi miste acciaio-cls incernierate con solai alveolari continui;
- travi miste acciaio-cls continue con solai alveolari continui

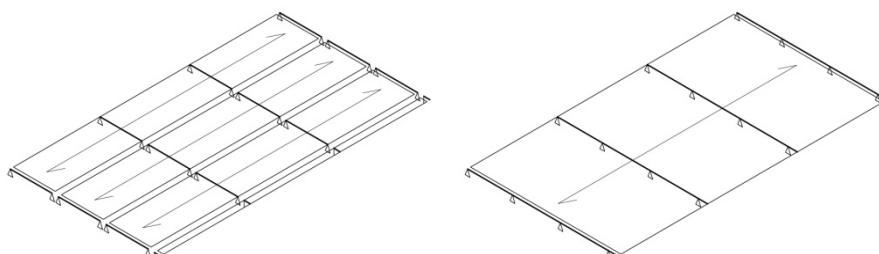


Figura 134 schema travi miste app. e solai alveolari continui; travi miste incastrate e solaio alveolare continui

La terza e la quarta tipologia strutturale hanno richiesto una doppia analisi, verificandone il comportamento nelle 2 fasi di seguito descritte:

- **FASE 1: fase di posa in opera delle lastre alveolari con getto non collaborante.** In questa fase non si è ancora attivato il meccanismo di trasferimento del taglio (tramite pioli Nelson) fra soletta in calcestruzzo e trave in acciaio. La trave si comporta quindi come una normale trave in acciaio.
- **FASE 2: fase di “esercizio”** (da non intendersi esclusivamente con gli SLE). In questa fase la trave si comporta effettivamente come trave mista acciaio-calcestruzzo.

3.6.2.1 Travi incernierate con solai appoggiati

Lo schema statico risulta essere quello di semplici travi doppiamente appoggiate.

Il predimensionamento della trave si basa sul modulo di resistenza plastico minimo necessario a sopportare il massimo momento flettente in mezzeria.

Il massimo momento flettente in mezzeria vale:

$$M_{Ed} = q \cdot L^2 / 8 = 188,1 \text{ kN/m} \cdot (6,75 \text{ m})^2 / 8 = 1071,3 \text{ kN m}$$

da cui:

$$W_{pl} = \gamma_M \cdot M_{c,Rd} / f_{yk} = 1,05 \cdot 1071,3 \text{ kN m} / 355 \text{ MPa} = 3168,6 \text{ cm}^3$$

Si è scelto un profilo IFB, costituito da metà profilo ad H o ad I e da un piatto saldato, che consente di mantenere la trave nello spessore della soletta e di contrastare efficacemente il fenomeno dell'instabilità flessione-torsionale.

Profilo scelto: **IFB ½ HE 600 M + 500x30**

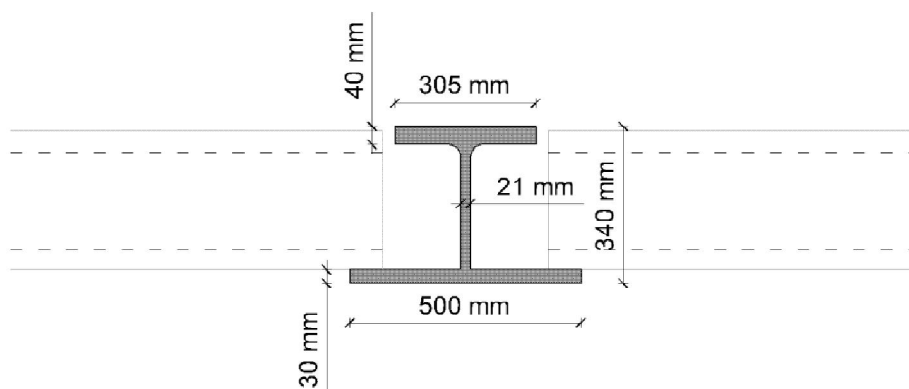


Figura 135 raffigurazione della soluzione a travi incernierate e solai appoggiati

VERIFICHE SLU

Flessione

Ipotizzando un comportamento elastico, la verifica risulta:

$$M_{c,Rd} = (1-\rho) \cdot W_{el} \cdot f_{yk} / \gamma_M = (1 - 0,10) \cdot 3631 \text{ cm}^3 \cdot 355 \text{ MPa} / 1,05 = 1101 \text{ kN m}$$

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 1071,3 / 1101 = 0,97 < 1,0$$

Taglio

Ipotizzando solo l'anima resistente a taglio, la verifica risulta:

$$V_{pl,Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 49,4 \text{ cm}^2 \cdot (355 \text{ MPa} / \sqrt{3}) / 1,05 = 963,3 \text{ kN}$$

Verifica:

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 634,8 / 963,3 = 0,66 < 1,0$$

$$\rho = (2V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2 = (2 \cdot 636,2 / 963,3 - 1)^2 = 0,10$$

Instabilità flessio-torsionale

Si riporta la verifica eseguita con un software ad elementi finiti.

Beam

Total length	L	=	6,75	m
Number of elements	N	=	100	

Steel

Young modulus	E	=	210000	MPa
Poisson's coefficient	v	=	0,3	
Shear modulus	G	=	80769	MPa

Section - By Dimensions

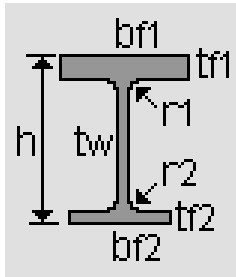


Figura 136 schematizzazione valori di riferimento trave

Total height	h	=	350	mm
Web thickness	tw	=	21	mm
Upper flange width	bf1	=	305	mm
Upper flange thickness	tf1	=	40	mm
Upper radius	r1	=	27	mm
Lower flange width	bf2	=	500	mm
Lower flange thickness	tf2	=	30	mm
Lower radius	r2	=	0	mm
Weak flexural inertia	Iz	=	40739	cm ⁴
Torsional constant	It	=	1230,7	cm ⁴
Warping constant	Iw	=	7,2057E=6	cm ⁶
Wagner factor	βz	=	62,9	mm
Shear centre position /	GzS	=	-71,839	mm

Lateral Restraints

Left End

Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	v	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	v'	=	Free	
Warping restraint	θ'	=	Free	

Right End

Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	v	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	v'	=	Free	
Warping restraint	θ'	=	Free	

No intermediate lateral restraint

Loading

Supports at Ends in the Plane of Bending Hinged at both ends

Distributed load

Value at the origin	q_1	=	-99,9	kN/m
Value at the end	q_2	=	-99,9	kN/m
Abscissa/L at the origin	xf_1	=	0	
Abscissa/L at the end	xf_2	=	1	
Position /S	z	=	0	mm



Figura 137 schema forze applicate e posizione vincoli laterali

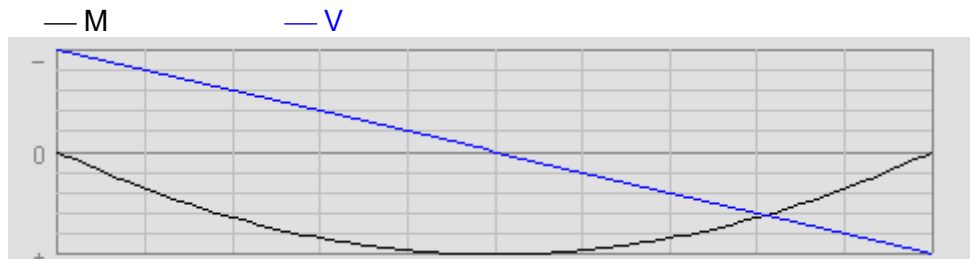


Grafico 10 diagramma momento e taglio

Maximum moment	M_{max}	=	568,96	kN.m
Abscissa/L	xf	=	0,500	

Critical Moment

Eigenvalue solving

Dichotomic process on determinant

Convergence tolerance	ε	=	0,0001
Number of iterations performed	nit	=	16
Convergence achieved			
Eigenvalue obtained	μ	=	8,6365

Critical Moment

Critical value of maximum moment $M_{cr} = 4913,8 \text{ kN.m}$
Abscissa/L $x_f = 0,500$

Eigenmode

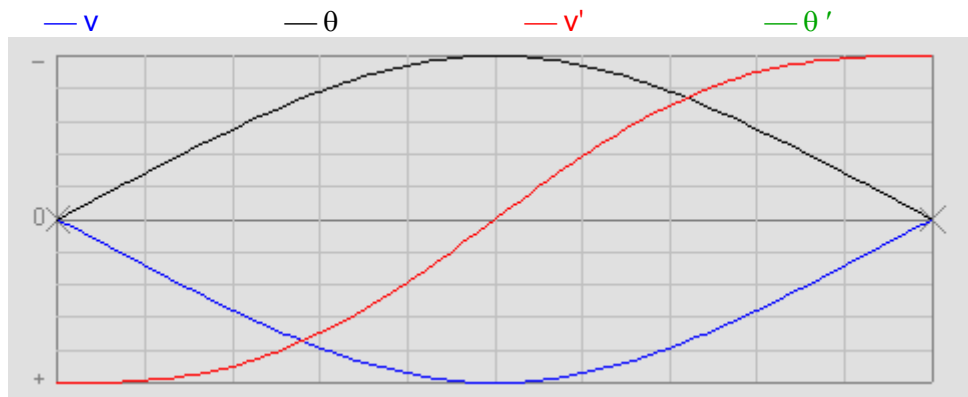


Grafico 11 schema andamento delle 3equazioni di risoluzione del software

VERIFICHE SLE

Spostamento verticale

Il massimo spostamento in mezzzeria vale:

$$f_1 = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} = \frac{5}{384} \cdot \frac{120,1 \cdot \text{kN/m} (6,75 \text{ m})^4}{210 \text{ GPa} \cdot 66995 \text{ cm}^4} = 2,5 \text{ cm} = \frac{L}{270} < \frac{L}{250}$$

3.6.2.2 Travi incastrate con solai appoggiati

Ipotizzato lo schema di trave doppiamente incastrata, il massimo momento agente in campata vale:

$$M_{Ed} = q \cdot L^2 / 12 = 188,1 \text{ kN/m} \cdot (6,75 \text{ m})^2 / 12 = 714,2 \text{ kN m}$$

da cui si ottiene il modulo di resistenza plastico minimo:

$$W_{pl} = \gamma_M \cdot M_{c,Rd} / f_{yk} = 1,05 \cdot 7142 \text{ kN m} / 355 \text{ MPa} = 2112,4 \text{ cm}^3$$

Profilo scelto: **IPE 500**

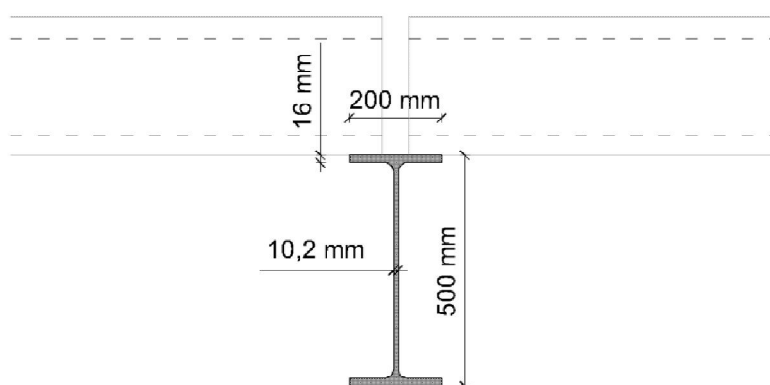


Figura 138 raffigurazione della soluzione a travi incastrate e solai appoggiati

VERIFICHE SLU

Flessione

Il profilo è in classe 1, infatti per l'anima della trave vale:

$$\xi = (235 / f_y)^{0.5} = (235 / 355)^{0.5} = 0.81$$

$$c/t = 426 / 10,2 = 41,8 < 72 \xi = 58,3$$

e per le ali vale:

$$c/t = 100/16 = 6,25 < 9 \xi = 7,29$$

Si può dunque prevedere un comportamento plastico della sezione.

Si riporta la verifica :

$$M_{c,Rd} = (1-\rho) \cdot W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_M = (1 - 0,01) \cdot 2194 \text{ cm}^3 \cdot 355 \text{ MPa} / 1,05 = 741,8 \text{ kN m}$$

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 714,2 / 741,8 = 0,97 < 1,0$$

Taglio

Il massimo taglio agli appoggi vale:

$$V_{Ed} = q \cdot L / 2 = 188,1 \text{ kN/m} \cdot 6,75 \text{ m} / 2 = 636,2 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 5984 \text{ cm}^2 \cdot (355 \text{ MPa} / \sqrt{3}) / 1,05 = 1168 \text{ kN}$$

Verifica:

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 636,2 / 1168 = 0,55 < 1,0$$

$$\rho = (2V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2 = (2 \cdot 636,2 / 1168 - 1)^2 = 0,01$$

Instabilità flessio-torsionale

Si riporta la verifica eseguita con un software ad elementi finiti.

Beam

Total length	L	=	6,75	m
Number of elements	N	=	100	

Steel

Young modulus	E	=	210000	MPa
Poisson's coefficient	ν	=	0,3	
Shear modulus	G	=	80769	MPa

Section - In Catalogue

Selected Profile		=	IPE 500	
Weak flexural inertia	I_z	=	2141,7	cm ⁴
Torsional constant	I_t	=	89,665	cm ⁴
Warping constant	I_w	=	1,2543E=6	cm ⁶
Wagner factor	β_z	=	0	mm

Lateral Restraints

Left End

Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	v	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	v'	=	Free	
Warping restraint	θ'	=	Free	

Right End

Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	v	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	v'	=	Free	
Warping restraint	θ'	=	Free	

No intermediate lateral restraint

Loading

Supports at Ends in the Plane of Bending Fixed at both ends

Distributed load

Value at the origin	q1 =	-99,9	kN/m
Value at the end	q2 =	-99,9	kN/m
Abscissa/L at the origin	xf1 =	0	
Abscissa/L at the end	xf2 =	1	
Position /S	z =	0	mm

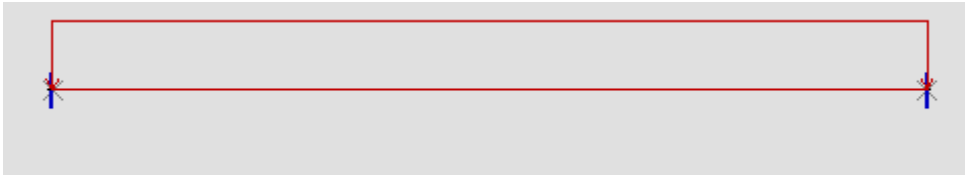


Figura 139 schema forze applicate e posizione vincoli laterali

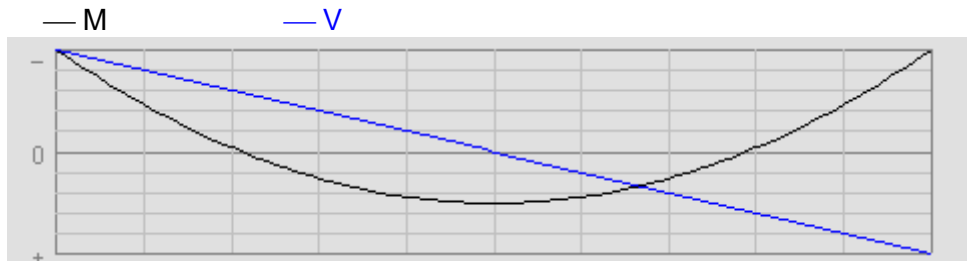


Grafico 12 diagramma momento e taglio

Maximum moment	Mmax =	-379,31	kN.m
Abscissa/L	xf =	0,000	

Critical Moment

Eigenvalue solving

Dichotomic process on determinant

Convergence tolerance $\varepsilon = 0,0001$

Number of iterations performed nit = 18

Convergence achieved

Eigenvalue obtained $\mu = 2,4409$

Critical Moment

Critical value of maximum moment	Mcr =	-925,87	kN.m
Abscissa/L	xf =	0,000	

Eigenmode

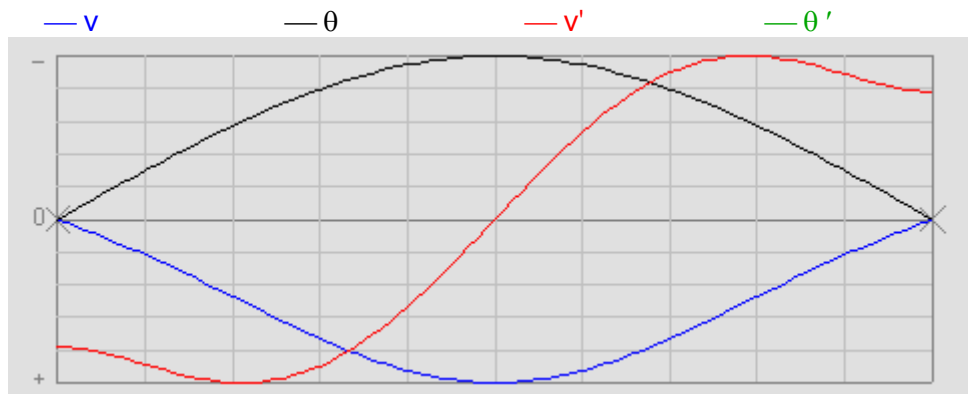


Grafico 13 schema andamento delle 3equazioni di risoluzione del software

VERIFICHE SLE

Spostamento verticale

Il massimo spostamento in mezzeria vale:

$$f_1 = \frac{1}{384} \frac{qL^4}{EI} = \frac{1}{384} \cdot \frac{120,1 \text{ kN/m} \cdot (6,75 \text{ m})^4}{210 \text{ GPa} \cdot 48200 \text{ cm}^4} = 0,64 \text{ cm} = \frac{L}{1054} < \frac{L}{250}$$

3.6.2.3 Travi incernierate con solai continui

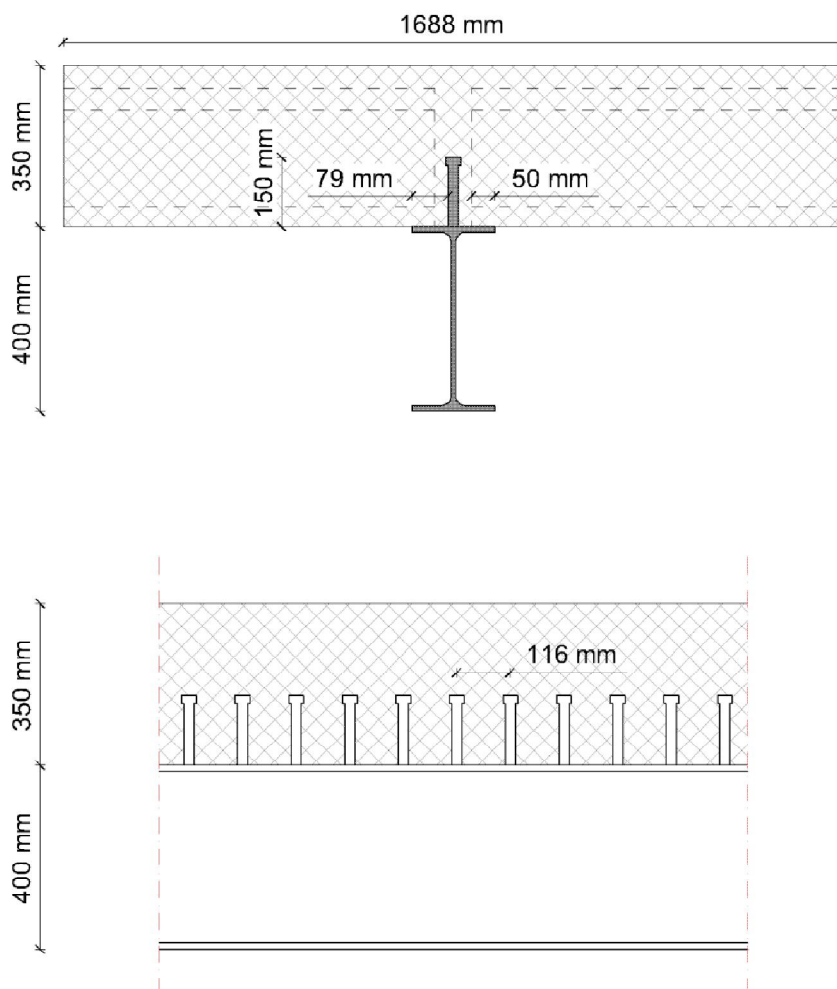


Figura 140 raffigurazione della soluzione a travi incernierate e solai continui

FASE 1

Il carico massimo sulla trave vale:

$$q_{SLU} = (\gamma_G \cdot g_1 + \gamma_g \cdot q_1) L_{solaio} = (1,3 \cdot 4,83 \text{ kN/m}^2 + 1,5 \cdot 0,75 \text{ kN/m}^2) 13,5 \text{ m} = 99,9 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLE} = (g_1 + \psi_{11} \cdot q_1) L_{solaio} = (4,83 \text{ kN/m}^2 + 0,7 \cdot 0,75 \text{ kN/m}^2) 13,5 \text{ m} = 72,3 \text{ kN/m}$$

Profilo scelto: **IPE 400**

VERIFICHE SLU

Flessione

Per evitare problemi di instabilità flessio-torsionale lo schema di calcolo è quello di trave continua su 3 appoggi; il massimo momento flettente si ha sull'appoggio centrale come si può vedere dai diagrammi e vale $M_{Ed} = 135,9$ kNm.

	MIN	MAX
BM2(N.m)	-135,9	82,4
	[Bm:1]	[Bm:2]

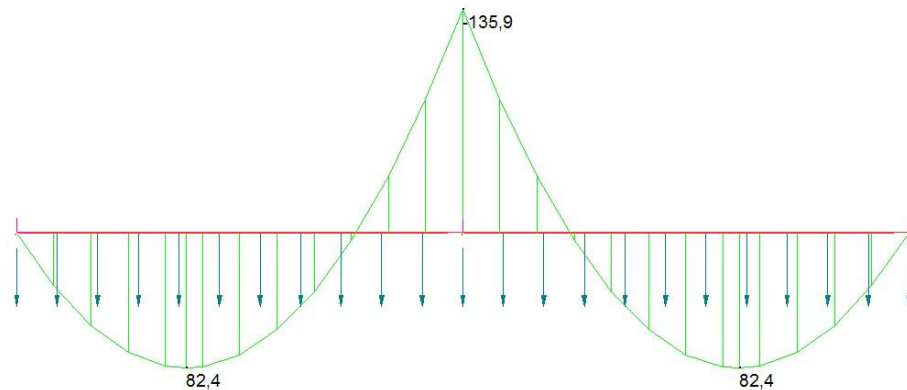


Grafico 14 diagramma del momento

	MIN	MAX
SF2(N)	-208,9	208,9
	[Bm:1]	[Bm:2]

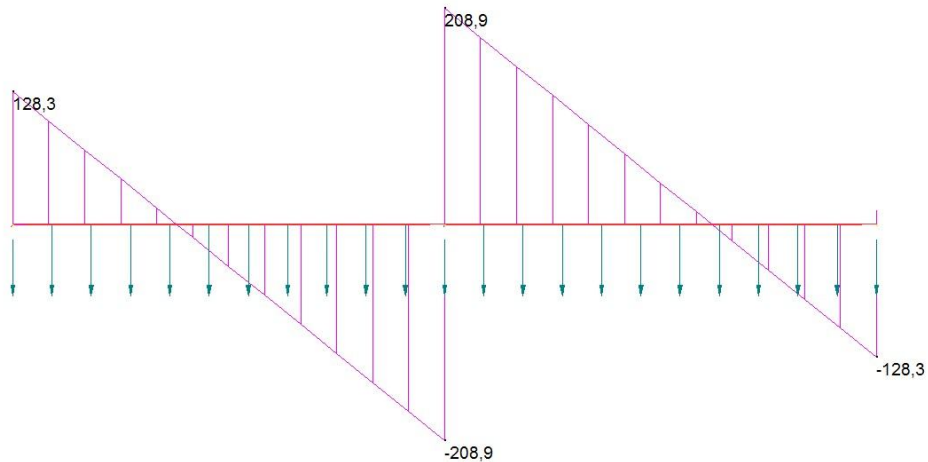


Grafico 15 diagramma del taglio

Il profilo è in classe 1, infatti per l'anima della trave vale:

$$\xi = (235 / f_y)^{0.5} = (235 / 355)^{0.5} = 0.81$$
$$c/t = 331 / 8,6 = 38,4 < 72 \quad \xi = 58,3$$

e per le ali vale:

$$c/t = 90/13,5 = 6,67 < 9 \xi = 7,29$$

Si riporta la verifica :

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_M = 1307 \text{ cm}^3 \cdot 355 \text{ MPa} / 1,05 = 441,9 \text{ kN m}$$

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 135,9 / 441,9 = 0,32 < 1,0$$

Taglio

Il massimo taglio sull'appoggio centrale vale:

$$V_{Ed} = 208,9 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = A \cdot h / (b+h) \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 833,3 \text{ kN}$$

Verifica:

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 208,9 / 833,3 = 0,25 < 1,0$$

Instabilità flessio-torsionale

Si riporta la verifica eseguita con un programma ad elementi finiti.

Beam

Total length	L	=	6,75	m
Number of elements	N	=	100	

Steel

Young modulus	E	=	210000	MPa
Poisson's coefficient	v	=	0,3	
Shear modulus	G	=	80769	MPa

Section - In Catalogue

Selected Profile		=	IPE 400	
Weak flexural inertia	I _z	=	1317,8	cm ⁴
Torsional constant	I _t	=	51,326	cm ⁴
Warping constant	I _w	=	492149	cm ⁶
Wagner factor	β _z	=	0	mm

Lateral Restraints

Left End

Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	v	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	v'	=	Free	
Warping restraint	θ'	=	Free	

Right End

Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	v	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	v'	=	Free	
Warping restraint	θ'	=	Free	

Local 1

Abscissa/L	xf	=	0,5	
Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	v	=	Free	
Torsional restraint	θ	=	Free	

Loading

Supports at Ends in the Plane of Bending

Hinged at both ends

Distributed load

Value at the origin	q1	=	-99,9	kN/m
Value at the end	q2	=	-99,9	kN/m
Abscissa/L at the origin	xf1	=	0	
Abscissa/L at the end	xf2	=	1	
Position /S	z	=	0	mm

Point load

Value	F	=	420	kN
Abscissa/L	xf	=	0,5	
Position /S	z	=	0	mm



Figura 141 schema forze applicate e posizione vincoli laterali

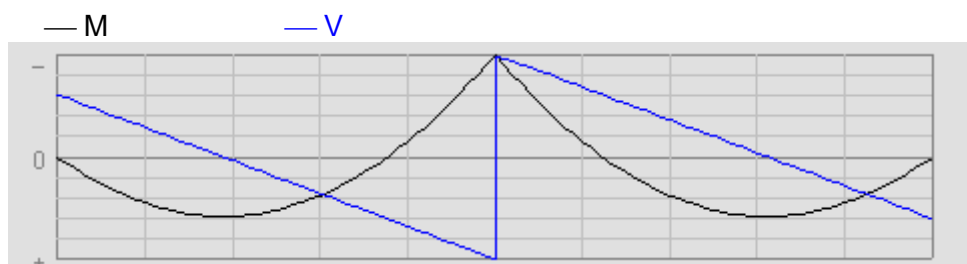


Grafico 16 diagramma momento e taglio

Maximum moment	Mmax	=	-139,79	kN.m
Abscissa/L	xf	=	0,500	

Critical Moment

Eigenvalue solving

Dichotomic process on determinant

Convergence tolerance	ε	=	0,0001
Number of iterations performed	nit	=	18
Convergence achieved			
Eigenvalue obtained	μ	=	2,9041

Critical Moment

Critical value of maximum moment	M_{cr}	=	-405,95 kN.m
Abscissa/L	x_f	=	0,500

Eigenmode

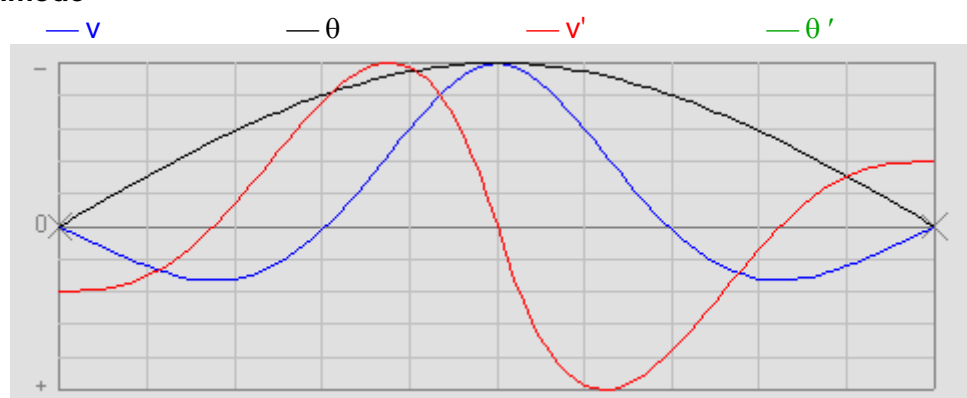


Grafico 17 schema andamento delle 3equazioni di risoluzione del software

VERIFICHE SLE

Spostamento verticale

La massima freccia si ha al momento di rimozione del puntello. La trave mista risulta in questo frangente sollecitata da un carico concentrato in mezzzeria pari alla reazioni esercitata dal puntello.

Dati i carichi allo SLE, la reazione del puntello vale $R = 2 \cdot 151,2 \text{ kN} = 302,4 \text{ kN}$, che va applicata alla trave con sezione mista.

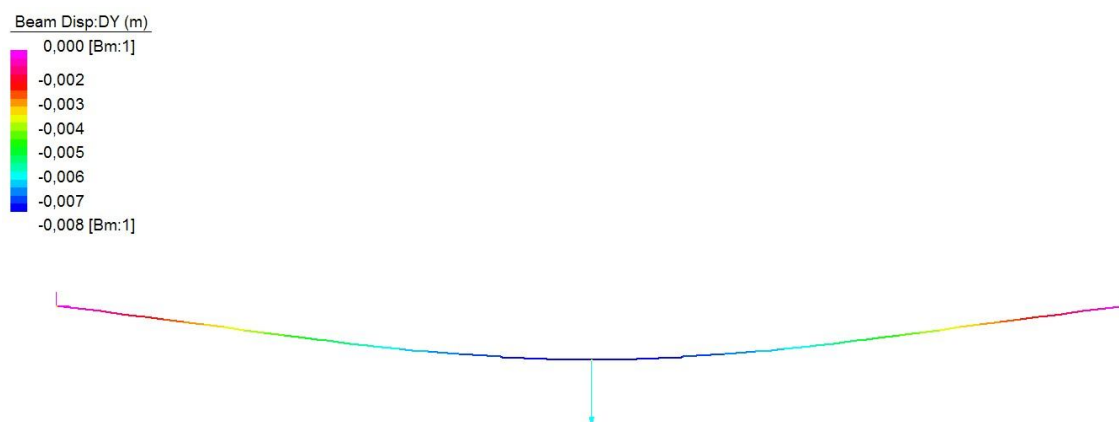


Figura 142 rappresentazione della deformata

La freccia massima vale quindi:

$$f_1 = 0,8 \text{ cm} = \frac{L}{845} < \frac{L}{250}$$

FASE 2

VERIFICHE SLU

Per le verifiche allo SLU non si tiene conto delle sequenze di costruzione (sezioni trasversali di classe 1 o 2, nessuna riduzione per instabilità latero-torsionale). Come visto precedentemente il massimo carico agente sulla trave vale $R = 221,9 \text{ kN}$.

La trave è doppiamente appoggiata, si può quindi procedere facilmente alla determinazione delle azioni agenti su di essa.

Flessione

Il massimo momento agente sulla trave vale dunque:

$$M_{Ed} = q \cdot L^2 / 8 = 221,9 \text{ kN/m} \cdot (6,75 \text{ m})^2 / 8 = 1263,8 \text{ kN m}$$

La lunghezza equivalente della trave (distanza fra 2 punti a momento nullo) vale $L_e = 6,75 \text{ m}$, per cui la larghezza efficace in mezzzeria b_{eff} vale:

$$b_{eff} = b_0 + \Sigma b_{ei} = 0 + 2 \cdot 6.75\text{m} / 8 = 1688 \text{ mm}$$

La distanza dell'asse neutro dall'estradosso della trave vale:

$$y = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot B} = 119,4 \text{ mm}$$

Nota la posizione dell'asse neutro è possibile trovare il braccio delle forze interne $z = z_a - y/2$ ed il momento plastico resistente $M_{pl,Rd}$:

$$M_{pl,Rd} = f_{yd} \cdot A_a \cdot z = 1400 \text{ kN m}$$

Da cui la verifica:

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 1263,8 / 1400 = 0,90 < 1,0$$

Taglio

Il massimo taglio sull'appoggio centrale vale:

$$V_{Ed} = q \cdot L / 2 = 221,9 \text{ kN/m} \cdot 6,75 \text{ m} / 2 = 749 \text{ kN}$$

Il taglio resistente viene affidato interamente al profilo di acciaio, quindi si avrà, come visto precedentemente $V_{pl,Rd} = 833,3 \text{ kN}$, da cui:

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 749 / 833,3 = 0,90 < 1,0$$

Connessione a taglio

Si è scelto di realizzare una connessione a completo ripristino della resistenza a taglio tramite pioli Nelson.

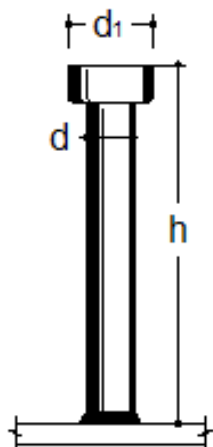


Figura 143 piolo Nelson

Pioli scelti: $d = 22 \text{ mm}$; $h = 150 \text{ mm}$

La resistenza a taglio di un piolo è la minore fra:

$$P_{Rd1} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / 4}{\gamma_V}$$

e:

$$P_{Rd2} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} E_{cm}}}{\gamma_V}$$

con:

$$\alpha = 0,2 (h_{sc}/d + 1) \quad \text{per } 3 \leq h_{sc}/d \leq 4$$

$$\alpha = 1 \quad \text{per } h_{sc}/d > 4$$

γ_V coefficiente parziale pari a 1,25

d diametro del gambo del piolo, $d = 22 \text{ mm} < 2,5 t_f$ ($16 \text{ mm} \leq d < 25 \text{ mm}$)

f_u resistenza ultima a trazione del piolo, $f_u < 500 \text{ Mpa}$

Il taglio longitudinale determinato dal momento plastico finale vale:

$$V_L = f_{yd} \cdot A_a$$

Nel caso in esame si ha:

$$\alpha = 1$$

$$P_{Rd1} = 109,5 \text{ kN}$$

$$P_{Rd2} = 99,6 \text{ kN}$$

$$V_L = 2856 \text{ kN}$$

$$n = 2 V_L / P_{Rd} = 2 \cdot 2856 \text{ kN} / 99,6 \text{ kN} = 57$$

$$i = L / (n + 1) = 6,75 \text{ m} / (57 + 1) = 116 \text{ mm}$$

Sono rispettati I limiti di spaziatura dei connettori, infatti:

$$i < \min (800 \text{ mm}; 6 \cdot h_{soletta} = 2100 \text{ mm})$$

$$i > 2,5 d = 55 \text{ mm}$$

Taglio longitudinale nella soletta di calcestruzzo

E' necessario disporre un'armatura trasversale alla trave al fine di evitare rotture per scorrimento.

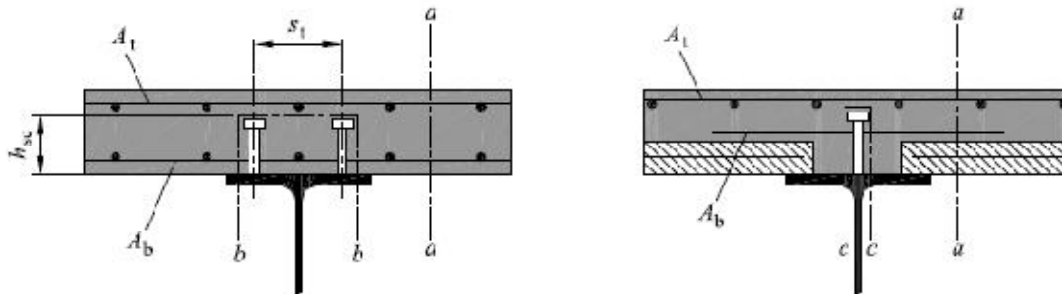


Figura 144 schemi per la valutazione dell'armatura trasversale

La tensione longitudinale di taglio di progetto per unità di lunghezza v_{Ed} vale:

$$v_{Ed} = P_{Rd} / (h_f \cdot i) = 99,6 \text{ kN} / (350 \text{ mm} \cdot 116 \text{ mm}) = 2,5 \text{ MPa}$$

Per l'armatura tesa si impone:

$$(A_{sf} \cdot f_{yd} / s_f) > v_{Ed} \cdot h_f / \cot \theta_f$$

quindi, minimizzando $\cot \theta_f$ ($\theta_f = 45^\circ$), si ottiene:

$$A_{sf} / s_f = 22 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Per la biella compressa di calcestruzzo si impone:

$$v_{Ed} < v \cdot f_{cd} \sin \theta_f \cdot \cos \theta_f$$

con $v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck}/250)$. Quindi, massimizzando $\sin \theta_f \cos \theta_f$ ($\theta_f = 26,5^\circ$) si ottiene:

$$v_{Ed} = 2,5 \text{ MPa} < 3,59 \text{ MPa} = v \cdot f_{cd} \sin \theta_f \cdot \cos \theta_f$$

Armatura scelta: **10 Φ 18 ($A_s = 25 \text{ cm}^2/\text{m}$)**

VERIFICHE SLE

Spostamenti verticali

Non tenendo conto della storia di carico della trave (poiché la freccia non rappresenta un problema per travi miste di modesta luce), la massima freccia in mezzeria può essere calcolata come per ogni trave appoggio-appoggio.

Il massimo carico distribuito sulla trave è pari a $R = 135,6 \text{ kN}$.

La freccia vale quindi:

$$f_1 = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} = \frac{5}{384} \cdot \frac{135,6 \text{ kN/m} \cdot (6,75 \text{ m})^4}{210 \text{ GPa} \cdot 163000 \text{ cm}^4} = 1,1 \text{ cm} = \frac{L}{613} < \frac{L}{250}$$

3.6.2.4 Travi incastrate con solai continui

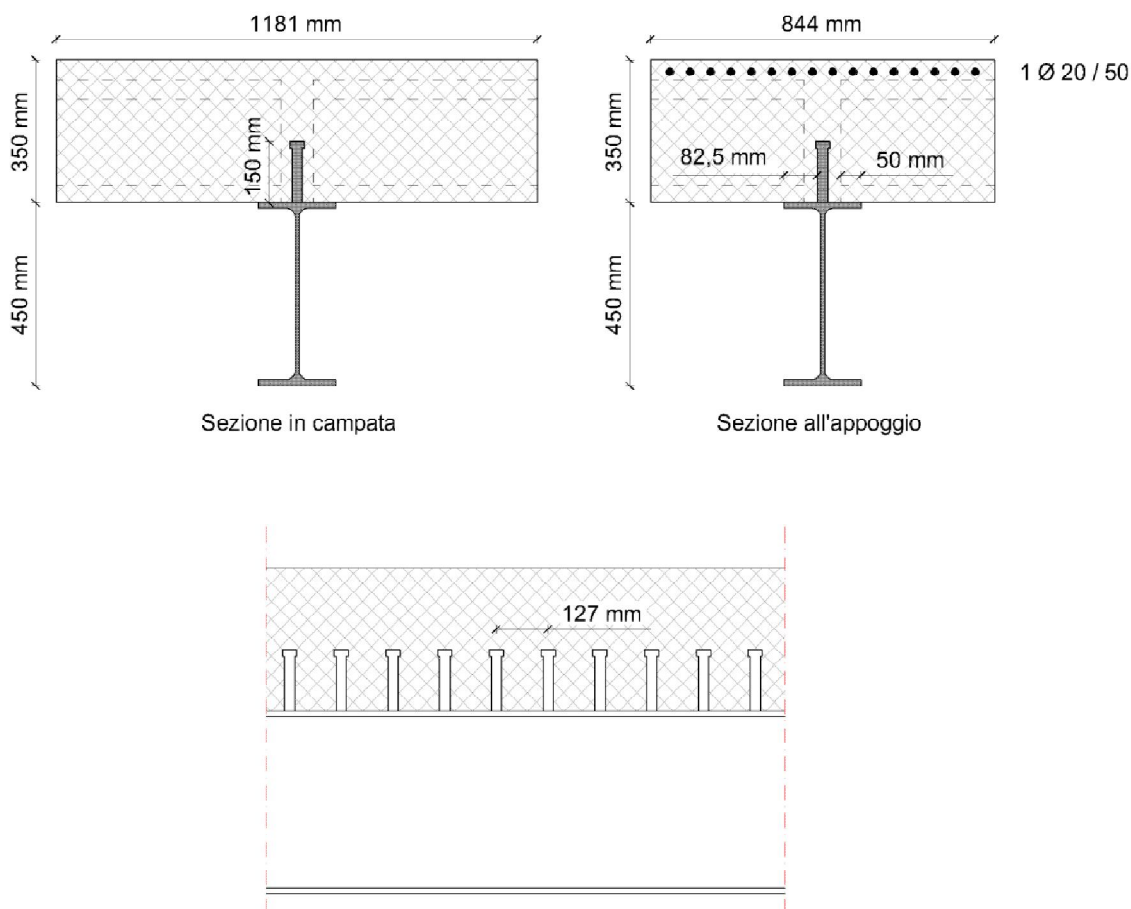


Figura 145 raffigurazione della soluzione a travi incastrate e solai continui

FASE 1

Il carico massimo sulla trave vale

$$q_{SLU} = (\gamma_G \cdot g_1 + \gamma_g \cdot q_1) L_{solaio} = (1,3 \cdot 4,83 \text{ kN/m}^2 + 1,5 \cdot 0,75 \text{ kN/m}^2) 13,5 \text{ m} = 99,9 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLE} = (g_1 + \psi_{11} \cdot q_1) L_{solaio} = (4,83 \text{ kN/m}^2 + 0,7 \cdot 0,75 \text{ kN/m}^2) 13,5 \text{ m} = 72,3 \text{ kN/m}$$

Profilo scelto: **IPE 450**

VERIFICHE SLU

Flessione

Lo schema di calcolo è quello di una trave doppiamente incastrata, per cui il massimo momento flettente agli incastri vale:

$$M_{Ed} = q \cdot L^2 / 12 = 99,9 \text{ kN/m} \cdot (6,75 \text{ m})^2 / 12 = 379,4 \text{ kN m}$$

Il profilo è in classe 1, infatti per l'anima della trave vale:

$$\xi = (235 / f_y)^{0.5} = (235 / 355)^{0.5} = 0.81$$
$$c/t = 331 / 8,6 = 38,4 < 72 \xi = 58,3$$

e per le ali vale:

$$c/t = 90/13,5 = 6,67 < 9 \xi = 7,29$$

Si riporta la verifica :

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_M = 1307 \text{ cm}^3 \cdot 355 \text{ MPa} / 1,05 = 441,9 \text{ kN m}$$
$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 142,3 / 441,9 = 0,32 < 1,0$$

Taglio

Il massimo taglio agli incastri vale:

$$V_{Ed} = q \cdot L / 2 = 99,9 \text{ kN/m} \cdot 6,75 \text{ m} / 2 = 337,2 \text{ kN}$$
$$V_{pl,Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 992,5 \text{ kN}$$

Verifica:

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 337,2/992,5 = 0,34 < 1,0$$

Instabilità flessio-torsionale

Si riporta la verifica eseguita con programma ad elementi finiti.

Beam

Total length	L	=	6,75	m
Number of elements	N	=	100	

Steel

Young modulus	E	=	210000	MPa
Poisson's coefficient	ν	=	0,3	
Shear modulus	G	=	80769	MPa

Section - In Catalogue

Selected Profile		=	IPE 450	
Weak flexural inertia	I _z	=	1675,9	cm ⁴
Torsional constant	I _t	=	67,181	cm ⁴
Warping constant	I _w	=	794246	cm ⁶
Wagner factor	β_z	=	0	mm

Lateral Restraints

Left End

Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	ν	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	ν'	=	Free	
Warping restraint	θ'	=	Free	

Right End

Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	v	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	v'	=	Free	
Warping restraint	θ'	=	Free	

No intermediate lateral restraint

Loading

Supports at Ends in the Plane of Bending Fixed at both ends

Distributed load

Value at the origin	q_1	=	-99,9	kN/m
Value at the end	q_2	=	-99,9	kN/m
Abscissa/L at the origin	xf_1	=	0	
Abscissa/L at the end	xf_2	=	1	
Position /S	z	=	0	mm

Sketch of applied forces and lateral restraint positions



Figura 146 schema forze applicate e posizione vincoli laterali

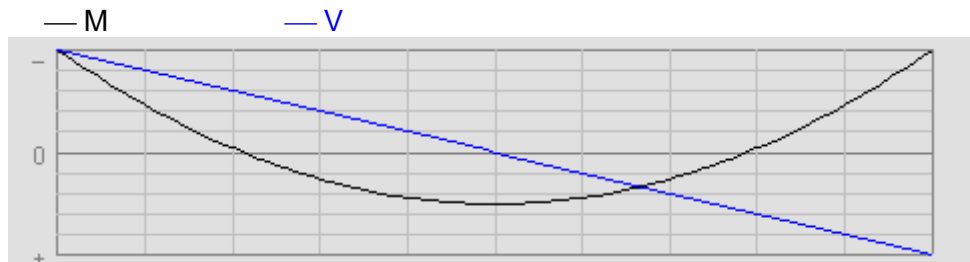


Grafico 18 diagramma momento e taglio

Maximum moment	M_{max}	=	-379,31	kN.m
Abscissa/L	xf	=	0,000	

Critical Moment

Eigenvalue solving

Dichotomic process on determinant				
Convergence tolerance	ε	=	0,0001	
Number of iterations performed	nit	=	18	
Convergence achieved				
Eigenvalue obtained	μ	=	1,8037	

Critical Moment

Critical value of maximum moment $M_{cr} = -684,17 \text{ kN.m}$
Abscissa/L $x_f = 0,000$

Eigenmode

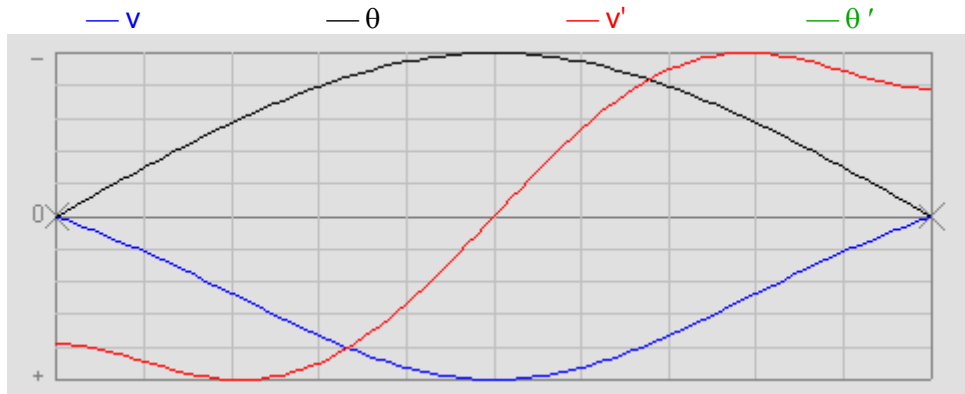


Grafico 19 schema andamento delle 3equazioni di risoluzione del software

VERIFICHE SLE

Spostamento verticale

Il massimo spostamento in mezzzeria vale:

$$f_1 = \frac{1}{384} \frac{qL^4}{EI} = \frac{1}{384} \cdot \frac{72,3 \text{ kN/m} \cdot (6,75 \text{ m})^4}{210 \text{ GPa} \cdot 33740 \text{ cm}^4} = 0,55 \text{ cm} = \frac{L}{1230} < \frac{L}{250}$$

FASE 2

VERIFICHE SLU

Si calcolano le lunghezze equivalenti per le diverse sezioni della trave continua:

$$L_{e1} = 0,85 L_1 = 0,85 \cdot 6,75 \text{ m} = 5,73 \text{ m}$$

$$L_{e2} = 0,25 (L_1 + L_2) = 0,25 \cdot (6,75 + 6,75) \text{ m} = 3,38$$

$$L_{e3} = 0,70 L_2 = 0,70 \cdot 6,75 \text{ m} = 4,72 \text{ m}$$

$$L_{e4} = 2 L_3 = 2 \cdot 1 \text{ m} = 2 \text{ m}$$

Grazie alle lunghezze equivalenti si calcolano le larghezze efficaci dell'ala di calcestruzzo:

$$b_{eff} = b_0 + \Sigma b_{ei} = 0 + 2 \cdot L_e / 8$$

$$b_{eff1} = 1434 \text{ mm}$$

$$b_{eff2} = 844 \text{ mm}$$

$$b_{eff3} = 1181 \text{ mm}$$

$$b_{eff4} = 500 \text{ mm}$$

Legenda

- 1 $L_e = 0,85 L_1$ per b_{eff1}
- 2 $L_e = 0,25(L_1 + L_2)$ per b_{eff2}
- 3 $L_e = 0,70 L_2$ per b_{eff3}
- 4 $L_e = 2 L_3$ per b_{eff4}

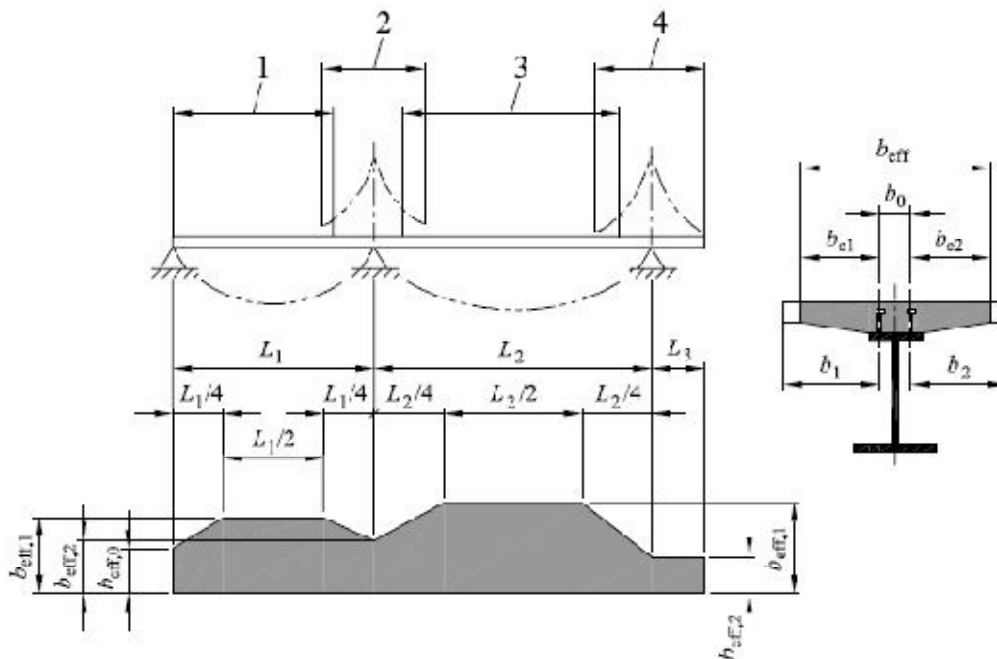


Figura 147 schema per lunghezze equivalenti, per la valutazione della larghezza efficace dell'ala di calcestruzzo

Dalla combinazione di carico caratteristica, si ricavano le massime sollecitazioni agenti sulla trave, al fine di eseguire una prima analisi non fessurata con

rigidezza EI_1 . Dalla combinazione di carico sul solaio si ricava la massima reazione all'appoggio, pari a $R = 69,7 \text{ kN} + 83,8 \text{ kN} = 153,0 \text{ kN}$

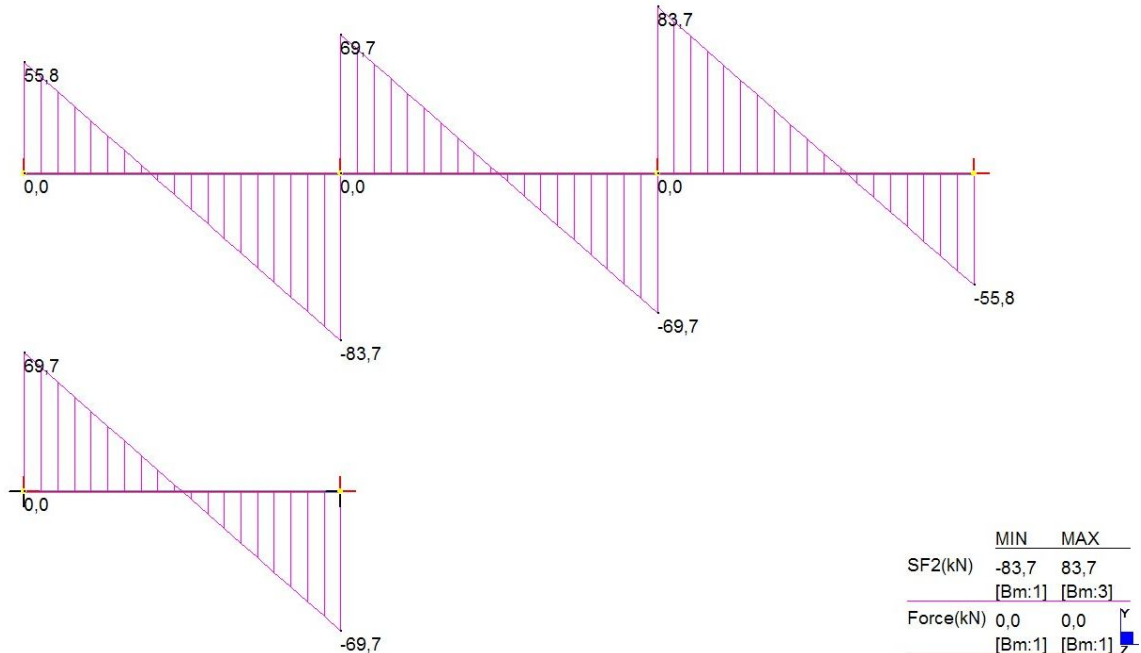


Grafico 20 diagramma di taglio

Quindi sulla trave si avrà il seguente involucro

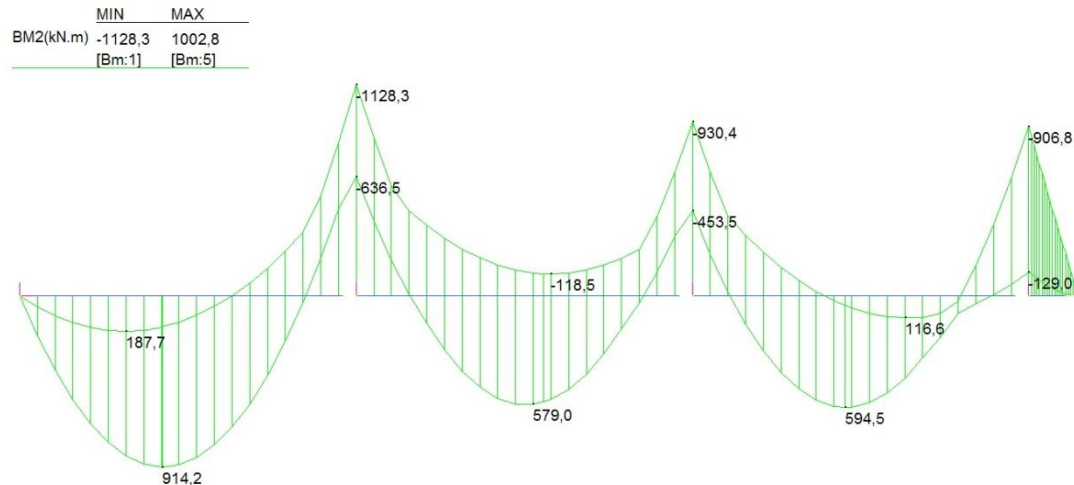


Grafico 21 diagramma d'involuppo momento

Nota il momento di prima fessurazione, pari a:

$$M_{fess} = n_{eff} \cdot f_{ctm} \cdot I / x = 13,3 \cdot 1,8 \text{ MPa} \cdot 88210 \text{ cm}^4 / 235 \text{ mm} = -89,8 \text{ kN m}$$

si impone una rigidezza flessionale fessurata EI_2 nei tratti in cui $M < 2 M_{fess} = -179,6 \text{ kN m}$

Si ottengono quindi i nuovi diagrammi:

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-1128,3	1002,8
	[Bm:1]	[Bm:5]

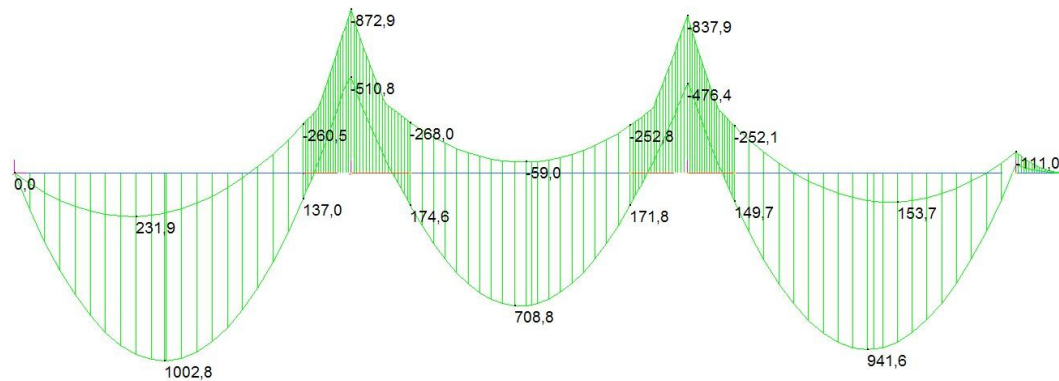


Grafico 22 diagramma d'involuppo momento

MEZZERIA - Flessione positiva

Il massimo momento agente sulla trave vale:

$$M_{Ed} = 1074,8 \text{ kN m}$$

La distanza dell'asse neutro dall'estradosso della trave vale:

$$y = 199,7 \text{ mm}$$

Nota la posizione dell'asse neutro è possibile trovare il braccio delle forze interne $z = z_a - y/2$ ed il momento plastico resistente $M_{pl,Rd}$:

$$M_{pl,Rd} = 1588 \text{ kN m}$$

Da cui la verifica:

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 1074,8 / 1588 = 0,68 < 1,0$$

APPOGGIO - Flessione negativa

Il massimo momento negativo agente sulla trave vale:

$$M_{Ed} = -628,4 \text{ kN m}$$

La distanza dell'asse neutro dall'estradosso della trave vale:

$$y = 362 \text{ mm}$$

Come visto precedentemente, il momento plastico resistente $M_{pl,Rd}$ vale:

$$M_{pl,Rd} = -1326 (1 - \rho) = 689,5 \text{ kN m}$$

Da cui la verifica:

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 628,4 / 689,5 = 0,92 < 1,0$$

Armatura minima (per aree tese)

L'armatura minima per ali in CA soggette a trazione vale:

$$A_s = \rho_s \cdot A_c$$

Con ρ_s pari a:

$$\rho_s = \delta \frac{f_y f_{ctm}}{235 f_{sk}} \sqrt{k_c} = 0,006$$

Con $\delta = 1,1$ per sezioni di classe 1, $k_c = \frac{1}{1+h_c/2z_0} + 0,3 = 0,7 \leq 1,0$.

L'armatura minima vale dunque:

$$\rho_s = 2954 \text{ cm}^2 \cdot 0,006 = 17,7 \text{ cm}^2 < 50,3 \text{ cm}^2$$

Taglio

Il massimo taglio sull'appoggio vale:

$$V_{Ed} = 842,0 \text{ kN}$$

Il taglio resistente viene affidato interamente al profilo di acciaio, quindi si avrà,
 $V_{pl,Rd} = 992,5 \text{ kN}$, da cui:

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 842,0 / 992,5 = 0,85 < 1,0$$
$$\rho = (2V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2 = (2 \cdot 842,0 / 992,5 - 1)^2 = 0,48$$

Connessione a taglio

Pioli scelti: **d = 25 mm** ; **H = 150 mm**

Il taglio longitudinale determinato dal momento plastico finale vale:

$$V_L = 3341 \text{ kN}$$

Nel caso in esame si ha:

$$\alpha = 1$$

$$P_{Rd1} = 141,4 \text{ kN}$$

$$P_{Rd2} = 128,6 \text{ kN}$$

$$V_L = 3341 \text{ kN}$$

$$n = 2 V_L / P_{Rd} = 52$$

$$i = L / (n + 1) = 127 \text{ mm} > 125 \text{ mm}$$

Sono rispettati I limiti di spaziatura dei connettori, infatti:

$$i < \min (800 \text{ mm}; 6 \cdot h_{soletta} = 2100 \text{ mm})$$

$$i > 2,5 d = 62,5 \text{ mm}$$

Taglio longitudinale nella soletta di calcestruzzo

La tensione longitudinale di taglio di progetto per unità di lunghezza v_{Ed} vale:

$$v_{Ed} = P_{Rd} / (h_f \cdot i) = 141,4 \text{ MPa}$$

Per l'armatura tesa si impone

$$(A_{sf} \cdot f_{yd} / s_f) > v_{Ed} \cdot h_f / \cot \theta_f$$

quindi, minimizzando $\cot \theta_f$ ($\theta_f = 45^\circ$), si ottiene:

$$A_{sf} / s_f = 28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Per la biella compressa di calcestruzzo si impone:

$$v_{Ed} < v \cdot f_{cd} \sin \theta_f \cdot \cos \theta_f$$

con $v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck}/250)$. Quindi, massimizzando $\sin \theta_f \cos \theta_f$ ($\theta_f = 26,5^\circ$) si ottiene:

$$v_{Ed} = 3,59 \text{ MPa} < 3,59 \text{ MPa} = v \cdot f_{cd} \sin \theta_f \cdot \cos \theta_f$$

Armatura scelta: **10 $\Phi 20$ ($A_s = 28 \text{ cm}^2/\text{m}$)**

VERIFICHE SLE

Spostamenti verticali

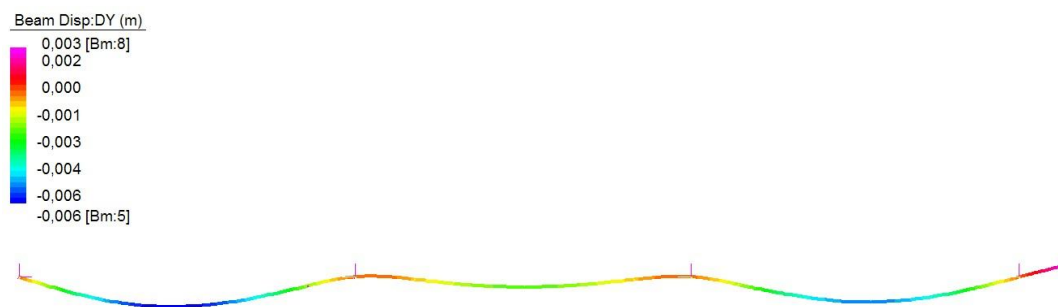


Figura 148 rappresentazione della deformata

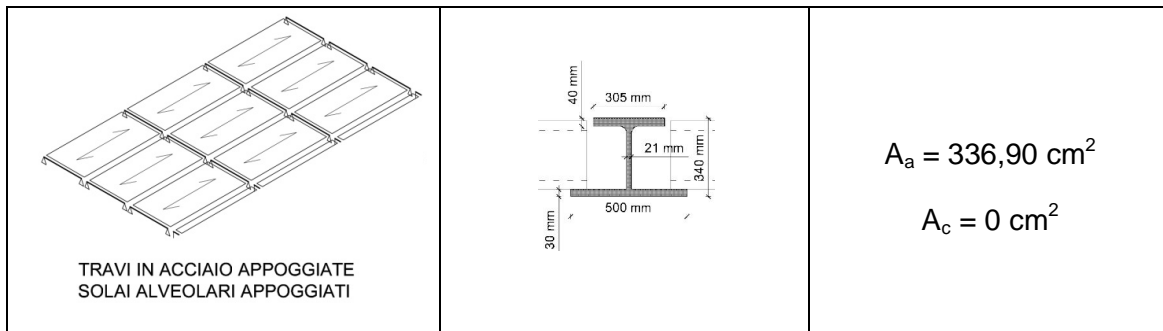
Lo spostamento limite accettabile è $L/250 = 675/250 = 2,6 \text{ cm}$, mentre la massima freccia ottenuta è pari a $0,6 \text{ cm}$.

Sommando la freccia generata dalle sollecitazioni sulla sola trave in acciaio si ottiene comunque una freccia di $1,1 \text{ cm}$, a dimostrazione della notevole rigidità flessionale della trave composta.

3.6.2.5 Confronto degli schemi statici analizzati

Per terminare lo studio della miglior struttura adottabile per gli impalcati dell'edificio, si riporta il confronto fra i vari schemi statici analizzati, analizzandone pregi e difetti e mettendo a confronto le quantità di materiale adottato.

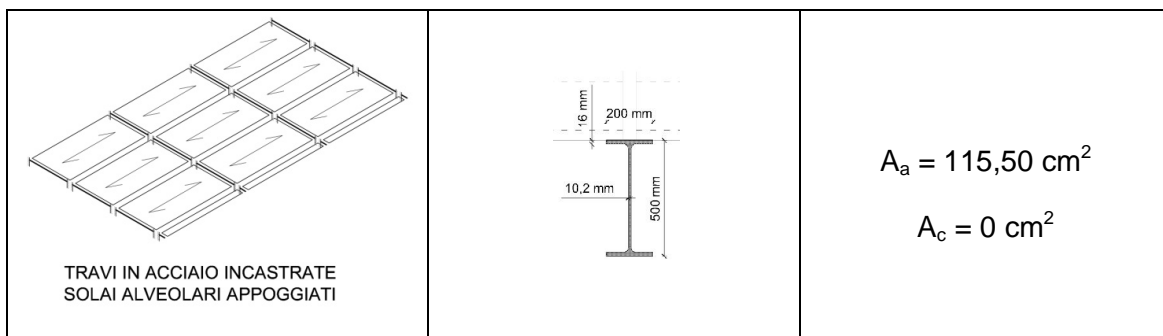
Figura 149 soluzione 1



Vantaggi: rapidità di messa in opera (nessun puntello)

Svantaggi: nessun effetto diaframma
rigidezza flessionale limitata

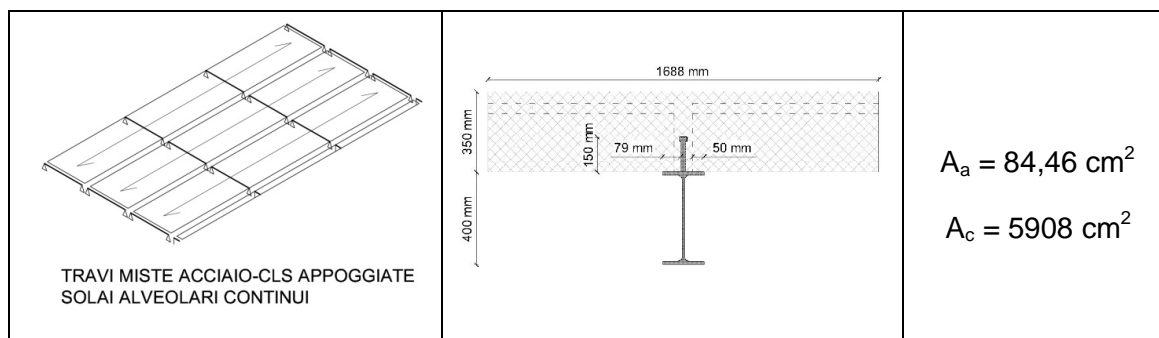
Figura 150 soluzione 2



Vantaggi: rapidità di messa in opera (nessun puntello)

Svantaggi: nessun effetto diaframma
rigidezza flessionale limitata

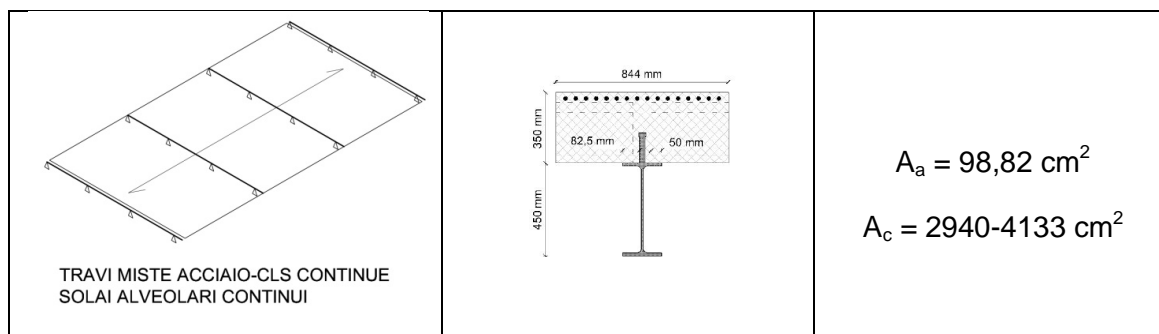
Figura 151 soluzione 3



- Vantaggi:**
- rapidità di messa in opera (1 solo puntello)
 - effetto diaframma
 - rigidezza flessionale elevata
 - ottimo sfruttamento dei materiali lungo tutta la sezione

Svantaggi: il taglio può essere vincolante

Figura 152 soluzione 4



- Vantaggi:**
- rapidità di messa in opera (nessun puntello)
 - effetto diaframma
 - rigidezza flessionale elevata (in campata)
 - ottimo sfruttamento dei materiali in campata

Svantaggi: il taglio può essere vincolante
scarso sfruttamento dei materiali sugli appoggi

Si evince quindi che la soluzione con solai continui e travi miste acciaio – cls meglio si adatta al progetto in esame. Essa raggiunge infatti un efficace compromesso fra minor riduzione di materiali (acciaio che lavora a trazione e cls a compressione) e rapidità di messa in opera (necessità di un solo puntello per controllare l'instabilità flessotorsionale).

3.6.3 Copertura

La copertura è caratterizzata da una struttura leggera in acciaio controventata dai nuclei di controvento in cemento armato.

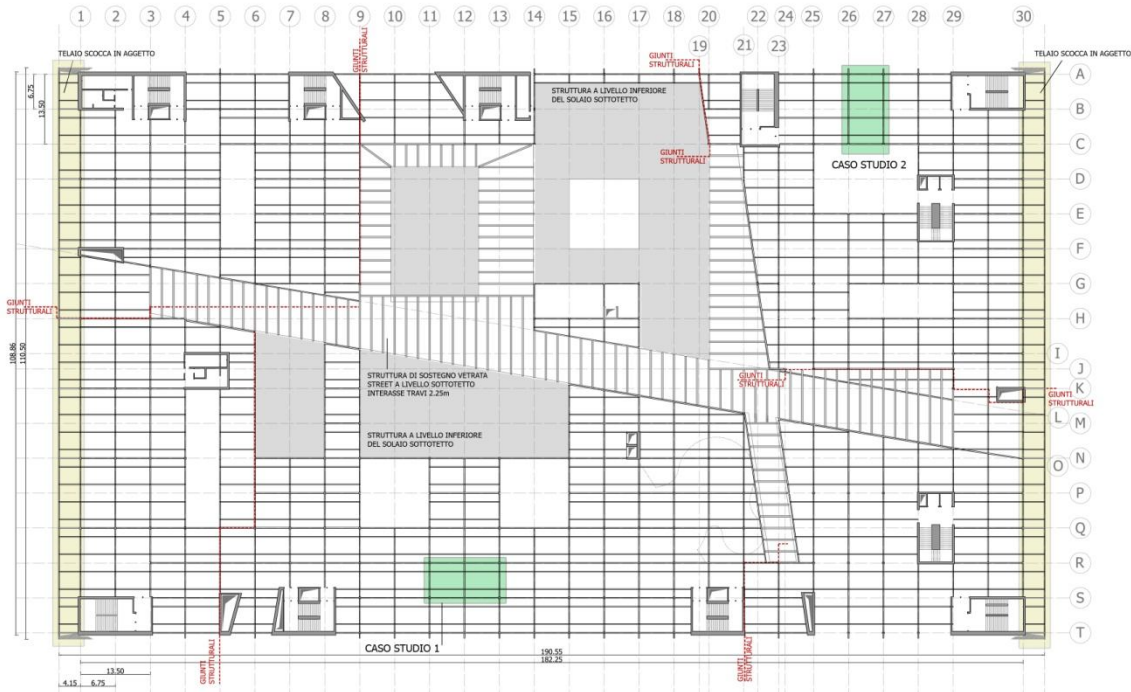


Figura 153 pianta strutturale copertura

Anche la struttura di copertura è modulare: in particolare sono stati ricavati due moduli che si adattano alla disposizione dei pilastri. Successivamente vengono riportati i casi individuati; rispettivamente caso 1 e caso 2.

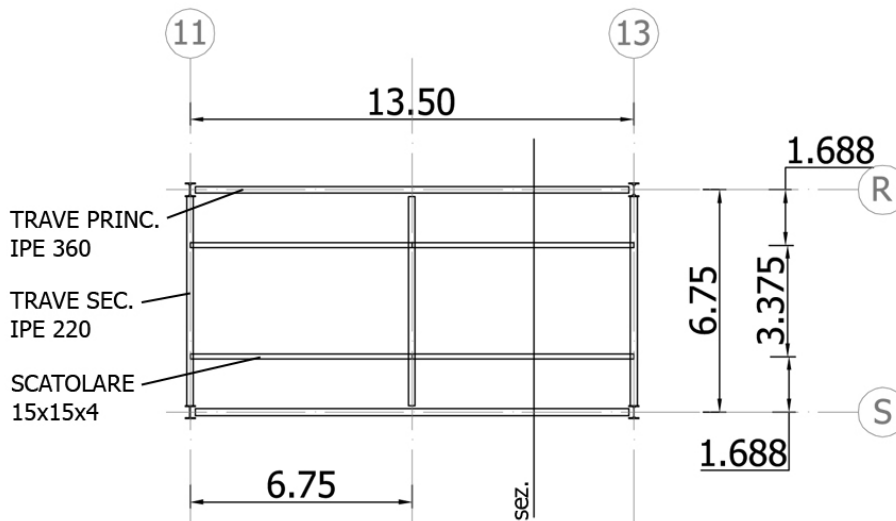


Figura 154 schema strutturale caso 1 copertura

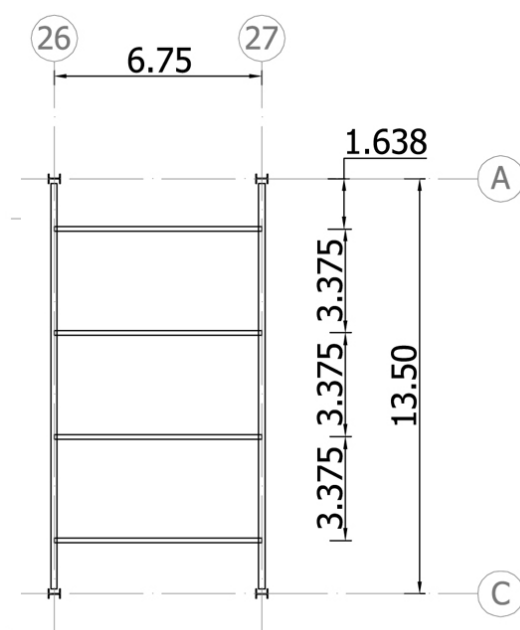


Figura 155 schema strutturale caso 1 copertura

Il modulo studiato, ovvero quello del caso 1, è costituito da arcarecci a sezione scatolare che si appoggiano su travi secondarie ad I a loro volte sorrette da travi principali ad I.

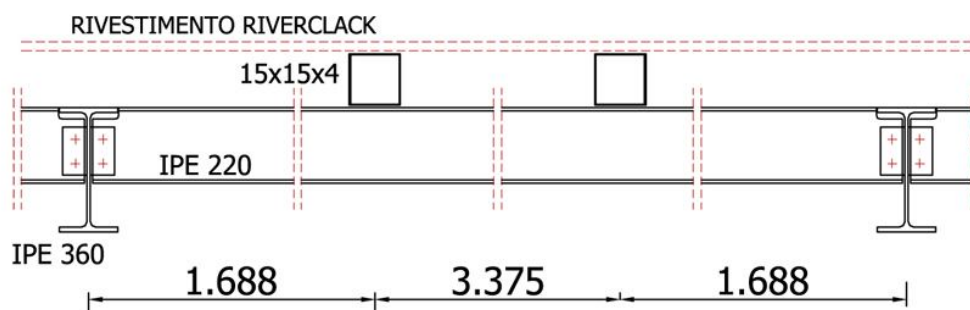


Figura 156 rappresentazione dello schema 1 della copertura

Il peso della copertura in alluminio risulta trascurabile; carichi agenti sulla copertura sono quindi quelli derivati dal peso della neve ($0,7 \text{ kN/m}^2$) e dalla spinta del vento. In particolare il vento può esercitare, a seconda della zona di copertura analizzata, una spinta di sollevamento o di schiacciamento. La spinta massima di schiacciamento vale:

$$w_{e1} = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 710 \text{ N/m}^2 \cdot 0,2 = 0,15 \text{ kN/m}^2$$

La spinta massima di sollevamento vale:

$$w_{e2} = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 710 \text{ N/m}^2 \cdot 0,8 = 0,57 \text{ kN/m}^2$$

Allo SLU la peggior combinazione di carico è quella per spinte di schiacciamento con la neve come carico accidentale principale, ovvero (trascurando il peso della copertura di alluminio):

$$\gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_{k2} = 1,5 \cdot 0,7 \text{ kN/m}^2 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,15 \text{ kN/m}^2 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

Allo SLE la combinazione di carico frequente dà:

$$\psi_{11} Q_{k1} = 0,2 \cdot 0,7 \text{ kN/m}^2 = 0,14 \text{ kN/m}^2$$

3.6.3.1 Arcarecci

L'area di influenza di ciascuna arcareccio è larga 3,375 m, per cui ognuno di essi porta un carico distribuito pari a:

$$q = 3,375 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ kN/m}^2 = 4,5 \text{ kN/m}$$

Profilo scelto: **SCATOLARE A SEZIONE QUADRATA 150 x 4 mm**

VERIFICHE SLU

Flessione

Si riporta la verifica:

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= q \cdot L^2 / 8 = 4,5 \text{ kN/m} \cdot (6,75 \text{ m})^2 / 8 = 25,7 \text{ kN m} \\ M_{c,Rd} &= W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_M = 125 \text{ cm}^3 \cdot 235 \text{ MPa} / 1,05 = 27,9 \text{ kN m} \\ M_{Ed} / M_{c,Rd} &= 25,7 / 27,9 = 0,92 < 1,0 \end{aligned}$$

Taglio

Si riporta la verifica:

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= q \cdot L / 2 = 4,5 \text{ kN/m} \cdot 6,75 \text{ m} / 2 = 15,2 \text{ kN} \\ V_{pl,Rd} &= A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = A \cdot h / (b+h) \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 147,9 \text{ kN} \\ V_{Ed} / V_{pl,Rd} &= 15,2 / 147,9 = 0,11 < 1,0 \end{aligned}$$

Instabilità flesso-torsionale

Non si ritiene necessaria tale verifica visto il profilo scelto e i carichi in gioco.

VERIFICHE SLE

Inflessione

Il massimo spostamento in mezzzeria vale:

$$f_1 = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,14 \text{ kN/m} \cdot (6,75 \text{ m})^4}{210 \text{ GPa} \cdot 807 \text{ cm}^4} = 0,23 \text{ cm} = \frac{L}{2934} < \frac{L}{200}$$

3.6.3.2 Trave secondaria

Profilo scelto: **IPE 220**

VERIFICHE SLU

La reazione trasmessa dagli arcarecci alla trave vale:

$$P = q \cdot L = 4,5 \text{ kN/m} \cdot 6,75 \text{ m} = 30,4 \text{ kN}$$

Flessione

Si riporta la verifica:

$$M_{Ed} = P \cdot L / 4 = 30,4 \text{ kN/m} \cdot 6,75 \text{ m} / 4 = 51,3 \text{ kN m}$$

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_M = 285,4 \text{ cm}^3 \cdot 235 \text{ MPa} / 1,05 = 63,9 \text{ kN m}$$

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 51,3 / 63,9 = 0,96 < 1,0$$

Taglio

Si riporta la verifica:

$$V_{Ed} = P = 11,25 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 205,2 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 11,25 / 205,2 = 0,81 < 1,0$$

Instabilità flessio-torsionale

Si riporta la verifica eseguita con programma ad elementi finiti.

Beam

Total length	L	=	6,75	m
Number of elements	N	=	100	

Steel

Young modulus	E	=	210000	MPa
Poisson's coefficient	v	=	0,3	
Shear modulus	G	=	80769	MPa

Section - In Catalogue

Selected Profile	=	IPE 220	
Weak flexural inertia	I _z	=	204,89 cm ⁴
Torsional constant	I _t	=	9,1071 cm ⁴
Warping constant	I _w	=	22761 cm ⁶
Wagner factor	β _z	=	0 mm

Lateral Restraints

Left End

Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	v	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	v'	=	Free	
Warping restraint	θ'	=	Free	

Right End

Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	v	=	Fixed	

Torsional restraint	θ	=	Fixed
Flexural restraint	v'	=	Free
Warping restraint	θ'	=	Free

Local 1

Abscissa/L	x_f	=	0,25	
Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	v	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Free	

Local 2

Abscissa/L	x_f	=	0,75	
Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	v	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Free	

Loading

Supports at Ends in the Plane of Bending Hinged at both ends

Point load

Value	F	=	-30,4	kN
Abscissa/L	x_f	=	0,25	
Position /S	z	=	0	mm

Point load

Value	F	=	-30,4	kN
Abscissa/L	x_f	=	0,75	
Position /S	z	=	0	mm



Figura 157 schema forze applicate e posizione vincoli laterali

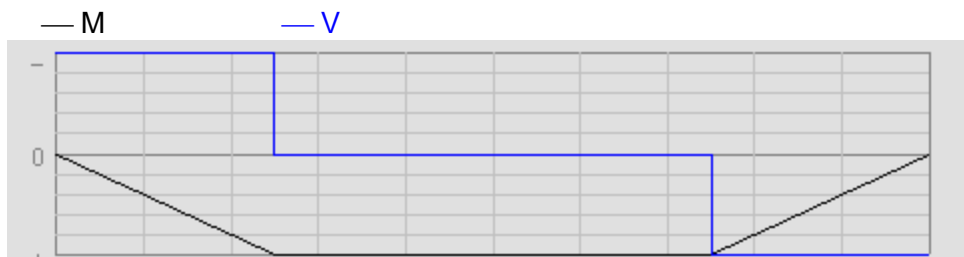


Grafico 23 diagramma momento e taglio

Maximum moment	M_{max}	=	51,3	kN.m
Abscissa/L	x_f	=	0,250	

Critical Moment

Eigenvalue solving

Dichotomic process on determinant

Convergence tolerance $\varepsilon = 0,0001$

Number of iterations performed nit = 18

Convergence achieved

Eigenvalue obtained $\mu = 1,9656$

Critical Moment

Critical value of maximum moment $M_{cr} = 100,84 \text{ kN.m}$

Abscissa/L $x_f = 0,250$

Eigenmode



Grafico 24 schema andamento delle 3equazioni di risoluzione del software

VERIFICHE SLE

La reazione trasmessa dagli arcarecci alla trave vale:

$$P = q \cdot L = 0,14 \text{ kN/m} \cdot 6,75 \text{ m} = 0,95 \text{ kN}$$

Inflessione

Il massimo spostamento in mezzeria vale:

$$f_1 = \frac{11}{384} \frac{PL^3}{EI} = \frac{11}{384} \cdot \frac{0,95 \text{ kN/m} \cdot (6,75 \text{ m})^3}{210 \text{ GPa} \cdot 541 \text{ cm}^4} = 0,8 \text{ cm} = \frac{L}{844} < \frac{L}{200}$$

3.6.3.3 Trave principale

Profilo scelto: IPE 360

VERIFICHE SLU

La reazione trasmessa dalle travi secondarie alla principale vale:

$$R = 2P = 60,8 \text{ kN}$$

Flessione

Si riporta la verifica:

$$M_{Ed} = P \cdot L / 4 = 60,8 \text{ kN/m} \cdot 13,5 \text{ m} / 4 = 205,2 \text{ kN m}$$

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_M = 344,5 \text{ kN m}$$

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 205,2 / 344,5 = 0,59 < 1,0$$

Taglio

Si riporta la verifica:

$$V_{Ed} = R/2 = 30,4 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 685,9 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 30,4 / 685,9 = 0,05 < 1,0$$

Instabilità flessio-torsionale

Si riporta la verifica eseguita con programma ad elementi finiti.

Beam

Total length	L	=	13,5	m
Number of elements	N	=	100	

Steel

Young modulus	E	=	210000	MPa
Poisson's coefficient	ν	=	0,3	
Shear modulus	G	=	80769	MPa

Section - In Catalogue

Selected Profile		=	IPE 360	
Weak flexural inertia	I _z	=	1043,5	cm ⁴
Torsional constant	I _t	=	37,486	cm ⁴
Warping constant	I _w	=	314646	cm ⁶
Wagner factor	β_z	=	0	mm

Lateral Restraints

Left End

Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	ν	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	ν'	=	Free	
Warping restraint	θ'	=	Free	

Right End

Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	ν	=	Fixed	

Torsional restraint	θ	=	Fixed
Flexural restraint	v'	=	Free
Warping restraint	θ'	=	Free

Local 1

Abscissa/L	x_f	=	0,5	
Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	v	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	

Loading

Supports at Ends in the Plane of Bending Hinged at both ends

Point load

Value	F	=	-60,8	kN
Abscissa/L	x_f	=	0,5	
Position /S	z	=	0	mm



Figura 158 schema forze applicate e posizione vincoli laterali

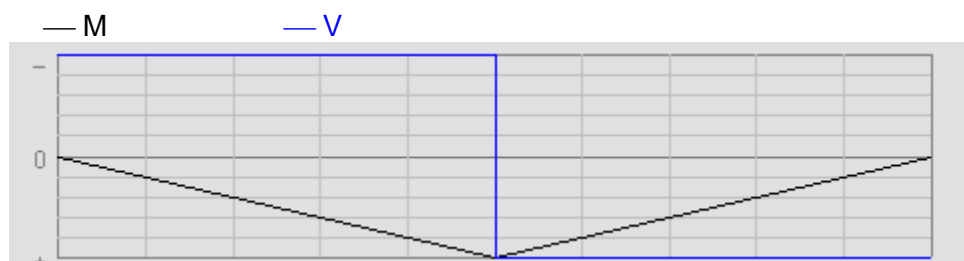


Grafico 25 diagramma momento e taglio

Maximum moment	M_{max}	=	205,2	kN.m
Abscissa/L	x_f	=	0,500	

Critical Moment

Eigenvalue solving

Dichotomic process on determinant

Convergence tolerance	ε	=	0,0001
Number of iterations performed	nit	=	19
Convergence achieved			
Eigenvalue obtained	μ	=	1,2965

Critical Moment

Critical value of maximum moment	M_{cr}	=	266,05	kN.m
Abscissa/L	x_f	=	0,500	

Eigenmode

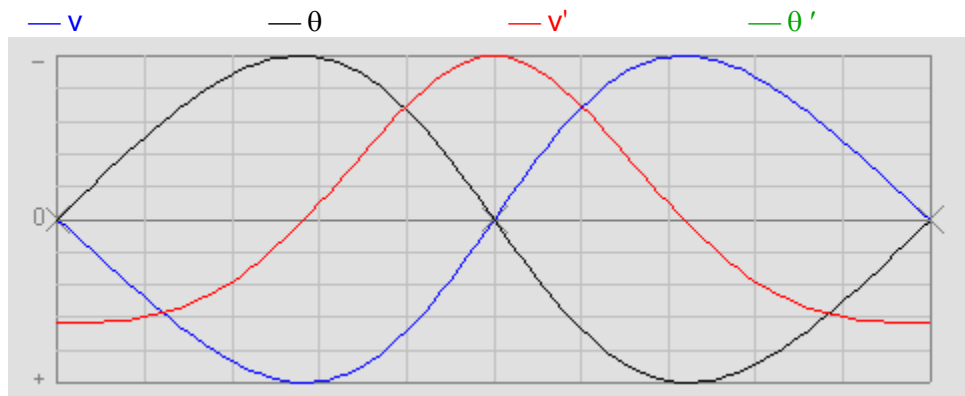


Grafico 26 schema andamento delle 3equazioni di risoluzione del software

VERIFICHE SLE

La reazione trasmessa dalle travi secondarie alla principale vale:

$$R = 2P = 1,9 \text{ kN}$$

Inflessione

Il massimo spostamento in mezzera vale:

$$f_1 = \frac{1}{48} \frac{PL^3}{EI} = \frac{1}{48} \cdot \frac{1,9 \text{ kN/m} \cdot (13,5 \text{ m})^3}{210 \text{ GPa} \cdot 16270 \text{ cm}^4} = 0,3 \text{ cm} = \frac{L}{4500} < \frac{L}{200}$$

3.6.4 Pilastri

E' stato verificato il pilastro maggiormente sollecitato.



Figura 159 schema risolti

Il pilastro riceve dalla travi dei vari impalcati i seguenti carichi (trascurando il peso proprio del pilastro):

$$N_{Ed \text{ copertura}} = 60,4 \text{ kN}$$

$$N_{Ed \text{ sottotetto}} = 811 \text{ kN}$$

$$N_{Ed \text{ P II}} = 1498 \text{ kN}$$

$$N_{Ed \text{ P I}} = 1498 \text{ kN}$$

$$N_{Ed \text{ PT}} = 1498 \text{ kN}$$

Poiché l'azione assiale resistente vale $N_{c,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$, si è proceduto alla determinazione dell'area minima.

Pilastro copertura

$$N_{Ed \text{ copertura}} = 60,4 \text{ kN}$$

$$A = \gamma_{M0} \cdot N_{c,Rd} / f_y = 1,8 \text{ cm}^2$$

Pilastro 2P

$$N_{Ed \text{ copertura}} = 60,4 \text{ kN} + 811 \text{ kN} = 871,4 \text{ kN}$$

$$A = \gamma_{M0} \cdot N_{c,Rd} / f_y = 25,8 \text{ cm}^2$$

Pilastro 1P

$$N_{Ed \text{ copertura}} = 60,4 \text{ kN} + 811 \text{ kN} + 1498 \text{ kN} = 2369,4 \text{ kN}$$

$$A = \gamma_{M0} \cdot N_{c,Rd} / f_y = 70,1 \text{ cm}^2$$

Pilastro PT

$$N_{Ed \text{ copertura}} = 60,4 \text{ kN} + 811 \text{ kN} + 1498 \text{ kN} + 1498 \text{ kN} = 3867,4 \text{ kN}$$

$$A = \gamma_{M0} \cdot N_{c,Rd} / f_y = 114,4 \text{ cm}^2$$

Pilastro interrato

$$N_{Ed \text{ copertura}} = 60,4 \text{ kN} + 811 \text{ kN} + 1498 \text{ kN} + 1498 \text{ kN} + 1498 \text{ kN} = 5365,5 \text{ kN}$$

$$A = \gamma_{M0} \cdot N_{c,Rd} / f_y = 158,7 \text{ cm}^2$$

Verifica d'instabilità

Si è verificato che:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} < 1,0 \quad \text{con:} \quad N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad ; \quad \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad ; \quad \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

con

α coefficiente di imperfezione
 N_{cr} carico critico euleriano

Pilastro copertura

$$N_{Ed \text{ copertura}} = 60,4 \text{ kN}$$

$$A = \gamma_{M0} \cdot N_{c,Rd} / f_y = 1,8 \text{ cm}^2$$

Profilo scelto: **HE 200 B** ($A = 78,1 \text{ cm}^2$)

$$L_0 = 3 \text{ m}$$

$$N_{b,Rd} = 1037 \text{ kN}$$

Pilastro 2P

$$N_{Ed \text{ copertura}} = 60,4 \text{ kN} + 811 \text{ kN} = 871,4 \text{ kN}$$

$$A = \gamma_{M0} \cdot N_{c,Rd} / f_y = 25,8 \text{ cm}^2$$

Profilo scelto: **HE 200 B** ($A = 78,1 \text{ cm}^2$)

$$L_0 = 5 \text{ m}$$

$$N_{b,Rd} = 1037 \text{ kN}$$

Pilastro 1P

$$N_{Ed \text{ copertura}} = 60,4 \text{ kN} + 811 \text{ kN} + 1498 \text{ kN} = 2369,4 \text{ kN}$$

$$A = \gamma_{M0} \cdot N_{c,Rd} / f_y = 70,1 \text{ cm}^2$$

Profilo scelto: **HE 280 B** ($A = 131,4 \text{ cm}^2$)

$$L_0 = 5 \text{ m}$$

$$N_{b,Rd} = 2602 \text{ kN}$$

Pilastro PT

$$N_{Ed \text{ copertura}} = 60,4 \text{ kN} + 811 \text{ kN} + 1498 \text{ kN} + 1498 \text{ kN} = 3867,4 \text{ kN}$$

$$A = \gamma_{M0} \cdot N_{c,Rd} / f_y = 114,4 \text{ cm}^2$$

Profilo scelto: **HE 450 B** ($A = 218 \text{ cm}^2$)

$$L_0 = 6 \text{ m}$$

$$N_{b,Rd} = 4907 \text{ kN}$$

Pilastro interrato

$$N_{Ed \text{ copertura}} = 60,4 \text{ kN} + 811 \text{ kN} + 1498 \text{ kN} + 1498 \text{ kN} + 1498 \text{ kN} = 5365,5 \text{ kN}$$

$$A = \gamma_{M0} \cdot N_{c,Rd} / f_y = 158,7 \text{ cm}^2$$

Profilo scelto: **HE 450 B** ($A = 218 \text{ cm}^2$)

$$L_0 = 3 \text{ m}$$

$$N_{b,Rd} = 4907 \text{ kN}$$

3.6.5 Connessione trave-pilastro

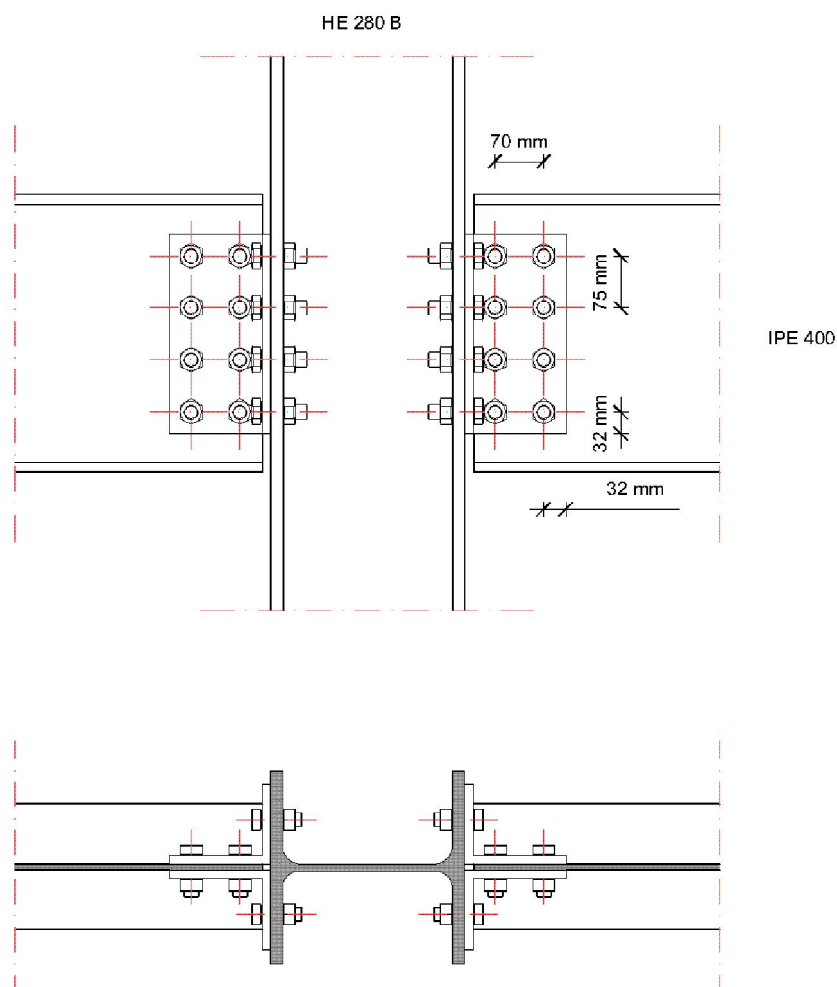


Figura 160 rappresentazione del nodo imbullonato (cerniera) di connessione trave pilastro per la soluzione travi miste incernierate e solaio continuo

Il taglio massimo da trasferire fra trave e pilastro vale:

$$V = 844 \text{ kN}$$

Si è scelto di trasferire il taglio tramite fazzoletti d'acciaio imbullonati.

L'eccentricità fra superficie di contatto fra ala del pilastro e fazzoletto di collegamento e il baricentro dei bulloni vale:

$$e = 79 \text{ mm}$$

Il momento agente sui bulloni varrà quindi:

$$M \cdot e = 33338 \text{ kNm}$$

I bulloni sono otto M20 classe 8,8, quindi si avranno 16 superfici di taglio.

Il taglio unitario per ogni bullone vale

$$v = 844 \text{ kN} / 16 = 52,75 \text{ kN}$$

Data la geometria dei bulloni, il momento polare vale:

$$I_p = \Sigma r^2 = 66050 \text{ mm}^2$$

grazie al quale si possono calcolare le forze in cui si scompone il momento di trasferimento della forza di taglio:

$$S_i = M \cdot r_i / I_p$$

fila 1

x [mm]	y [mm]	r [mm]	S [kN]
-35	112,5	117,8	59,5
-35	37,5	51,3	25,9
-35	-37,5	51,3	25,9
-35	-112,5	117,8	59,5

fila 2

x [mm]	y [mm]	r [mm]	S [kN]
35	112,5	117,8	59,5
35	37,5	51,3	25,9
35	-37,5	51,3	25,9
35	-112,5	117,8	59,5

Dalla somma vettoriale delle forze agenti su ogni bullone si ottiene:

fila 1

x [mm]	y [mm]	F [kN]
-35	112,5	66,7
-35	37,5	39,9
-35	-37,5	39,9
-35	-112,5	66,7

fila 2

x [mm]	y [mm]	F [kN]
35	112,5	90,5
35	37,5	72,9
35	-37,5	72,9
35	-112,5	90,5

Taglio - bullone

Il bullone più sollecitato è quindi soggetto ad una forza di taglio pari a :

$$V_{Ed} = 90,5 \text{ kN}$$

Il taglio resistente per ogni bullone vale

$$F_{y,Rd} = 94,1 \text{ kN}$$

Verifica:

$$V_{Ed} / F_{y,Rd} = 90,8 / 94,1 = 0,96 < 1,0$$

Rifollamento fazzoletto metallico

Il fazzoletto metallico ha uno spessore di 10 mm. Le caratteristiche geometriche dei fori sono:

$$d_0 = 21 \text{ mm}$$

$$e_1 = 32 \text{ mm}$$

$$e_2 = 32 \text{ mm}$$

$$\rho_1 = 75 \text{ mm}$$

$$\rho_2 = 70 \text{ mm}$$

Ne deriva una resistenza a rifollamento $F_{b,Rd} = 103,6 \text{ kN}$. La verifica è dunque:

$$F_{max} / F_{b,Rd} = 94,1 / 103,6 = 0,91 < 1,0$$

Rifollamento anima trave

L'anima della trave ha uno spessore di 8,6 mm. Le caratteristiche geometriche dei fori sono:

$$d_0 = 21 \text{ mm}$$

$$e_1 = 87,5 \text{ mm}$$

$$e_2 = 32 \text{ mm}$$

$$\rho_1 = 75 \text{ mm}$$

$$\rho_2 = 70 \text{ mm}$$

Ne deriva una resistenza a rifollamento $F_{b,Rd} = 165,0 \text{ kN}$. La verifica è dunque:

$$2 \cdot F_{max} / F_{b,Rd} = 2 \cdot 66,7 / 165,0 = 0,81 < 1,0$$

3.6.6 Sottostruttura della facciata

I profili scelti per realizzare la struttura dei tamponamenti e dei serramenti sono tubolari in acciaio a sezione rettangolare. Per facilità di trasporto e di movimentazione si è preferito l'utilizzo di 2 elementi singoli (di lunghezza 5m e 6m) anziché di un elemento singolo da 11 m.

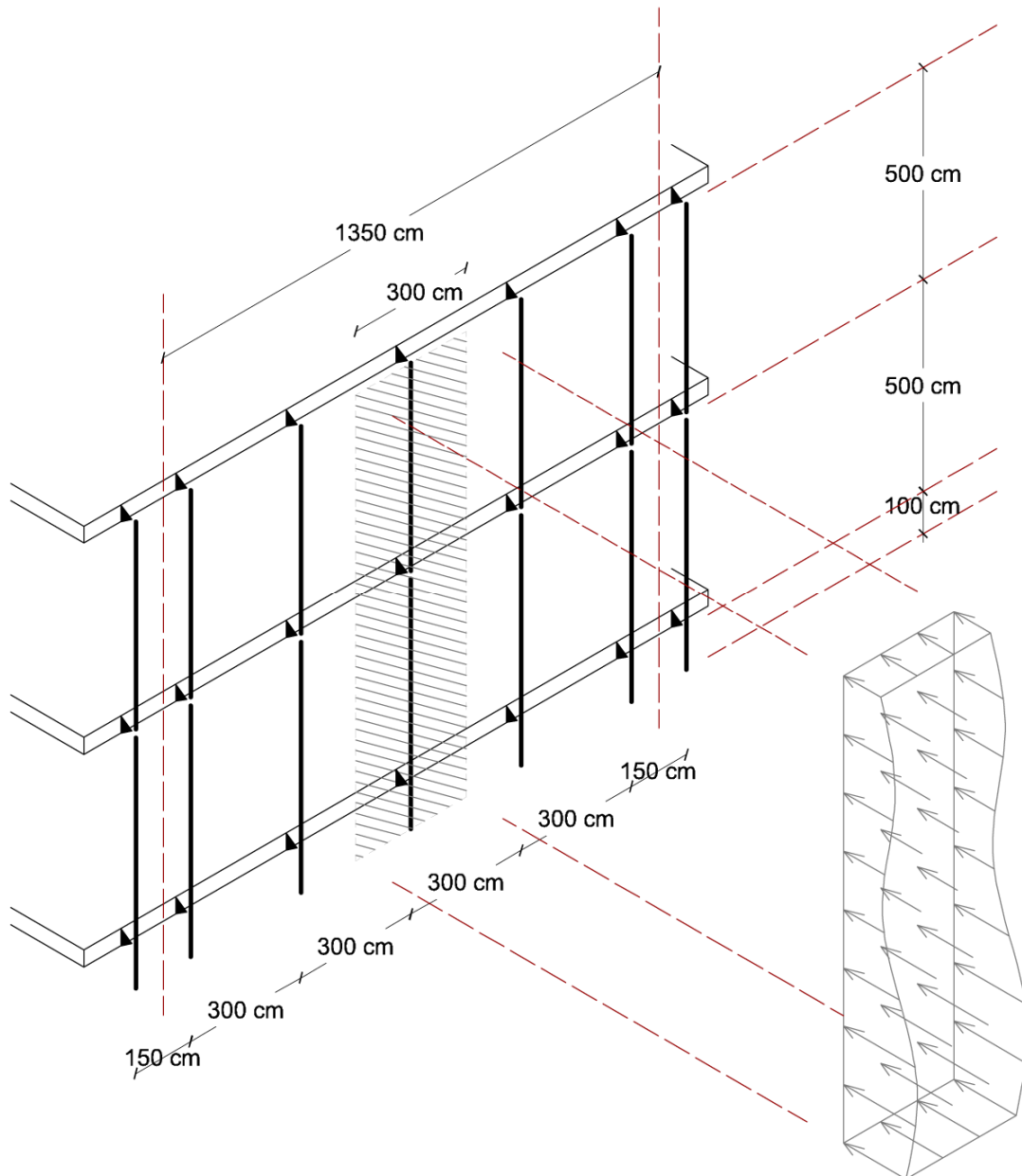


Figura 161 schematizzazione struttura di facciata

I profili sono stati dimensionati sulla base della spinta esercitata dal vento.

3.6.6.1 Profilo superiore

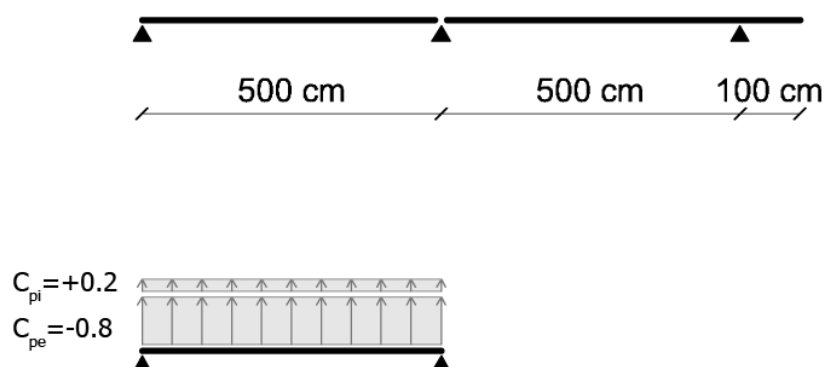


Figura 162 schema statico del profilo superiore

La massima spinta del vento si ha per un coefficiente di esposizione $c_{pb} = +0,7$ esternamente (si esclude il caso con $c_{pa} = -1,2$ poiché in tale zona la struttura è in c.a.) ed un coefficiente di esposizione $c_{pi} = -0,3$.

Si ha:

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum w_e \cdot A_{ref} = c_s c_d \cdot \sum q_p(z_e) \cdot c_{pe} \cdot A_{ref}$$

$$F_{w,e} = 0,85 \cdot 710 \text{ N/m}^2 \cdot 0,7 \cdot 3 \text{ m} = 1,27 \text{ kN/m}$$

$$F_{w,i} = \sum w_i \cdot A_{ref} = \sum q_p(z_i) \cdot c_{pi} \cdot A_{ref}$$

$$F_{w,i} = 710 \text{ N/m}^2 \cdot 0,3 \cdot 3 \text{ m} = 0,64 \text{ kN/m}$$

per un carico distribuito agente totale F_w pari a :

$$F_w = 1,27 \text{ kN/m} + 0,64 \text{ kN/m} = 1,91 \text{ kN/m}$$

L'inerzia minima necessaria per il profilo si ottiene imponendo uno spostamento laterale pari a 1/200 della luce.

$$I_1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{qL^4}{E} \cdot \frac{200}{L} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,88 \text{ kN/m} \cdot (5 \text{ m})^4}{210 \text{ GPa}} \cdot \frac{200}{5 \text{ m}} = 292 \text{ cm}^4$$

Profilo scelto: **profilo cavo rettangolare 140 x 80 x 4**

VERIFICHE SLU

Flessione

Il massimo momento flettente in mezzzeria vale:

$$M_{Ed} = \gamma_Q \cdot q \cdot L^2 / 8 = 1,5 \cdot 1,91 \text{ kN/m} \cdot (5 \text{ m})^2 / 8 = 9,0 \text{ kN m}$$

Il profilo è in classe 1, infatti per le pareti ortogonali all'asse di flessione vale:

$$\xi = (235 / f_y)^{0.5} = (235 / 235)^{0.5} = 1$$
$$c/t = 108/5 = 21,6 < 72 \xi = 72$$

e per le pareti parallele al piano di flessione vale:

$$\xi = (235 / f_y)^{0.5} = (235 / 235)^{0.5} = 1$$
$$c/t = 48/5 = 9,6 < 33 \xi = 33$$

Si riporta la verifica :

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_M = 75,5 \text{ cm}^3 \cdot 235 \text{ MPa} / 1,05 = 16,9 \text{ kN m}$$
$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 9,0/16,9 = 0,57 < 1,0$$

Taglio

Il massimo massimo taglio agli appoggi vale:

$$V_{Ed} = \gamma_Q \cdot q \cdot L / 2 = 1,5 \cdot 1,91 \text{ kN/m} \cdot 5 \text{ m} / 2 = 7,2 \text{ kN}$$
$$V_{pl,Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{MO} = A \cdot h / (b+h) \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{MO} = 16,5 \text{ cm}^2 \cdot 14 \text{ cm} \cdot / (8+14 \text{ cm}) \cdot (235 \text{ MPa} / \sqrt{3}) / 1,05 = 135,7 \text{ kN}$$

Verifica:

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 7,2/135,7 = 0,06 < 1,0$$

VERIFICHE SLE

Spostamento orizzontale

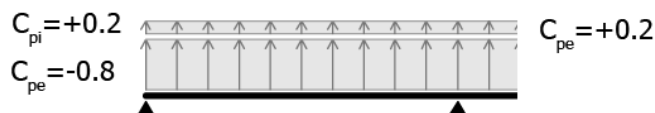
Il massimo spostamento in mezzeria vale:

$$f_1 = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,91 \cdot (5 \text{ m})^4}{210 \text{ GPa} \cdot 429 \text{ cm}^4} = 1,73 \text{ cm} = \frac{L}{289} < \frac{L}{200}$$

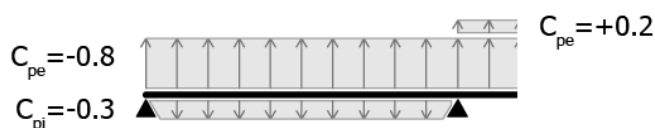
3.6.6.2 Profilo inferiore

Per il profilo inferiore le 4 possibili combinazioni di carico sono:

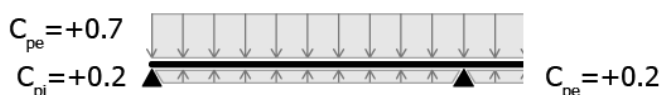
vento parallelo



vento parallelo



vento ortogonale



vento ortogonale

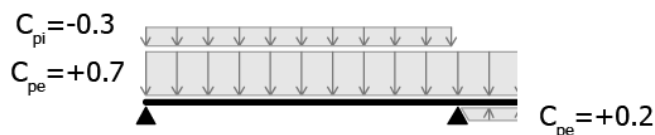


Figura 163 schemi statici profilo inferiore

La freccia critica è quella relativa allo sbalzo, poiché in campata la freccia massima sarà sempre inferiore a quella con uno schema di trave doppiamente appoggiata, grazie all'effetto di sollevamento esercitato dallo sbalzo.

Per calcolare la freccia dello sbalzo, grazie alla sovrapposizione degli effetti si ha:

$$f_2 = \frac{1}{EI} \left[\left(\frac{pl^3}{24} - \frac{qs^2l}{6} \right) s - \frac{qs^4}{8} \right]$$

Infatti:

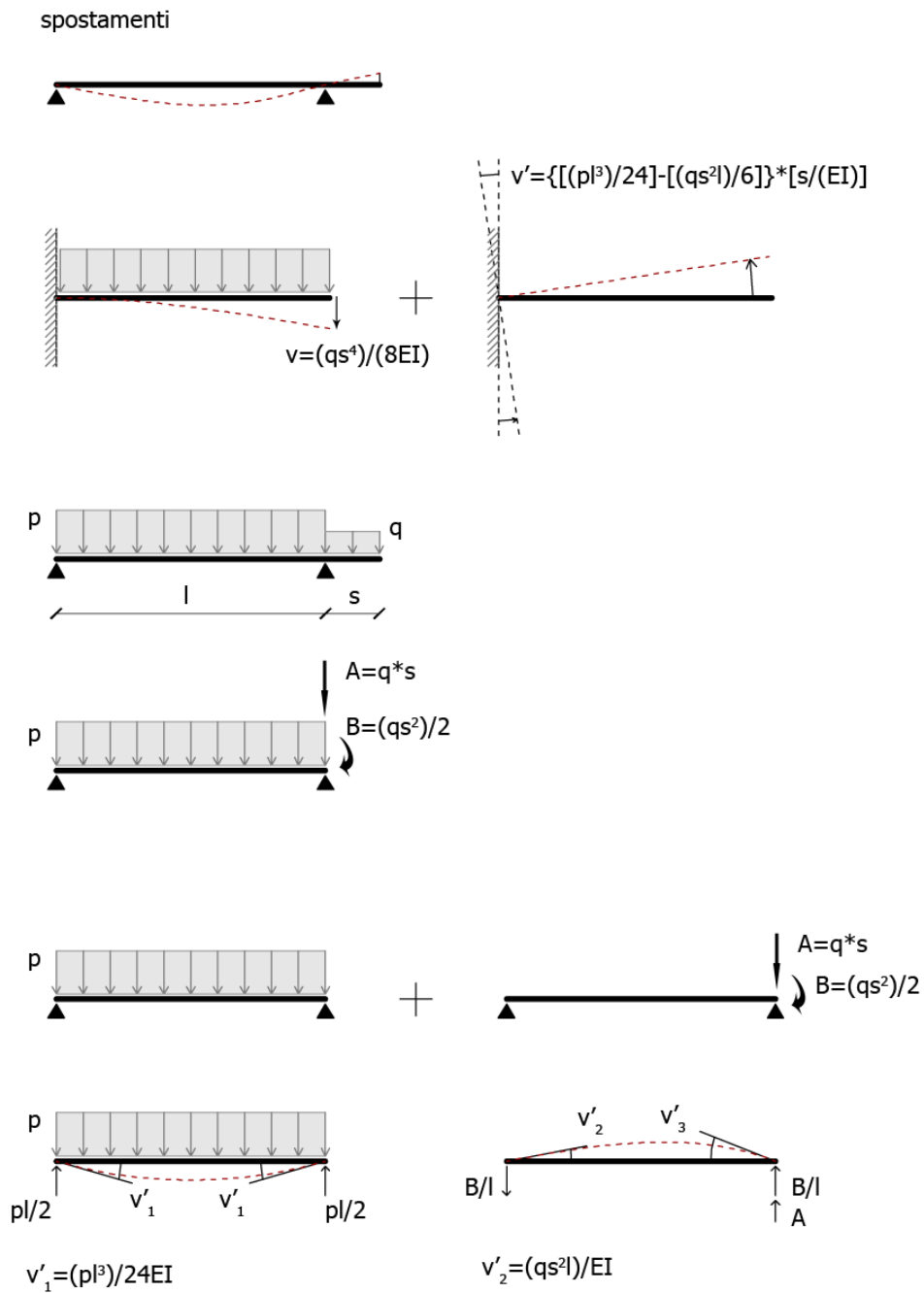


Figura 164 schemi statici sovrapposizione effetti

Delle due combinazioni con carichi costanti ma differenti su campata e su sbalzo, la più critica risulta essere quella con carico massimo sulla campata e carico minimo sullo sbalzo. Imponendo uno spostamento limite pari a $1/200$ della doppia lunghezza dello sbalzo si ottiene un'inerzia minima I_2 pari a:

$$I_2 = \frac{1}{E} \left[\left(\frac{pl^3}{24} - \frac{qs^2l}{6} \right) s - \frac{qs^4}{8} \right] \cdot \frac{200}{2s} =$$

$$= \frac{1}{210 \text{ GPa}} \left[\left(\frac{1,91 \text{ kN/m} \cdot (5 \text{ m})^3}{24} - \frac{0,85 \text{ kN/m} \cdot (1 \text{ m})^2 \cdot 5 \text{ m}}{6} \right) \cdot 1 \text{ m} - \frac{0,85 \text{ kN/m} \cdot (1 \text{ m})^4}{8} \right] \cdot \frac{200}{2 \cdot 1 \text{ m}} = 435 \text{ cm}^4$$

Profilo scelto: **profilo cavo rettangolare 140 x 80 x 5**

VERIFICHE SLU

Flessione

Il massimo momento flettente si ha in campata ed è sicuramente inferiore al momento agente calcolato per il profilo superiore con schema statico su doppio appoggio; il profilo preseta inoltre una maggiore rigidezza flessionale. La verifica risulta quindi superflua.

Taglio

Il massimo massimo taglio agli appoggi vale:

$$V_{Ed} = \gamma_Q \cdot q \cdot L / 2 = 1,5 \cdot 1,91 \text{ kN/m} \cdot 5 \text{ m} / 2 = 7,5 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{MO} = A \cdot h / (b+h) \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{MO} = 20,4 \text{ cm}^2 \cdot 14 \text{ cm} / (8+14 \text{ cm}) \cdot (235 \text{ MPa} / \sqrt{3}) / 1,05 = 167,8 \text{ kN}$$

Verifica:

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 7,5 / 167,8 = 0,05 < 1,0$$

VERIFICHE SLE

Spostamento orizzontale

Il massimo spostamento dell'estremità dello sbalzo vale:

$$f_2 = \frac{1}{EI} \left[\left(\frac{pl^3}{24} - \frac{qs^2l}{6} \right) s - \frac{qs^4}{8} \right] =$$

$$= \frac{1}{210 \text{ GPa} \cdot 516 \text{ cm}^4} \left[\left(\frac{1,91 \text{ kN/m} \cdot (5 \text{ m})^3}{24} - \frac{0,85 \text{ kN/m} \cdot (1 \text{ m})^2 \cdot 5 \text{ m}}{6} \right) \cdot 1 \text{ m} - \frac{0,85 \text{ kN/m} \cdot (1 \text{ m})^4}{8} \right] =$$

$$= 0,85 \text{ cm} = \frac{2s}{236} < \frac{2s}{200}$$

3.6.7 Controventi

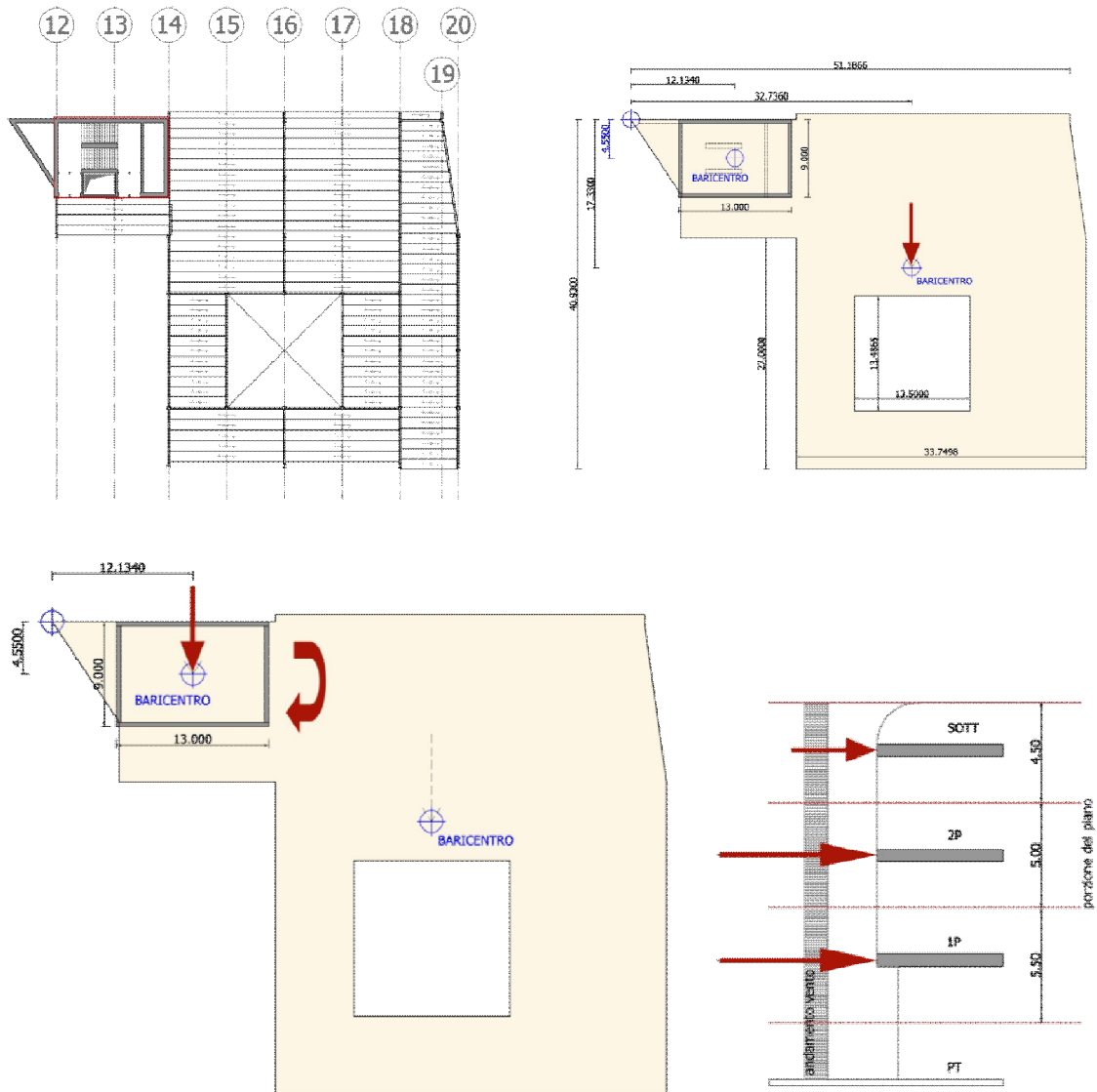


Figura 165 schematizzazione del controvento

Si sono dimensionati i controventi della zona biblioteca, poiché sono apparsi come i più critici a causa della forte eccentricità.
La pressione del vento sulla sulle superfici esterne vale:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0.7 \cdot 710 \text{ N/m}^2 = 497 \text{ N/ m}^2$$

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} = 0.3 \cdot 710 \text{ N/m}^2 = 213 \text{ N/ m}^2$$

$$w = 213 \text{ N/ m}^2 + 497 \text{ N/ m}^2 = 710 \text{ N/ m}^2$$

Da cui si ricava una spinta pari a:

$$F_{\text{copertura}} = 710 \text{ N/ m}^2 \cdot 51 \text{ m} \cdot 4,5 \text{ m} = 162,9 \text{ kN}$$

$$F_{P2} = 710 \text{ N/m}^2 \cdot 51 \text{ m} \cdot 5 \text{ m} = 181,1 \text{ kN}$$

$$F_{P1} = 710 \text{ N/m}^2 \cdot 51 \text{ m} \cdot 5,5 \text{ m} = 199,2 \text{ kN}$$

Le forze assiali derivate dai carichi dei vari impalcati valgono:

$$N_{\text{copertura}} = 871,4 \text{ kN}$$

$$N_{P2} = 871,4 + 1498 = 2369,4 \text{ kN}$$

$$N_{P1} = 2369,4 + 1498 = 3867,4 \text{ kN}$$

$$N_{PT} = 3867,4 + 1498 = 5365,4 \text{ kN}$$

Sulla sezione inferiore alla base del controvento si avrà dunque uno stato di sollecitazione pari a

$$N = 5365,4 \text{ kN}$$

$$M_x = 5793,7 \text{ kNm}$$

$$V = 543,2 \text{ kN}$$

$$T = 10945,8 \text{ kNm}$$

Si calcola il momento di inerzia del muro attorno all'asse x:

$$I_x = 2 \left[a \cdot t^3 / 12 + a \cdot t \cdot ((b-t)/2)^2 \right] = 275 \text{ m}^4$$

Si calcola la resistenza torsionale del nucleo di controvento:

$$\Omega = 2 A_t = [(a-t)/2] \cdot [(b-t)/2] = 26,1 \text{ m}^2$$

La massima tensione in esercizio dovuta all'azione assiale vale:

$$\sigma_0 = N/A = 0,22 \text{ MPa}$$

0.31

Verifica sezione corrente

La massima tensione dovuta al momento attorno all'asse x vale:

$$\Delta\sigma = \pm M_x \cdot b / (2 \cdot I_x) = \pm 0,095 \text{ MPa}$$

0.20

Da cui:

$$\sigma_{\min} = \sigma_0 - \Delta\sigma = 0,12 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_0 + \Delta\sigma = 0,32 \text{ MPa}$$

Le tensioni tangenziali dovute all'azione di taglio V e al momento torcente T valgono:

$$\tau_v = V / (a \cdot z) = 0,01 \text{ MPa}$$

$$\tau_t = T / (\Omega \cdot t) = 0,69 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\max} = \tau_v + \tau_t = 0,70 \text{ MPa}$$

Le tensioni principali valgono:

$$\sigma_{II} = \frac{1}{2} \left[\sigma_{min} + \sqrt{\sigma_{min}^2 + 4\tau_{max}^2} \right] = 0,76 \text{ MPa } 1.03 < \sigma_{c,adm}$$

$$\sigma_I = \frac{1}{2} \left[\sigma_{max} + \sqrt{\sigma_{max}^2 + 4\tau_{max}^2} \right] = 0,88 \text{ MPa } 1.25 < f_{ctk}$$

Verifica di resistenza

Azioni normali

$$2H = \frac{M}{b} + \frac{T/2}{2A_t/u} - \frac{N}{2} = 7024,8 \text{ kN } 6846$$

$$H = 3426 \text{ kN}$$

Con u perimetro di controvento :

$$u = 2(a+b) = 44 \text{ m}$$

$$\bar{H}_r = f_{c1}' \cdot t \cdot u / 4 = 29700 \text{ kN}$$

La verifica è:

$$\gamma_f \cdot H < \bar{H}_r$$

$$1,5 \cdot 3426 \text{ kN} = 5139 \text{ kN} < 29700 \text{ kN}$$

Armatura minima

$$a_s = 0,003 t = 12,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$1+1\Phi 14 / 250 (12,3 \text{ cm}^2)$$

$$a_h = 0,0015 t = 6,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$1+1\Phi 10 / 250 (6,29 \text{ cm}^2)$$

Verifica a taglio

L' azione di taglio agente lungo y vale:

$$V'' = \frac{V}{2} + \frac{T}{2A_t} (b - t) = 3757 \text{ kN}$$

La verifica a taglio trazione vale:

$$V_{s,Rd} = a_h \cdot z \cdot f_{sd} \cdot \lambda_c = 6473 \text{ kN} > V_{ad} = 3757 \text{ kN}$$

con $\lambda_c = 2$

La verifica a taglio compressione vale:

$$V_{c,Rd} = \frac{z \cdot t \cdot f_{c2} \cdot \lambda_c}{1 + \lambda_c^2} = 11008 \text{ kN} > V_{ad} = 3757 \text{ kN}$$

3.7 Conclusioni

La necessità di disporre di una massa termica inerziale a diretto contatto con gli ambienti interni e le ampie luci di progetto hanno condotto a scegliere solai alveolari con getto di completamento, in grado di garantire il trasferimento delle azioni orizzontali ai nuclei di controvento e di essere messi in opera rapidamente e senza l'utilizzo di sistemi di puntellamento. Sono state confrontate tre diverse soluzioni per gli impalcati:

- solai alveolari semplicemente appoggiati su travi in acciaio incernierate;
- solai alveolari con getto di completamento su travi miste in c.a. incernierate;
- solai alveolari con getto di completamento su travi miste in c.a. incastrate.

In base alle analisi effettuate si è mostrato come la seconda soluzione ottimizzi l'impiego dei materiali e semplifichi i giunti costruttivi.

Per quanto riguarda i pilastri, la sottostruttura di facciata e la struttura di copertura si è ricercata la massima leggerezza ed il minor ingombro degli elementi ricorrendo a profili in acciaio; in particolare si è prestata attenzione al controllo delle inflessioni massime accettabili e delle instabilità.

Per i controventi si sono sfruttati i vani scala antincendio in c.a.

3.8 Bibliografia

RADOGNA EMANUELE FILIBERTO, *Tecnica delle costruzioni. 2 : costruzioni composte acciaio-calcestruzzo, cemento armato, cemento armato precompresso*, Zanichelli Bologna, 1998.

BALLIO Giulio, *Progettare costruzioni in acciaio : normativa europea, stati limite, sagomario, software per il calcolo*, Hoepli Milano, 2004

Eurocodice 0 – Criteri generali di progettazione strutturale:

- UNI EN 1990:2006

Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture:

- UNI EN 1991-1-1:2004 Parte 1-1: Azioni in generale - Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per gli edifici;
- UNI EN 1991-1-2:2004 Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco;
- UNI EN 1991-1-3:2004 Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve;
- UNI EN 1991-1-4:2005 Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento;
- UNI EN 1991-1-6:2005 Parte 1-6: Azioni in generale - Azioni durante la costruzione;

Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo:

- UNI EN 1992-1-1:2005 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;

Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio:

- UNI EN 1993-1-1:2005 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1993-1-8:2005 Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti;

Eurocodice 4 – Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo:

- UNI EN 1994-1-1:2005 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- D.M. 14-01-2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni
- CIRC. n.617 del 02-02-2009 – “Istruzioni per l’applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14-01-2008”