

POLITECNICO DI TORINO



**Politecnico  
di Torino**

TESI MAGISTRALE IN  
INGEGNERIA EDILE

---

**TORINO-MONCALIERI: STUDIO  
CONGETTURALE PRELIMINARE  
PER UNA MONOROTAIA  
SOPRAELEVATA A LEVITAZIONE  
MAGNETICA**

---

CANDIDATO: ANASTASIO Mauro 308460

RELATORE: prof. PIANTANIDA Paolo

15 Luglio 2024

# RINGRAZIAMENTI

*“Al piccolo Riccardino”*

Con la stesura di questo elaborato sono giunto al termine di un percorso iniziato nell’ottobre 2022 che senza il sostegno e il supporto di molte persone sarebbe stato molto più complicato e tortuoso da raggiungere. Per questo motivo vorrei fare un primo e caloroso ringraziamento a mia madre Nicoletta e a mio padre Sandrino i quali mi hanno sempre sostenuto e spronato fin dagli inizi della triennale e a i miei fratelli Diego e Giorgio che mi hanno accompagnato durante questo viaggio. Un doveroso ringraziamento va fatto anche al relatore di questa tesi il prof. Paolo Piantanida il quale durante questi anni di Politecnico ha accresciuto ancor di più il mio interesse nei confronti della progettazione edile.

Passiamo adesso ai ringraziamenti più informali, se così si può dire, iniziando dai miei coinquilini con cui ho trascorso questi anni, il primo nonché storico Matteo, detto *Maka*, che mi accompagna e sopporta da ben sette anni e Vincenzo ostile a livello di tifo calcistico, ma grande amico. Al di fuori delle mura domestiche non posso non menzionare tre grandi compagni come Matteo, detto *Ause*, Lorenzo, in arte *Lollino* ed Enrico, meglio noto come *Scribbi*, con i quali ho trascorso memorabili serate tra amici. Il Politecnico non è solo un luogo di dove si studia e si frequentano le lezioni, ma è anche posto dove fare nuove conoscenze infatti come farei a non ringraziare le mie colleghe e colleghi di corso Gianmarco, Elena, Valeria, Arianna e Giulia senza i quali sarebbe stato difficile superare i lavori di gruppo. L’ultimo ringraziamento, ma non per importanza, è rivolto alle due mie care amiche e colleghe Micaela e Giorgia con le quali ho stretto un legame molto profondo e con cui ho condiviso molte avventure tra Liguria, Valle d’Aosta e Piemonte.



# ABSTRACT

L'obiettivo di questo elaborato è studiare un collegamento alternativo e più rapido, rispetto all'automobile e al treno, tra Torino e Moncalieri concentrandosi su temi come la resilienza, le basse emissioni e l'ottimizzazione dei processi e dei tempi di costruzione.

Il primo tema che si andrà a trattare è una comparazione tra i trasporti terrestri e le loro emissioni per poi andare a approfondire quelli su rotaia i quali saranno brevemente analizzati sotto il punto di vista storico sia a livello mondiale sia a livello nazionale. In seguito verrà esaminata la soluzione scelta per la realizzazione del suddetto collegamento, una monorotaia a levitazione magnetica che verrà studiata prima a livello generale, attraverso lo sviluppo storico e le principali tipologie esistenti, per poi passare a un'analisi più approfondita della struttura di una monorotaia MAGLEV e dei fenomeni fisici che permettono la levitazione del convoglio. L'ultimo macro argomento sviluppato prima delle conclusioni è rappresentato dall'illustrazione dei tre casi studio consistenti in altrettanti progetti preliminari di stazioni per la monorotaia. Per ognuno di questi sarà esaminato il contesto, i vincoli e le criticità dei luoghi in cui si è pensato che verranno realizzati e saranno discusse le scelte progettuali adottate.

*The aim of this work is to study an alternative and faster connection, compared to the car and the train, between Turin and Moncalieri, focusing on issues such as resilience, low emissions and optimisation of processes and times.*

*The first topic that will be addressed is a comparison between land transport and its emissions, followed by an in-depth look at rail transport, which will be briefly analysed from a historical point of view both worldwide and nationally. The solution chosen for the construction of the above-mentioned link, a magnetic levitation monorail, will then be examined. It will first be studied at a general level, through its historical development and the main existing types, and then move on to a more in-depth analysis of the structure of a MAGLEV monorail and the physical phenomena that enable the levitation of the convoy. The last macro topic developed before the conclusions is the illustration of three case studies consisting of three preliminary station designs for the monorail. For each of these, the context, the environmental restriction, and critical issues of the locations where they are planned to be built will be examined, and the design choices made will be discussed.*

# INDICE

<b>ELENCO DELLE FIGURE</b>	<b>IV</b>
<b>ELENCO DELLE TABELLE</b>	<b>VI</b>
<b>1 INTRODUZIONE</b>	<b>1</b>
<b>2 CENNI SUI TRASPORTI SU ROTAIA</b>	<b>2</b>
2.1 Ferrovia: nascita e sviluppo . . . . .	2
2.2 Le ferrovie in Italia . . . . .	4
<b>3 LE MONOROTAIE</b>	<b>6</b>
3.1 Monorotaie a sella . . . . .	8
3.2 Monorotaie sospese . . . . .	12
3.3 Monorotaie a levitazione magnetica . . . . .	14
<b>4 CENNI SUI TRASPORTI MAGLEV</b>	<b>16</b>
4.1 Il motore lineare . . . . .	20
<b>5 CASI STUDIO</b>	<b>23</b>
5.1 Finalità del progetto . . . . .	23
5.2 Analisi del contesto . . . . .	25
5.2.1 Area Italia '61 . . . . .	25
5.2.2 Città di Moncalieri . . . . .	27
5.3 Stazione: Italia '61 - capolinea . . . . .	29
5.4 Stazione: Ospedale di Santa Croce . . . . .	33
5.5 Stazione: Moncalieri - capolinea . . . . .	35
<b>6 CONCLUSIONI</b>	<b>40</b>
<b>INDICE DELLE TAVOLE</b>	<b>41</b>
<b>BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA</b>	<b>42</b>
<b>A LINEA LINIMO</b>	<b>45</b>
<b>B SISTEMA NPS CORE</b>	<b>48</b>
<b>C SISTEMA DI FACCIATA ASTER</b>	<b>59</b>

# ELENCO DELLE FIGURE

2.1	Prime locomotive . . . . .	2
2.2	Rete ferroviaria mondiale [1] . . . . .	4
2.3	Linee ferroviarie in Italia (1855-1905) [37] . . . . .	5
3.1	Monorotaia <i>Philadelphia Centennial</i> [2] . . . . .	6
3.2	Monorotaia <i>Wuppertal Schwebebahn</i> [3] . . . . .	6
3.3	1914 - Monorotaia di Genova [4] . . . . .	7
3.4	Monorotaie ALWEG (a) e SAFEGE (b) [4] . . . . .	7
3.5	Monorotaie di Italia '61 (a) e la Tokyo-Haneda (b) [4] . . . . .	8
3.6	Prima monorotaia ALWEG [5] . . . . .	9
3.7	Struttura portante ALWEG [6] . . . . .	9
3.8	Sistema di propulsione ALWEG [7] . . . . .	10
3.9	Diagramma del design dell'ALWEG [7] . . . . .	10
3.10	Monorotaia Italia '61 [8] . . . . .	11
3.11	Monorotaie Bombardier Innovia . . . . .	11
3.12	Monorotaie Scmi (a) [9] e Hitachi (b) [10] . . . . .	12
3.13	Trave e carrello Von Roll Monorail . . . . .	12
3.14	Monorotaia SAFEGE [11] . . . . .	13
3.15	Monorotaie di Shonan (a) e di Chiba City (b) [12] . . . . .	13
3.16	Caratteristiche Wuppertal Schwebebahn [13] . . . . .	14
3.17	Primi dieci Stati per numero di brevetti MAGLEV [14] . . . . .	15
3.18	Prime dieci società per brevetti MAGLEV [14] . . . . .	15
4.1	Emissioni prodotte dai trasporti nell'Unione Europea (1990-2019) [15] . . . . .	16
4.2	Elementi del sistema Transrapid [16] . . . . .	17
4.3	Principio di funzionamento del motore lineare del Transrapid [16] . . . . .	17
4.4	Particolari del sistema di propulsione del Transrapid [16] . . . . .	18
4.5	Transrapid di Shanghai [17] . . . . .	18
4.6	Magneti superconduttori del Maglev [18] . . . . .	19
4.7	Sistema EDS [18] . . . . .	19
4.8	Metodo di propulsione del Maglev [18] . . . . .	20
4.9	Da motore elettrico rotativo a motore lineare [14] . . . . .	20
4.10	Le tre configurazioni possibili di un LIM [14] . . . . .	21
4.11	Struttura monolatera (a) e bilatera (b) [19] . . . . .	22
5.1	Tragitto monorotaia . . . . .	24
5.2	Plastico di Italia '61 [20] . . . . .	25
5.3	Monorotaia Italia '61 (a) [21] e l'ovovia (b) [22] . . . . .	26
5.4	Il Palazzo delle Mostre (a) [23] e il Palazzo del Lavoro (b) [24] . . . . .	26
5.5	Stazione Nord ieri e oggi [21] . . . . .	27
5.6	Comune di Moncalieri [25] . . . . .	27
5.7	Rappresentazioni storiche del Castello (a) e del borgo di Moncalieri (b) [26] . . . . .	28
5.8	Castello di Moncalieri oggi [27] . . . . .	29
5.9	Vista aerea area Italia '61 (a) [28] e posizione stazione(b) . . . . .	30
5.10	Planimetria L0 stazione Italia '61 . . . . .	30

5.11	Planimetria L1 stazione Italia '61 . . . . .	31
5.12	Planimetria L2 stazione Italia '61 . . . . .	31
5.13	Prospetto B stazione Italia '61 . . . . .	31
5.14	Planimetria copertura stazione Italia '61 . . . . .	32
5.15	Planimetria infopoint stazione Italia '61 . . . . .	32
5.16	Particolari costruttivi parete kager (a) e parete kager con sistema di facciata Aster (b) . . . . .	33
5.17	Vista aerea area Ospedale Santa Croce [29] . . . . .	33
5.18	Posizione stazione Ospedale Santa Croce . . . . .	34
5.19	Planimetrie livelli L0, L1 e L2 stazione Ospedale Santa Croce . . . . .	34
5.20	Sezione AA stazione Ospedale Santa Croce . . . . .	35
5.21	Sezione BB stazione Ospedale Santa Croce . . . . .	35
5.22	Vista aerea area Moncalieri Testona (a) [30] e posizione stazione Moncalieri capolinea (b) . . . . .	36
5.23	Planimetria livello L0 stazione Moncalieri capolinea . . . . .	37
5.24	Planimetria livello L1 stazione Moncalieri capolinea . . . . .	37
5.25	Planimetria livello L2 stazione Moncalieri capolinea . . . . .	37
5.26	Planimetrie chiosco bar e centro sportivo . . . . .	38
5.27	Render esplicativi stazione Moncalieri capolinea (1) . . . . .	38
5.28	Render esplicativi stazione Moncalieri capolinea (2) . . . . .	39
A.1	Linimo [31] . . . . .	45
A.2	Esempio di convoglio Linimo [31] . . . . .	46
A.3	Meccanismi di levitazione e propulsione Linimo [32] . . . . .	46
A.4	Modulo di propulsione Linimo [32] . . . . .	46
A.5	Binario Linimo [31] . . . . .	47

## ELENCO DELLE TABELLE

2.1	Reti ferroviarie dal 1840 al 1914 in km [33] . . . . .	3
2.2	Assegnazione linee ferrate nel 1865 nel Regno d'Italia [33] . . . . .	4
2.3	Assegnazione linee ferroviarie italiane nel 1885 [33] . . . . .	5
A.1	Caratteristiche tecniche Linimo . . . . .	45

# 1 INTRODUZIONE

L'obiettivo del seguente elaborato è lo studio di un ulteriore collegamento tra Torino e Moncalieri più innovativo e veloce rispetto ai mezzi usuali e che allo stesso tempo non gravi sulle principali arterie cittadine. Il punto di partenza di questo progetto è stato individuare quali fossero le utenze principali e quale fosse la direzione prioritaria del flusso dei passeggeri, se da Moncalieri verso Torino o viceversa. Compresa la tipologia di utilizzatori e la loro tendenza a dirigersi verso il capoluogo piemontese, si è potuto passare allo studio del tragitto ottimale che potesse raggiungere i luoghi di maggiore interesse di Moncalieri, ma che allo stesso tempo fosse facilmente raggiungibile nel giro di pochi minuti.

Conclusa la parte di studio generale ci si è concentrati sull'analisi della tipologia del mezzo da utilizzare escludendo a priori automobili e autobus. La scelta è ricaduta sul trasporto su rotaie in quanto produttori di basse emissioni, ma non il classico treno in quanto già esistente una linea ferroviaria, ma una monorotaia sopraelevata a levitazione magnetica. Il fatto che sia sopraelevata permette di non gravare sul traffico cittadino, cosa che una linea di tram fa, mentre la scelta della levitazione magnetica è stata fatta perché permette al convoglio di non avere un contatto diretto con la rotaia e quindi azzerare quasi totalmente l'attrito migliorando l'efficienza e i consumi.

Una volta approfonditi i fondamenti del funzionamento di una monorotaia a levitazione magnetica e dopo averne scelto una tipologia esistente come campione si è passati ad una progettazione a livello preliminare di quelle strutture indispensabili per un trasporto pubblico, ossia le stazioni. Ci si è concentrati sui due capolinea, quello a Italia '61 a Torino e quello a Moncalieri, e su una stazione intermedia nella zona antistante l'ospedale Santa Croce. Per ognuno di questi edifici il focus è stato fatto sul renderli tutti facilmente accessibili abbattendo le barriere architettoniche attraverso l'utilizzo di tappeti mobili e, solo dove necessario, di ascensori. Per quanto concerne le scelte progettuali adottate si è cercato il più possibile di fare uso di tecnologie a secco in modo tale da poter facilitare l'installazione e di conseguenza ridurre e ottimizzare le tempistiche di cantiere.

## 2 CENNI SUI TRASPORTI SU ROTAIA

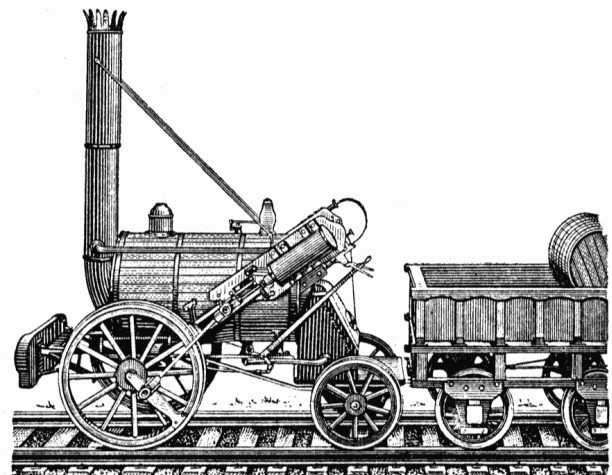
A partire dalla fine del XVIII secolo l'avvento della rivoluzione industriale e la scoperta di nuovi fonti di energia, quali il vapore e il petrolio con i suoi derivati, hanno permesso un'evoluzione nelle metodologie di lavoro la quale ha segnato il passaggio da un lavoro per lo più manuale a uno governato per la maggior parte dalle macchine. Questo cambiamento non ha riguardato solo un'attività in particolare, al contrario, ha avuto un effetto ad ampio spettro in molti campi. In questo periodo, infatti, si è compiuta anche un'altra rivoluzione, denominata la rivoluzione dei trasporti, che ha reso possibile spostamenti più veloci con mezzi motorizzati e non più a trazione animale. [33]

### 2.1 Ferrovia: nascita e sviluppo

L'antenata della ferrovia è nata durante il Settecento in Gran Bretagna, più precisamente nelle miniere del Newcastle e del Galles del Nord dove, ancor prima dell'avvento della macchina a vapore, erano presenti carrelli trasportatori che viaggiavano su binari. Un primo accenno di rete ferroviaria fu realizzato nel 1803 nei sobborghi di Londra dove fu costruita una linea per il trasporto di merci e persone in cui un cavallo riusciva a trainare un carico di 50 tonnellate su una strada a rotaia. L'effettiva nascita e successo delle ferrovie è indubbiamente legato ai nomi di George Stephenson e di suo figlio Robert che nel 1814 realizzarono la prima macchina a vapore per il trasporto di carbone su rotaia. Successivamente nel 1825 fu aperta al pubblico la prima linea ferroviaria che collegava Stockton a Darlington; quattro anni dopo fu costruita dagli Stephensons la locomotiva Rocket che rappresentò il modello di riferimento per l'industria ferroviaria per quasi un secolo e che nel 1830 fu utilizzata sulla linea Liverpool-Manchester. [33]



(a) *Locomotion*, la prima locomotiva [34]



(b) *Locomotiva Rocket* [35]

**Figura 2.1:** *Prime locomotive*

Caratteristica comune delle prime linee ferroviarie britanniche è rappresentata dal fatto che in origine questi tratti erano stati costruiti da privati al servizio delle proprie industrie e che

in seguito furono ampliati e aperti al trasporto pubblico. La nascita delle ferrovie provocò profondi mutamenti all'economia e al commercio dell'Inghilterra in quanto contribuì alla nascita di nuove figure lavorative e a creare una nuova e crescente domanda, ma al contempo non sottrasse traffico alle altre modalità di spostamento.

Nel giro di pochi anni le ferrovie si diffusero in tutta Europa, nei continenti vicini e oltreoceano. In Francia nel 1832 fu inaugurata la prima linea ferroviaria a vapore che collegava la città di Saint Etienne con Lione e nel 1836 fu realizzato il collegamento Parigi-Versailles-Saint Germain. A differenza dell'Inghilterra, in Francia la rete ferroviaria era gestita con un sistema misto quindi si avevano tratti di proprietà statale e tratti privati. Ciò causò in prima battuta uno sviluppo più lento (Tabella 2.1). Tutto l'opposto avvenne in Germania che vide la prima ferrovia realizzata nel 1835 tra Norimberga Furth e che, fino al 1879, presentava un sistema di gestione mista il quale fu sostituito, per volere di Bismark, da un sistema quasi totalmente statale. [33]

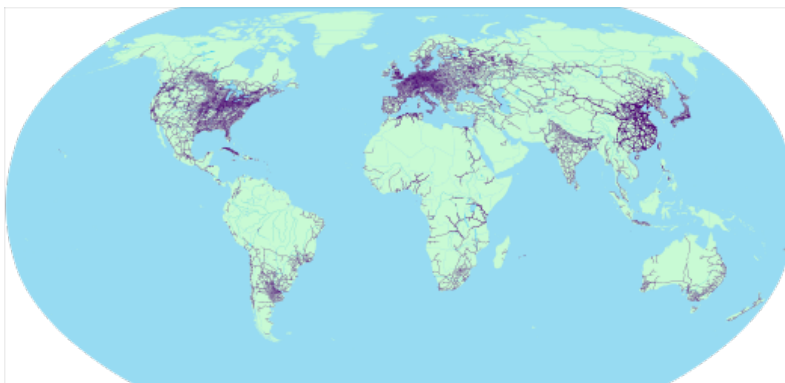
Anni	Inghilterra	Francia	Germania
1840	900	431	567
1850	10.677	3.001	6.030
1860	16.849	9.420	11.606
1870	24.638	17.436	19.532
1880	28.859	26.128	38.763
1890	32.303	36.835	42.773
1900	35.171	42.963	51.275
1910	37.636	49.516	61.172
1914	38.142	50.120	63.588

**Tabella 2.1:** Reti ferroviarie dal 1840 al 1914 in km [33]

A metà del XIX secolo anche l'impero austro-ungarico realizzò le prime due sue linee ferrate, la Vienna-Bratislava nel 1847 e nel 1850 la Praga-Dresda, tutte realizzate con fondi pubblici. Ormai la ferrovia aveva raggiunto in tutte le nazioni un ruolo predominante come metodologia di trasporto. [33]

Gli Stati Uniti rappresentarono una sorta di eccezione poiché l'avvento della ferrovia nel 1829 fu sfruttato non solo a livello economico, ma anche come tramite per l'espansione delle tredici colonie verso il tanto desiderato *Far West*. A differenza dell'Europa, negli Stati Uniti la realizzazione delle ferrovie fu basata sulla teoria della libera concorrenza in cui lo Stato si limitava ad assegnare ai concessionari dei territori confinanti con la linea per difendersi dagli attacchi degli "indiani". L'apice dello sviluppo ferroviario americano si ebbe nel 1869 con la conclusione della linea transcontinentale che unisce tutt'oggi l'Est con l'Ovest del Paese. [33] Con il passare degli anni le tecnologie per il traino dei convogli passò dal vapore all'energia termica dei motori diesel ed infine all'energia elettrica delle elettromotrici. Oggigiorno prevalgono le linee alimentate da corrente continua o alternata in base al paese di realizzazione e ciò comporta un ostacolo per l'unificazione delle reti mondiali. [36]





**Figura 2.2:** *Rete ferroviaria mondiale [1]*

## 2.2 Le ferrovie in Italia

In Italia l'avvento di una vera e propria linea ferroviaria avvenne solo dopo la nascita del Regno d'Italia, prima erano presenti delle linee ferrate che collegavano principalmente le capitali degli Stati pre unificazione con le residenze estive di vari sovrani<sup>1</sup>, come ad esempio la Napoli-Caserta nel Regno delle Due Sicilie o la Torino-Moncalieri in Piemonte. Nel 1860 la lunghezza totale di strade ferrate in Italia era pari a 2000 km. La presenza di linee indipendenti le une dalle altre ed appartenenti a Stati diversi creò svariati problemi per la realizzazione di una rete unica nazionale, infatti nel 1865 erano ancora presenti sul territorio almeno venti compagnie ferroviarie. In ambito di politica ferroviaria, il governo italiano fu costretto, per indisponibilità di fondi, ad orientarsi verso il modello francese e consegnò l'intero settore ferroviario ai privati (Tabella 2.2). [33]

Società	Linee assegnate (in esercizio o in costruzione)			
Ferrovia dell'Alta Italia	Piemonte	valle padana	Veneto	
Strade Ferrate Romane	Lazio	Umbria	Marche	Toscana
Ferrovie Meridionali	Linea adriatica	Foggia-Napoli	Bari-Taranto	
Società Anonima Vittorio Emanuele	Linea calabro-lucana	Sicilia		

**Tabella 2.2:** *Assegnazione linee ferrate nel 1865 nel Regno d'Italia [33]*

Rispetto al resto d'Europa, i primi risultati economici prodotti dalle ferrovie italiane furono molto negativi tanto da dover far intervenire lo Stato per colmare la differenza. Si può dire che il progetto di rendere la ferrovia uno strumento di propulsione per l'economia italiana nacque con un'eccessiva ambizione e in modo molto disorganizzato. Nel 1885, in seguito all'esito insoddisfacente della suddivisione delle strade ferrate avvenuta vent'anni prima e ad un'inchiesta parlamentare conclusasi sempre con la preferenza per la gestione privata, il governo riorganizzò le ferrovie secondo una ripartizione longitudinale affidando le tratte a due

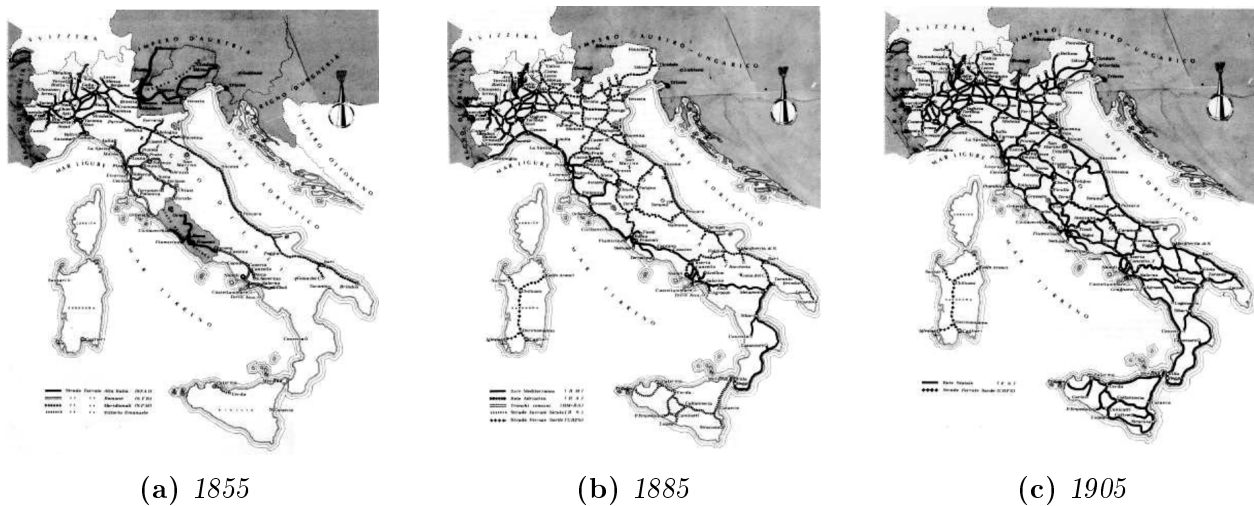
<sup>1</sup>Queste linee possono essere paragonate ad un'odierna linea tramviaria.

nuove società private, la Società Italiana per le Strade Ferrate del Mediterraneo e la Società Italiana per le Strade Ferrate Meridionali (Tabella 2.3). [33]

Società Italiana per le Strade Ferrate del Mediterraneo	6.074 km
Società Italiana per le Strade Ferrate Meridionali	6.874 km
Tratti comuni	134 km
Tratti esclusi	600 km (Sicilia) 1.750 km (privati)

**Tabella 2.3:** Assegnazione linee ferroviarie italiane nel 1885 [33]

Gli accordi stipulati nel 1855 prevedevano una durata massima di sessant'anni suddivisi in tre periodi di vent'anni al termine dei quali una delle due parti avrebbe potuto chiedere la rescissione del contratto. Nel 1905 in seguito al cambiamento della maggioranza al governo le ferrovie passarono da private a pubbliche con la conseguente nascita delle Ferrovie dello Stato (FS). [33]



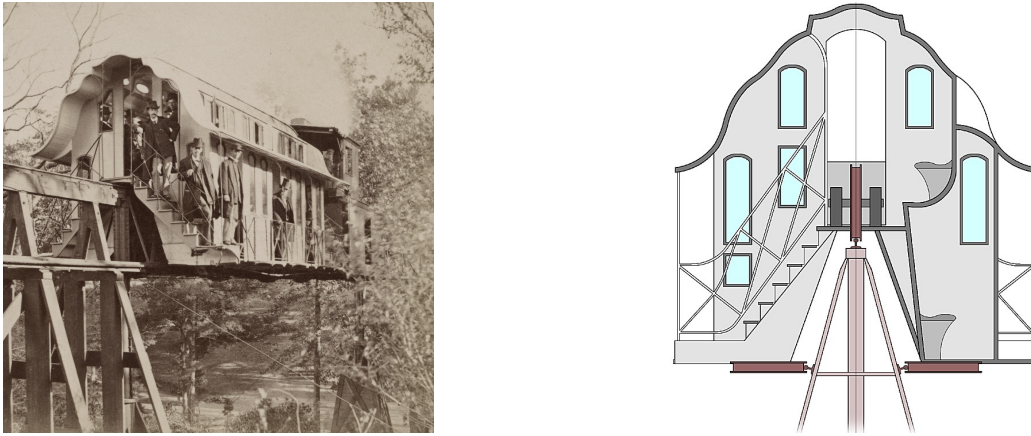
**Figura 2.3:** Linee ferroviarie in Italia (1855-1905) [37]

Tra il 1905 e il 1915 le ferrovie subirono un netto aumento in termini di utilizzo sia da parte di persone con un incremento del 17,6% (viagg./km) sia nella movimentazione delle merci con un +40,5% (tonn./km). Questo andamento positivo continuò negli anni che separarono le due guerre, infatti tra il 1920 e il 1940 si registrò una crescita pari a tre volte nell'utilizzo civile e di 2,4 volte nel trasporto merci<sup>2</sup>. Alla vigilia della Seconda guerra mondiale la rete ferroviaria italiana era lunga in totale 26.000 km di cui le FS possedevano 17.000 km e 6.000 km erano in concessione. Al termine del secondo conflitto mondiale la rete nazionale si attestò sulla conformazione odierna. [33]

<sup>2</sup>Il trasporto merci iniziò a subire la concorrenza dell'autotrasporto.

### 3 LE MONOROTAIE

Per definizione una monorotaia rappresenta un convoglio che viaggia su un singolo binario e la loro storia ha inizio nel 1821 quando Henry Palmer realizzò due monorotaie in legno con cabine trainate da un cavallo. La prima serviva per trasportare alimenti da un magazzino fino ai pontili dell'arsenale di Londra mentre la seconda trasportava materiali fino ad una fabbrica di mattoni. Queste rappresentarono la base per la prima monorotaia adibita a trasporto passeggeri inaugurata il 25 giugno 1825 [38]. Nel 1876 alla United States Centennial Exposition a Philadelphia venne introdotta la prima monorotaia a vapore ideata dal generale Roy Stone (Figura 3.1). Nello stesso anno fu proposta una monorotaia che collegasse la città di Sonoma con la San Pablo Bay in California lunga 7 miglia ( $\approx 11,6$  km) di cui però furono realizzati solo 3,5 miglia ( $\approx 5,6$  km) che rimasero in funzione per un solo anno [4].



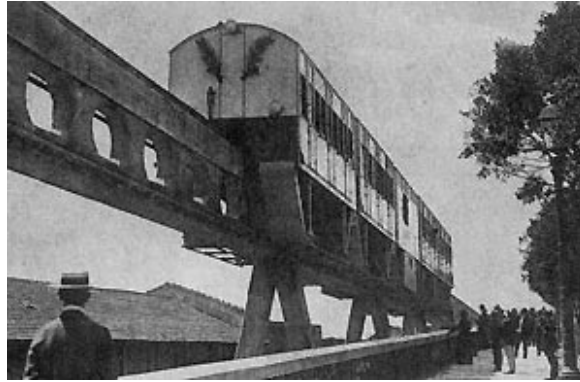
**Figura 3.1:** *Monorotaia Philadelphia Centennial* [2]

Fino a questo momento tutte le monorotaie trattate presentavano le carrozze a cavallo del binario e la struttura portante in legno, ma nel 1886 a Greenville in New Jersey fu presentata la *Enos Electric Railway* la prima monorotaia sospesa e la prima con struttura in ferro. Questa fu di ispirazione per l'ingegnere Eugen Langen di Colonia che nel 1901 realizzò la *Wuppertal Schwebebahn* ovvero monorotaia sospesa (Figura 3.2)(Capitolo 3.2). [4]



**Figura 3.2:** *Monorotaia Wuppertal Schwebebahn* [3]

Tredici anni dopo, nel 1914 a Genova in occasione dell'Esposizione Internazionale di Igiene, Marina e Colonie venne realizzata una monorotaia che potremmo definire una prima antenata delle monorotaie ALWEG (Capitolo 3.1), ovvero con carrozza a cavallo del binario. Quest'ultima era costituita da una locomotiva elettrica posizionata al centro del convoglio, affiancata da quattro carrozze per i passeggeri<sup>3</sup>, due in testa e due in coda. La linea collegò il luogo dell'Esposizione con una piazza cittadina e rimase in uso per un paio di anni per poi essere demolita (Figura 3.3) [4].

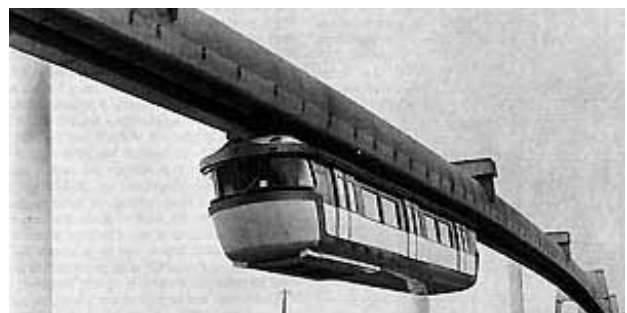


**Figura 3.3:** 1914 - Monorotaia di Genova [4]

Concluso il secondo conflitto mondiale e con la maggiore popolarità e affidabilità delle automobili, le monorotaie affrontarono un periodo di crisi. Nonostante ciò la ricerca e lo studio per avere dei modelli sempre migliori ha permesso nei nuovi veicoli progettati l'utilizzo di nuovi materiali. Per esempio si iniziarono a realizzare le travi di sostegno in calcestruzzo armato e ad utilizzare ruote in gomma che permettevano un'aderenza maggiore e diminuivano il rumore [3]. Tra la fine degli Anni '50 e gli inizi degli Anni '60 vennero realizzate delle monorotaie che posero le basi delle monorotaie odierne. Nel luglio del 1957 a Fuhlingen in Germania fu realizzata la prima monorotaia ALWEG (Capitolo 3.1) a grandezza naturale<sup>4</sup> e, solo un anno dopo, nel 1958 fu costruita la prima monorotaia SAFEGE (Capitolo 3.2) [4].



(a)



(b)

**Figura 3.4:** Monorotaie ALWEG (a) e SAFEGE (b) [4]

<sup>3</sup>Per la prima volta le carrozze avevano le stesse dimensioni di quelle ferroviarie.

<sup>4</sup>Nel 1952 ne fu realizzato un modello in scala per utilizzarlo come tester.

Assecondando le spinte date negli anni precedenti, nel 1959 venne inaugurata la monorotaia a Disneyland e nel 1961 la monorotaia per l'Esposizione Internazionale del Lavoro - Torino 1961 a Torino (Figura 3.5a), entrambe di tipo ALWEG. L'anno seguente a Seattle fu inaugurata la prima monorotaia con due binari, uno per senso di marcia e nel 1964 in Giappone venne costruita la Tokyo-Haneda (Figura 3.5b) che rappresenta il primo esempio di linea che integra il sistema ALWEG e presenta anche scambi tra binari<sup>5</sup> [4].



(a)



(b)

**Figura 3.5:** Monorotaie di Italia '61 (a) e la Tokyo-Haneda (b) [4]

Oggigiorno le monorotaie moderne, per la maggior parte dei casi, rappresentano un'evoluzione delle strutture antecedenti mantenendo, però, i principi base di funzionamento.

### 3.1 Monorotaie a sella

Le monorotaie a sella sono monorotaie dove il convoglio si trova al di sopra della rotaia la quale rappresenta il supporto per le carrozze. Questa tipologia di monorotaia è stata ed è tutt'ora l'opzione più perseguita a livello mondiale. A livello strutturale è possibile individuare tre categorie di monorotaie a sella che si differenziano principalmente per la forma e il materiale del binario. Di seguito si riporta un approfondimento per ogni tipologia di monorotaia.

**ALWEG** La monorotaia tipo ALWEG (Axel Lennart WEnner-Gren) è una monorotaia sospesa ideata in Germania ed originariamente era stata pensata come un sistema di collegamento ad alta velocità. Nel 1957 a Fühlingen, in seguito a studi approfonditi, si arrivò alla realizzazione e alla prova del primo modello a grandezza naturale (Figura 3.6) [5].

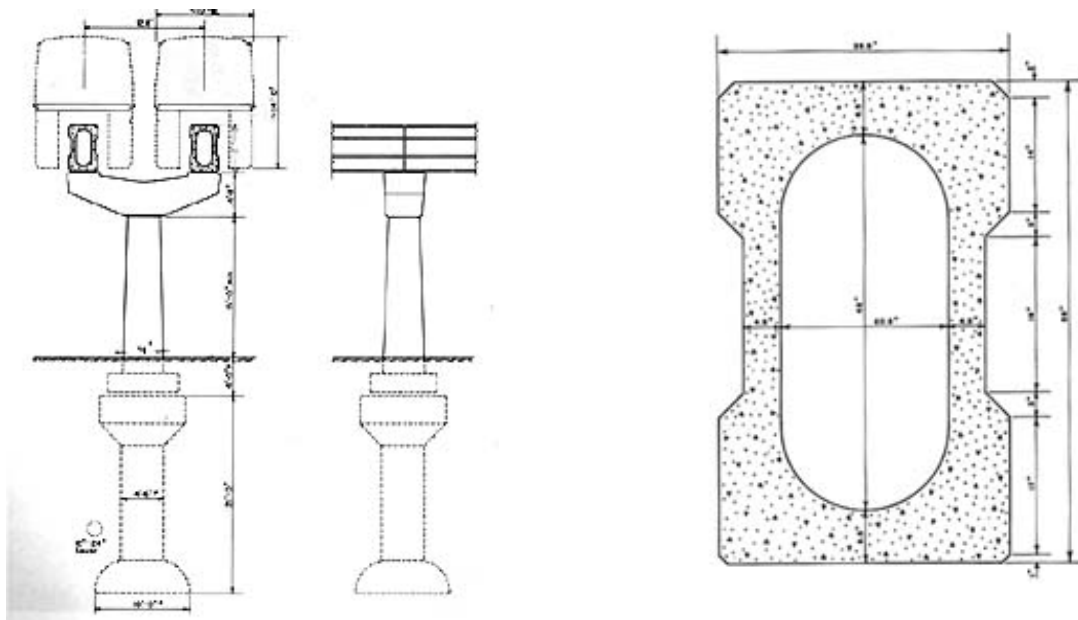
---

<sup>5</sup>La linea Tokyo-Haneda è tutt'oggi operativa.



**Figura 3.6:** *Prima monorotaia ALWEG [5]*

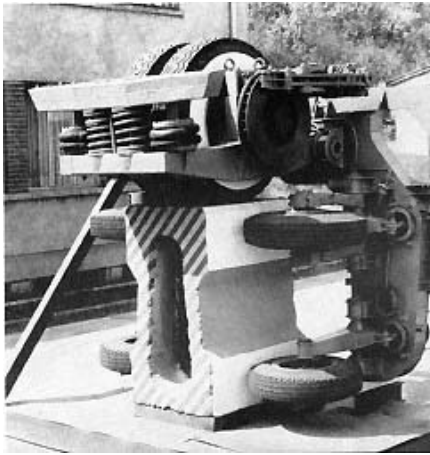
Le prime monorotaie ALWEG erano costruite con un sistema trave-colonna (Figura 3.7) con fondazioni costituite o da pali o da un plinto. Le colonne portanti erano delle colonne a forma di T in calcestruzzo armato con un'altezza di 24 piedi ( $\approx 7.30$  m) di cui 4 piedi ( $\approx 1.20$  m) interrati. La luce disponibile tra il terreno e i bracci a sbalzo era di 15 piedi ( $\approx 4.60$  m), mentre tra il binario e il terreno era di circa 20 piedi ( $\approx 6.10$  m). Il binario era costituito da una trave cava a I in calcestruzzo precompresso di 3' ( $\approx 0.90$  m) in larghezza e 5' ( $\approx 1.50$  m) in altezza. Il percorso era costituito da travi con una luce di 90 piedi ( $\approx 27.40$  m), con un massimo di 100' ( $\approx 30.50$  m), per i tratti rettilinei, di 75 piedi ( $\approx 22.85$  m) per i tratti curvilinei con raggio maggiore di 600' ( $\approx 183$  m) e di 60 piedi ( $\approx 18.30$  m) per i tratti con raggio minore di 300' ( $\approx 91.45$  m) [6].



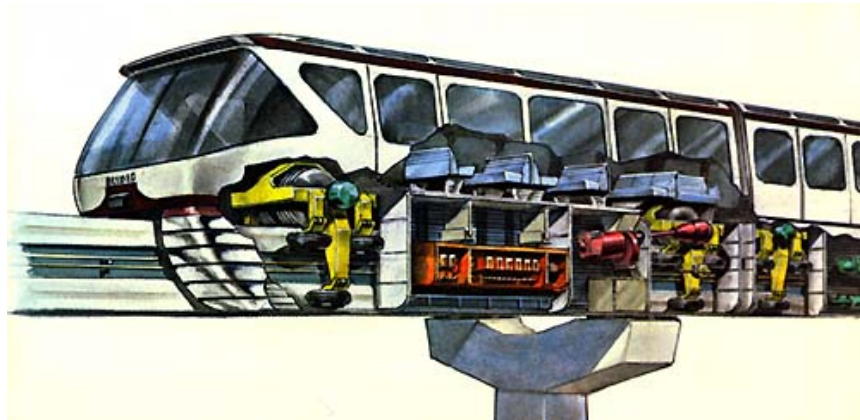
**Figura 3.7:** *Struttura portante ALWEG [6]*



Il sistema di sospensione e di propulsione era formato da due carrelli, uno in testa e uno in coda della carrozza, con una coppia di pneumatici sopra alla trave che servivano per il moto del convoglio e due coppie di pneumatici, una per lato, che servivano a stabilizzare il tutto durante il viaggio [7].



**Figura 3.8:** *Sistema di propulsione ALWEG [7]*



**Figura 3.9:** *Diagramma del design dell'ALWEG [7]*

Sul suolo italiano uno degli esempi più importanti della tipologia ALWEG è stata la monorotaia di Italia '61 a Torino (Figura 3.10a), costruita per l'Esposizione Internazionale del Lavoro. Il tragitto (Figura 3.10b) lungo circa 1800 m era costituito da un singolo binario e collegava il Palazzo del Lavoro (stazione sud) con l'attuale Casa Ugi (stazione nord). [8]



(a)



(b)

**Figura 3.10:** *Monorotaia Italia '61* [8]

Esempi di monorotaie moderne che hanno adottato le caratteristiche della ALWEG sono la *Bombardier Innovia Monorail 200*, la *Bombardier Innovia Monorail 300*, la *Scomi Rail* e la *Hitachi*.



(a) *Bombardier Innovia Monorail 200* [39]



(b) *Bombardier Innovia Monorail 300* [40]

**Figura 3.11:** *Monorotaie Bombardier Innovia*





(a)

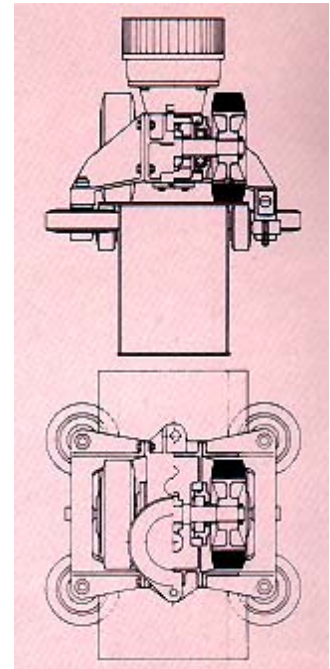


(b)

**Figura 3.12:** Monorotaie Scomi (a) [9] e Hitachi (b) [10]

**STEEL BOX BEAM** Le monorotaie *steel box beam*, nate negli Anni '60 a Thun in Svizzera, hanno la caratteristica di avere il binario costituito da una trave scatolare in acciaio. Questa tipologia di monorotaia originariamente non prevedeva la trave scatolare, ma una coppia di travi in acciaio a I [41]. Un esempio di questa tecnologia è la Von Roll Monorail in cui è utilizzata una trave scatolare di dimensioni 832x700 mm su cui si trova una flangia di 940 mm che sporge per ogni lato del binario di 120 mm (Figura 3.13). Il convoglio è tenuto saldamente sul binario grazie a una coppia di ruote di sollevamento per ogni carrello. Le caratteristiche del tracciato sono per i rettilinei la luce massima raggiungibile della trave scatolare è di 30 m e di 23 m nei tratti curvilinei con raggio di curvatura di 20 m. Le pendenze limite sono 4.6% in salita e di 6.6% in discesa. La struttura di supporto dei binari è anch'essa in acciaio e prevede colonne di dimensioni 690x250 mm con altezza massima di 5.5 m dal suolo. [42]

**T INVERTITA** La caratteristica principale di questo tipo di monorotaie risiede nella forma a T invertita del binario. Questa forma ha uno scopo ben preciso, infatti, la parte verticale dell'elemento è quella adibita al passaggio delle ruote di guida mentre le due ali al fondo devono solamente portare le ruote di sostentamento del convoglio. Questa tipologia di monorotaia è prevalentemente utilizzata in piccoli parchi divertimento e in alcuni zoo. [43]

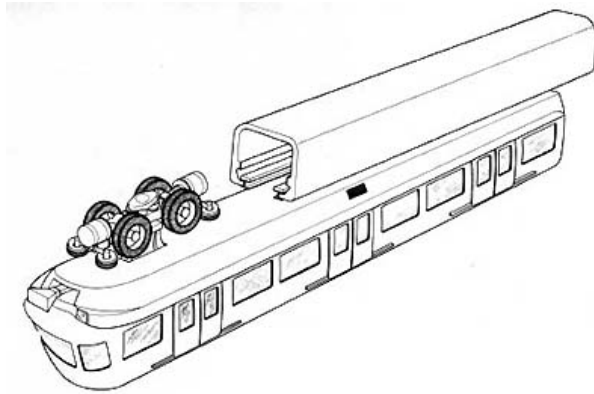


**Figura 3.13:** Trave e carrello Von Roll Monorail

### 3.2 Monorotaie sospese

Le caratteristica principale delle monorotaie sospese è quella di avere il convoglio appeso al di sotto del binario, la cui forma ha permesso di avere diverse tipologie di monorotaie. Di seguito si riporta un approfondimento sulle diverse conformazioni.

**SAFAGE** Il sistema SAFAGE (Société Anonyme Française d'Etude de Gestion et d'Entreprises) è nato in Francia negli Anni '60 con l'idea di convertire il carrello della metro di Parigi in uno da cui le carrozze potessero essere sospese. Il progetto prevede che il carrello corra all'interno di una trave scatolare mentre il convoglio sia sostenuto da un sistema sospensione a pendolo con molle pneumatiche. Caratteristica peculiare di questo sistema è che avendo un binario coperto, il carrello è protetto dagli agenti atmosferici avversi. [11]



**Figura 3.14:** *Monorotaia SAFAGE [11]*

Oggigiorno le monorotaie tipo SAFAGE sono principalmente utilizzate in Giappone dove si trovano la monorotaia di Shonan, aperta nel 1970 e costituita da una singola trave scatolare, e la monorotaia di Chiba City. Quest'ultima, aperta nel 1988, rappresenta la monorotaia sospesa più lunga del mondo con una lunghezza di oltre 40 km ed è l'unica con un sistema a due travi scatolari affiancate. [12]



(a)



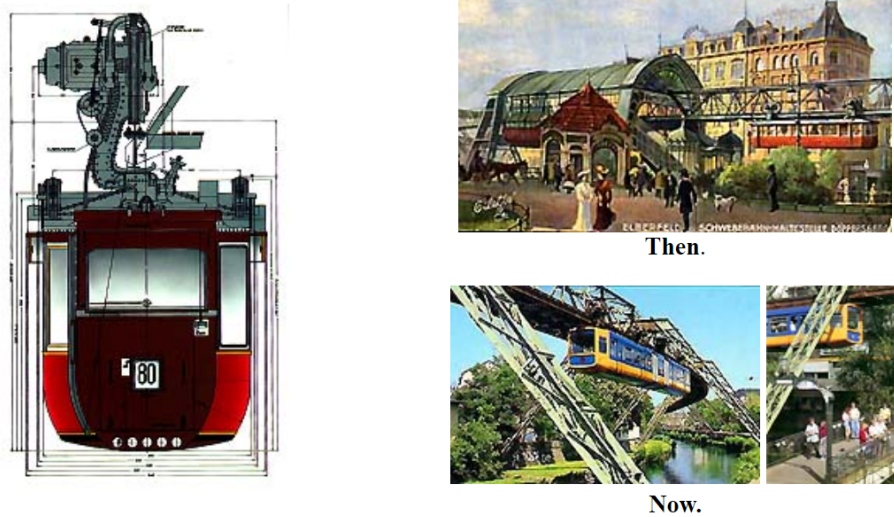
(b)

**Figura 3.15:** *Monorotaie di Shonan (a) e di Chiba City (b) [12]*

**TRAVE A I** Le monorotaie a trave a I, a livello industriale, sono le più diffuse grazie alla loro semplicità nel design e all'utilizzo dei comuni profili metallici a I. In ambito di

trasporti pubblici, invece, non sono riuscite mai ad affermarsi in modo concreto appearing principalmente in fiere o parchi divertimento. [44]

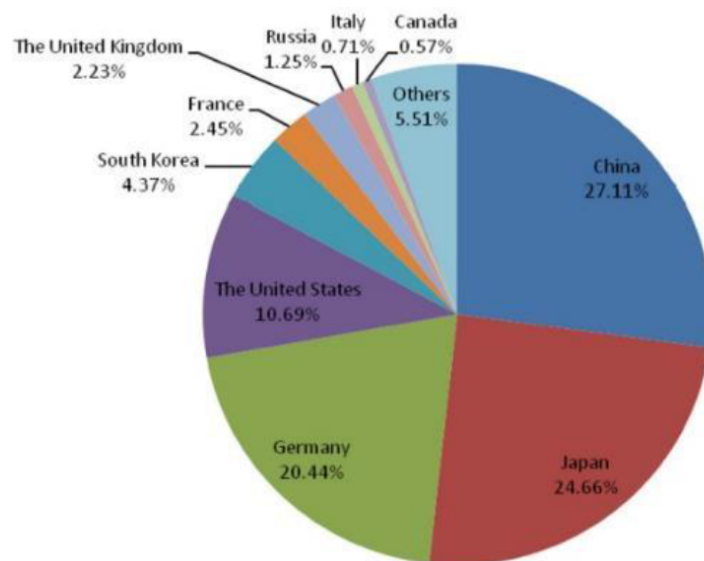
**DOPPIA FLANGIA** La monorotaia a doppia flangia è in utilizzo solo sulla Wuppertal Schwebebahn. Inaugurata nel 1901 questa monorotaia è ancora in funzione e la sua caratteristica è quella di possedere due carrelli con ruote a doppia flangia accoppiate per carrozza che corrono su una singola rotaia in acciaio. [13]



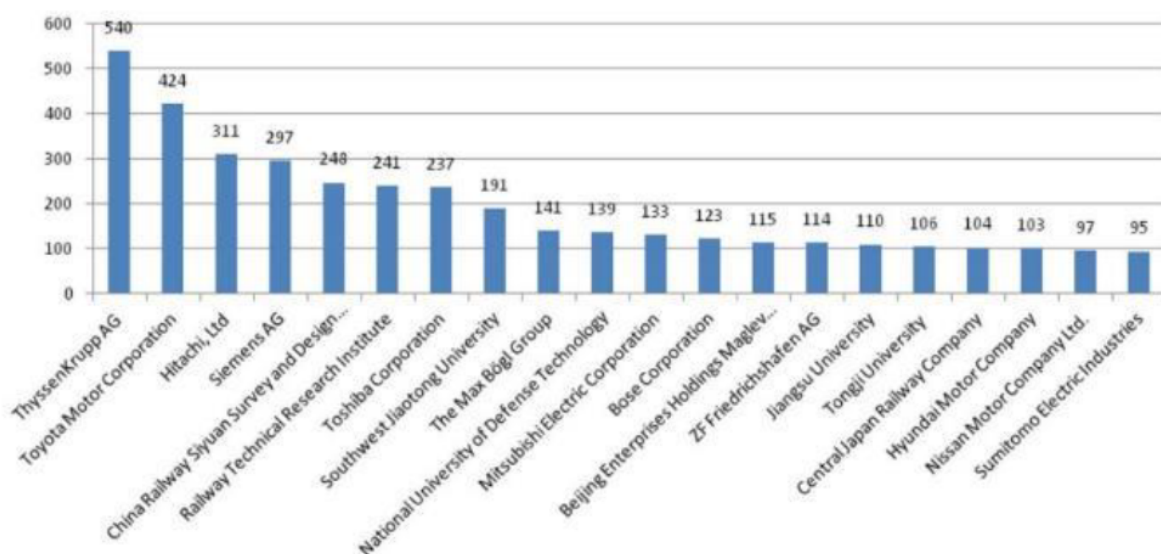
**Figura 3.16:** *Caratteristiche Wuppertal Schwebebahn* [13]

### 3.3 Monorotaie a levitazione magnetica

Le monorotaie a levitazione magnetica differiscono dalle monorotaie classiche per la metodologia di propulsione del convoglio. Solitamente le carrozze sono elettrificate e viaggiano principalmente sul binario grazie a delle ruote gommate, mentre quelle a sospensione magnetica sfruttano il fenomeno fisico della repulsione elettromagnetica sia per far sollevare il convoglio e sia per farlo muovere. L'utilizzo di questa tecnologia permette di non avere un contatto diretto con il binario rendendo il sistema più efficiente e silenzioso, inoltre, il tutto funziona anche in caso di condizioni meteo avverse come eventuali nevicate. Le monorotaie a levitazione magnetica sono principalmente utilizzate per collegamenti ad alta velocità, ma ciò non esclude veicoli che raggiungono velocità più contenute come la linea Linimo in Giappone (Appendice A). Lo studio e i brevetti di questa tecnologia sono principalmente riconducibili a poche Stati, quali Cina, Giappone e Germania, in quanto più costosa della tradizionale locomozione su rotaia.



**Figura 3.17:** *Primi dieci Stati per numero di brevetti MAGLEV [14]*

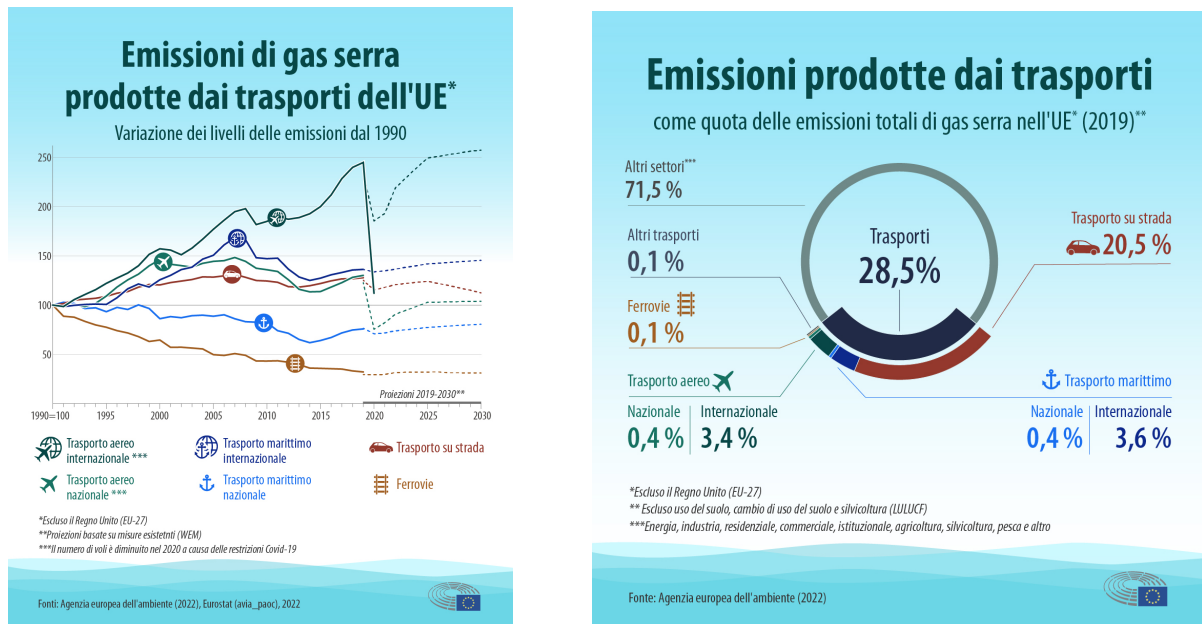


**Figura 3.18:** *Prime dieci società per brevetti MAGLEV [14]*

Il funzionamento e le tipologie di queste monorotaie saranno approfonditi nel capitolo seguente.

## 4 CENNI SUI TRASPORTI MAGLEV

Al giorno d'oggi il sistema dei trasporti in ambito civile deve confrontarsi con numeri sempre maggiori di utenti a cui bisogna fornire un servizio adeguato. Le principali metodologie di spostamento sono via terra, via aerea e via mare. Prendendo in considerazione solo i trasporti terrestri per garantire spostamenti più sostenibili a livello ambientale, un maggiore utilizzo del sistema ferroviario garantirebbe una minore produzione di gas serra.



**Figura 4.1:** Emissioni prodotte dai trasporti nell'Unione Europea (1990-2019) [15]

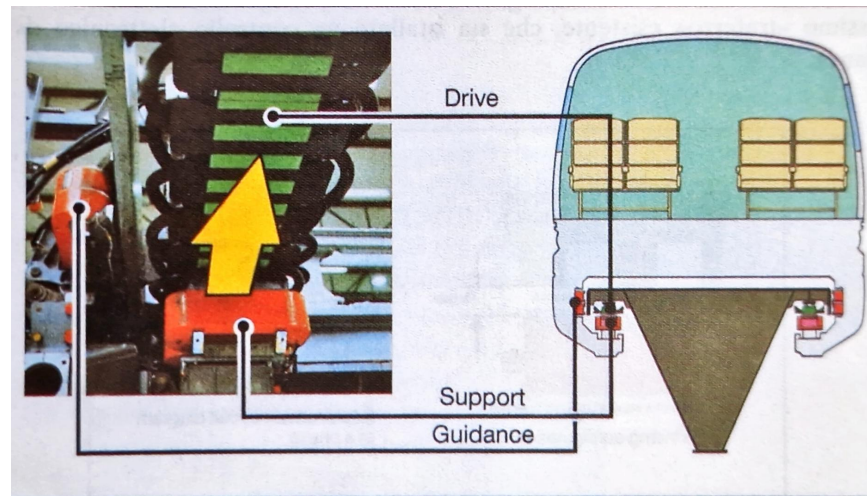
Quest'ultimo può essere reso ancora più efficiente dall'utilizzo di una rete a levitazione o sustentazione magnetica. Infatti, questo sistema ha un basso impatto ambientale e presenta una maggiore redditività. Inoltre, i convogli non presentano contatti con i componenti fissi della linea, nemmeno per il prelievo dell'energia necessaria al moto e ciò porta a diversi vantaggi, quali:

- A parità di prestazioni con i treni tradizionali, una minor richiesta di energia data l'assenza di resistenza meccanica e la ridotta resistenza aerodinamica, con conseguente aumento dell'accelerazione e della decelerazione dei convogli;
- La possibilità di raggiungere velocità maggiori ( $\approx 500$  km/h di velocità massima);
- Una produzione di inquinamento acustico inferiore ai treni classici. [16]

Questa assenza di contatto tra le parti meccaniche è dovuta all'utilizzo di motori elettrici lineari in cui la parte attiva, gli avvolgimenti statorici, sono posti lungo la linea mentre la parte indotta è posizionata sui convogli. Ad oggi sono state sviluppate principalmente due soluzioni che hanno gli stessi principi di riferimento, ma differiscono sulla realizzazione

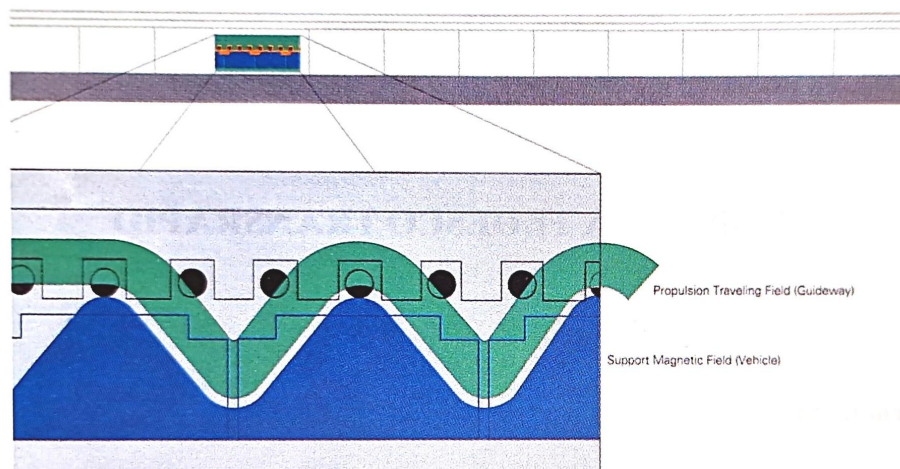


pratica a causa di differenza tecniche. Il sistema TRANSRAPID è una tipologia di convoglio a levitazione magnetica implementato in Germania in cui la sustentazione, la guida e la propulsione dei veicoli sono garantiti da motori sincroni lineari che funzionano sia in trazione che in frenata. [16]



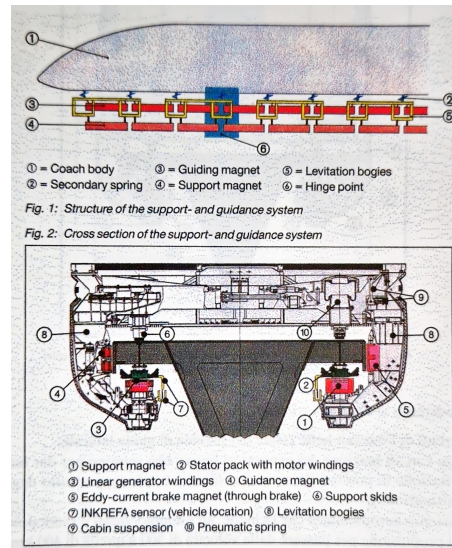
**Figura 4.2:** *Elementi del sistema Transrapid [16]*

La sospensione è generata da un sistema denominato EMS (Electro Magnetic Suspension) formato da elettromagneti convenzionali e da un circuito ferromagnetico che creano delle forze di attrazione tra la parte fissa e quella mobile<sup>6</sup>. La propulsione, invece, è fornita da un motore a statore lungo chiamato LSM (Linear Synchronous Motor) che genera un'onda di campo magnetico direzionata orizzontalmente che permette lo spostamento del veicolo. [16]



**Figura 4.3:** *Principio di funzionamento del motore lineare del Transrapid [16]*

<sup>6</sup>Nel caso del Transrapid viene esercitata un'attrazione a causa del posizionamento delle parti, ma solitamente si vengono a creare forze di repulsione.



**Figura 4.4:** Particolari del sistema di propulsione del Transrapid [16]

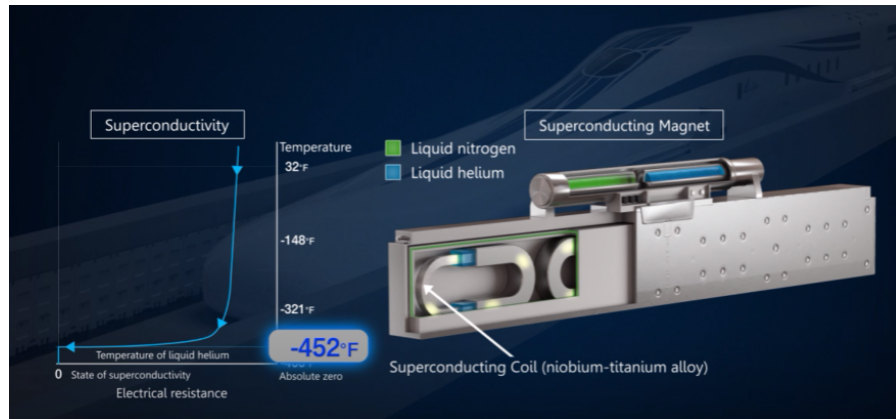
Questa soluzione non è stata ancora realizzata in Germania per motivi economici, ma si può trovare a Shanghai un esempio di Tansrapid che collega la Città con il suo aeroporto coprendo una distanza di 30km in meno di 8 minuti. [16]



**Figura 4.5:** Transrapid di Shanghai [17]

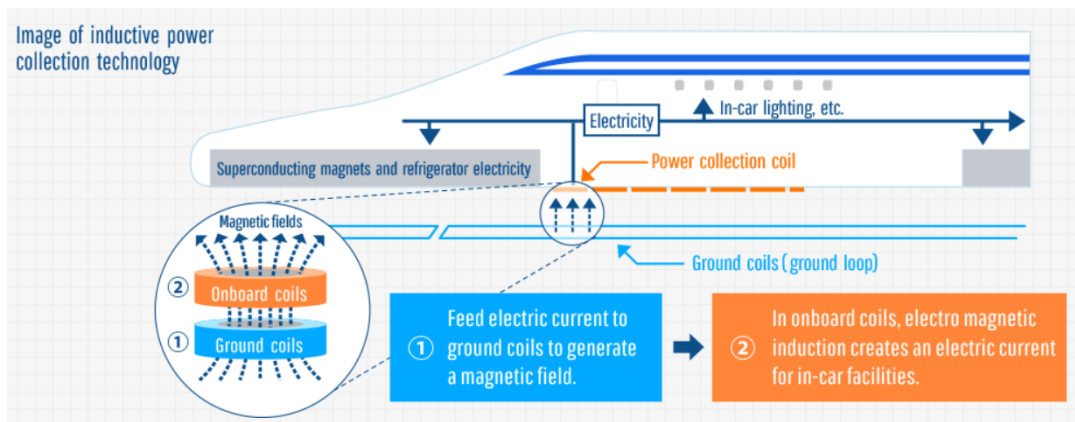
Il sistema MAGLEV di provenienza giapponese, come precedentemente detto, presenta gli stessi principi di funzionamento di quello tedesco, ma necessita dell'utilizzo di superconduttori che rappresentano degli elementi dei circuiti dentro i quali circolano correnti elevatissime sotto tensioni estremamente basse dando luogo a campi magnetici molto intensi. Questo fatto è dovuto all'utilizzo di un traferro<sup>7</sup> maggiore rispetto al Transrapid tedesco. [16]

<sup>7</sup>Il traferro è l'intervallo, generalmente costituito d'aria, che intercorre tra la parte fissa e la parte mobile interrompendo la continuità del materiale ferromagnetico.



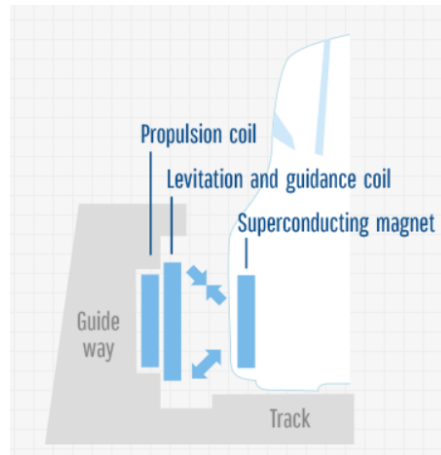
**Figura 4.6:** *Magneti superconduttori del Maglev [18]*

Il sistema che permette la levitazione è denominato EDS (Electro Dynamic Suspension) che si basa su un'azione elettrodinamica che si instaura tra i superconduttori e le bobine presenti sulla via di guida. Una criticità presente in questo sistema è rappresentata dalla necessità di rotaie sulla via di guida e ruote sui convogli da utilizzare alle basse velocità poiché le forze di repulsione e attrazione che permettono la levitazione del veicolo si innescano solo a velocità superiori ai 150 km/h. [16]



**Figura 4.7:** *Sistema EDS [18]*



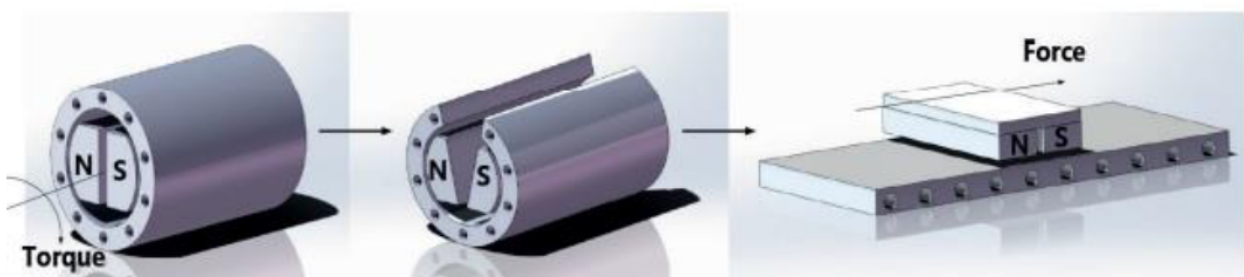


**Figura 4.8:** Metodo di propulsione del Maglev [18]

Entrambe le soluzioni esposte sono tecnicamente valide e presentano punti di forza, ma anche alcune scelte poco vantaggiose che posso portare all'innalzamento dei costi. Il tutto dipende anche dalle caratteristiche geografiche che caratterizzano i due Paesi.

#### 4.1 Il motore lineare

Il motore lineare è un motore elettrico che può essere rappresentato come lo srotolamento di un classico motore rotativo le cui parti fissa e mobile sono distese su un piano anziché rotanti e avvolte (Figura 4.9). Questo permette di ottenere un motore costituito da una parte fissa, il primario<sup>8</sup>, su cui scorre il secondario<sup>9</sup>. Data questa conformazione distesa il primario non genererà più un campo magnetico rotativo che produce una coppia, ma un campo che garantisce una spinta orizzontale. [14][19]

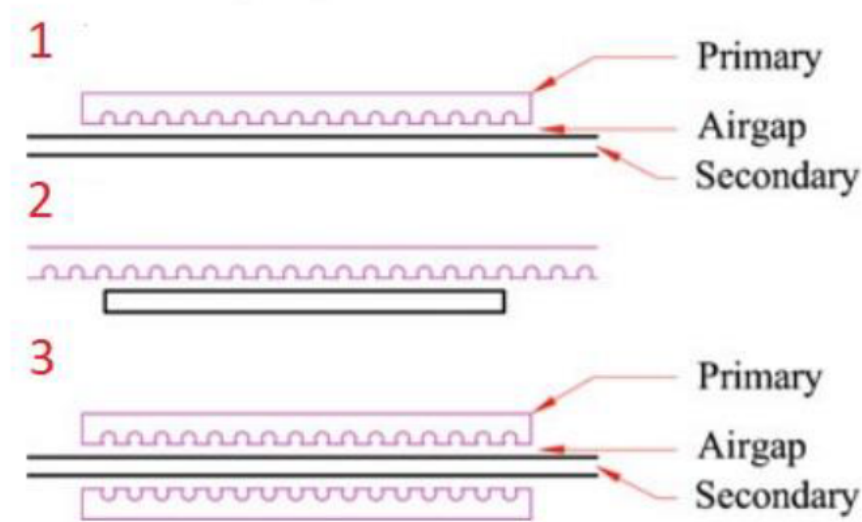


**Figura 4.9:** Da motore elettrico rotativo a motore lineare [14]

**LIM - Motore Lineare ad Induzione** I motori lineari ad induzione sono utilizzati per sistemi a levitazione a bassa-media velocità e sono caratterizzati da tre diverse configurazioni. Queste differiscono per la posizione di installazione del primario e del secondario che possono essere montati sul veicolo o sulla guidovia e per la lunghezza del primario (Figura 4.10). [14]

<sup>8</sup>Il primario corrisponde allo statore del motore rotativo.

<sup>9</sup>Il secondario corrisponde al rotore del motore rotativo.



**Figura 4.10:** Le tre configurazioni possibili di un LIM [14]

La propulsione del veicolo è data dall'interazione tra il campo magnetico in movimento generato dal primario e quello prodotto dalle correnti indotte al secondario. Le variazioni di corrente fornita al primario permette la regolazione dell'intensità della spinta generata. I LIM sono facilmente costruibili e relativamente economici, ma presentano una grande criticità relativa alla perdita di correnti parassite. Questa perdita è abbastanza elevata e genera una riduzione di efficienza e di densità della forza di propulsione. [14]

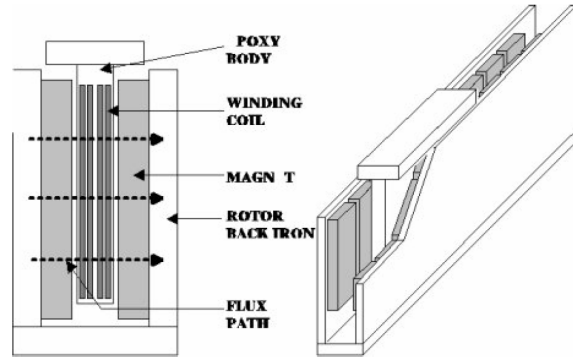
**LSM - Motore Sincrono Lineare** Nel caso dei motori sincroni il funzionamento è simile a quello dei LIM, ma garantisce più efficienza ed è per questo che è solitamente utilizzato per i convogli a sospensione magnetica ad alta velocità. A differenza dei motori ad induzione, nel caso dei LSM il treno viaggia in sincrono con il campo magnetico in movimento e prevede l'utilizzo di o magneti permanenti o elettromagneti dislocati lungo il binario con polarità alternate [14]. Le tipologie di motori LMS sono sostanzialmente tre:

- **STRUTTURA MONOLATERA:** questa struttura è costituita dal primario formato da una pista di magneti mentre il secondario presenta gli avvolgimenti collegati all'alimentazione (Figura 4.11a). Il tutto rappresenta una geometria semplice, ma presenta un punto debole dato dall'asimmetria del campo magnetico che genera forze di attrazione che possono superare quelle di spinta del convoglio; [19]
- **STRUTTURA BILATERA:** questa struttura è stata pensata per compensare le forze di attrazione generate dall'asimmetria del campo magnetico del motore a struttura monolaterale. La soluzione è stata quella di adoperare due motori posizionati in modo speculare per ottenere una guida a U in cui può scorrere il secondario (Figura 4.11b). Quello che risulta da questa conformazione è un sistema equilibrato. Criticità derivante dalla forma ad U è la difficoltà di smaltire il calore prodotto; [19]

- **STRUTTURA CILINDRICA:** questa struttura è la più favorevole in termini di simmetria del campo magnetico e di dispersione del calore, è però sfavorita sulla forza prodotta a causa delle limitate dimensioni dei magneti. Il sistema prevede che il primario costituisca l'avvolgimento mentre il secondario l'albero con i magneti. [19]



(a)



(b)

**Figura 4.11:** *Struttura monolaterale (a) e bilaterale (b) [19]*

## 5 CASI STUDIO

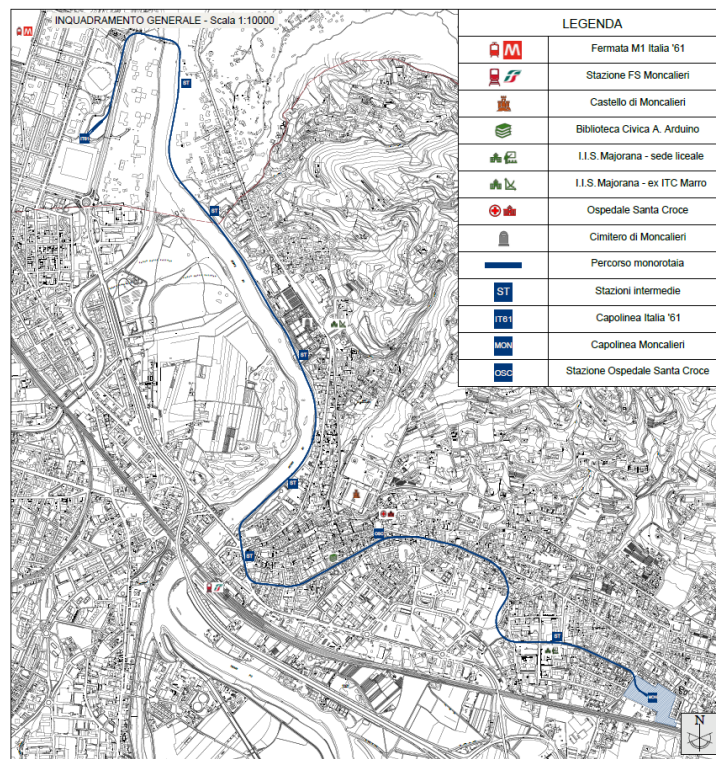
### 5.1 Finalità del progetto

In un contesto altamente urbanizzato dov'è presente una città metropolitana la quale influenza la vita dei comuni nel suo intorno, la questione del collegamento da e verso il grande centro abitato è sempre stata molto delicata. Nel caso in considerazione le scelte di spostamento tra Moncalieri e Torino sono molto esigue in quanto si utilizzano o il proprio veicolo o i mezzi pubblici. Entrambe le soluzioni presentano punti a favore e punti contro poiché con il proprio veicolo si ha più libertà di raggiungere località più periferiche, ma al contempo il livello di emissioni prodotte è maggiore. Mentre l'utilizzo del servizio di linea pubblico permette sì di ridurre la quantità di emissioni rispetto alle automobili, ma è un servizio che dipende fortemente dalla qualità da esso fornita e nel caso della ferrovia è poco flessibile in termini di orario. A tal proposito, con questo elaborato si cerca di fornire un'alternativa il più possibile ecologica che però riesca a garantire allo stesso tempo un servizio che non gravi sul traffico cittadino e che raggiunga i punti più rilevati. La soluzione adottata è rappresentata da una monorotaia sopraelevata a levitazione magnetica che colleghi l'area di Italia '61 con la città di Moncalieri. I motivi che hanno portato alla scelta di una monorotaia a levitazione magnetica rispetto ad una classica sono facilmente individuabili nei seguenti punti:

- Levitazione: questo fenomeno fisico porta diversi vantaggi all'intero sistema quali la possibilità di non avere un allineamento perfetto dei binari e la riduzione delle vibrazioni e della rumorosità. Inoltre, la mancanza di contatto con la guidovia permette l'assenza di attrito con i binari, un minore deterioramento di questi e la possibilità di utilizzo anche in condizioni meteorologiche avverse; [19]
- Alta velocità: i sistemi MAGLEV possono garantire velocità superiori anche ai 500 km/h; [19]
- Efficienza operativa: rispetto alle modalità di trasporto già esistenti, i MAGLEV sono più economici, rapidi e non congestionati. Inoltre, presentano una vita di utilizzo maggiore; [19]
- Efficienza energetica: questi sistemi, a parità di lunghezza di percorso, richiedono per singolo passeggero una quantità di energia 50% inferiore in confronto ad un aereo commerciale; [19]
- Costi di manutenzione: la mancanza di contatto diretto con i binari, la conseguente ridotta usura e la distribuzione uniforme dei carichi rispetto ai convogli classici in cui è concentrata sulle ruote garantiscono dei bassi costi di manutenzione; [19]
- Basso impatto ambientale: i convogli a levitazione magnetica consumano energia elettrica, ma allo stesso tempo producono  $CO_2$ . Anche se l'energia necessaria alla propulsione fosse di origine fossile, le emissioni prodotte sarebbero inferiori rispetto a quelle prodotte dai mezzi di trasporto convenzionali. Le caratteristiche meccaniche e la fisionomia contenuta dell'intero struttura permettono un basso livello di inquinamento acustico e un limitato impatto visivo rendendo il sistema adatto a zone urbane e suburbane; [19]

- Sicurezza: essendo un sistema automaticamente controllato, si può gestire la velocità dei convogli e la loro distanza dalle guide. Inoltre, la possibilità di scontro tra carrozze lungo le guide è nulla. [19]

Il tragitto pensato collega l'area di Italia '61 a Torino con la città di Moncalieri, ha una lunghezza complessiva di 7.5 km e presenta 9 stazioni totali. Per la maggior parte della sua estensione, il percorso si trova nel comune di Moncalieri snodandosi attraverso le vie della città ad una altezza di 10 m dal piano strada e raggiungendo i luoghi principali, quali la stazione ferroviaria, il cimitero comunale, l'ospedale e le due sedi dell'I.I.S. Majorana. Nel tratto torinese, invece, il capolinea a Italia '61 permette di raggiungere in pochi minuti a piedi la fermata omonima della metro.



**Figura 5.1:** *Tragitto monorotaia*

Per la realizzazione dei progetti preliminari delle tre stazioni si è utilizzato come campione di riferimento la linea Linimo (Aichi Rapid Transit Kyuryo Line), convoglio a levitazione magnetica in uso in Giappone nella prefettura di Aichi vicino alla città Nagoya (Appendice A). La linea Linimo è servita per avere delle misure di appoggio per la progettazione delle stazioni, in termini di dimensioni del convoglio e di conseguenza del binario.

Non solo la tipologia di veicolo è stata pensata a basso impatto ambientale, ma anche le tecnologie ipotizzate per la progettazione delle stazioni vanno incontro a delle tematiche molto importanti. Infatti, si è voluto utilizzare per le strutture portanti delle tecnologie differenti dal classico calcestruzzo armato e dalla carpenteria metallica, preferendo il sistema  $NPS^{\text{®}}_{\text{CORE}}$  (Appendice B) insieme al solaio alveolare. La tecnologia NPS presenta diversi

vantaggi rispetto alle soluzioni più diffuse come una migliore velocità di posa, un basso impatto ambientale e una maggior leggerezza. Anche per quanto riguarda le chiusure verticali e i tamponamenti interni si è optato per delle soluzioni a secco in modo tale da ottimizzare le tempistiche di cantiere e di ridurre l'utilizzo di cemento. La scelta è ricaduta sul sistema in legno Kager contraddistinto dalla possibilità di essere utilizzato sia come elemento autoportante sia come elemento portato e dal fatto di essere prefabbricato. In aggiunta alle scelte tecnologiche adottate si è cercato di utilizzare, per le stazioni, delle geometrie semplici che permettessero un facile orientamento per gli utenti, realizzando dei percorsi il più lineari e diretti possibili.

Per tutti e tre i progetti l'utilizzo di tappeti mobili ha evitato l'eventualità della nascita di barriere architettoniche e allo stesso tempo garantisce una via di fuga in caso di emergenza. Gli ascensori sono stati inseriti solo dove strettamente necessari, come per esempio nella stazione dell'ospedale Santa Croce di Moncalieri.

## 5.2 Analisi del contesto

Il contesto che circonda il percorso della monorotaia è suddivisibile in due tratti; il primo si può definire quello di Italia '61 è contraddistinto dalla bassa edificazione abitativa e dalla presenza di Corso Unità d'Italia, mentre il secondo quello di Moncalieri è densamente costruito soprattutto nella parte centrale e finale del percorso. Entrambi i tratti presentano ognuno a suo modo delle criticità a cui porgere particolare attenzione. Di seguito saranno analizzate separatamente le aree di Italia '61 e di Moncalieri.

### 5.2.1 Area Italia '61

L'area di Italia '61 deve il suo nome all'Esposizione Internazionale del Lavoro - Torino 1961 (Expo 1961) organizzata per il centenario dell'unità d'Italia e conosciuta proprio come Italia '61. Per garantire un luogo adatto dove poter eseguire l'esposizione fu fatta bonificare un'intera area nel quartiere di Nizza Millefonti, zona Sud di Torino. [45]



Figura 5.2: *Plastico di Italia '61* [20]

Le principali attrazioni erano principalmente:

- la monorotaia ALWEG che percorreva per la sua intera lunghezza da Nord a Sud l'area dell'esposizione; [45]
- il Circarama, che era un sistema di proiezione a 360° inventato da Walt Disney; [45]
- l'ovovia che collegava il Parco di Italia '61 con il Parco Europa di Covoretto sulla collina aldilà del Po; [45]
- il Palazzo del Lavoro progettato da Pier Luigi Nervi; [45]
- il Palazzo delle Mostre (oggi Palavela) di Annibale e Giorgio Rigotti. [45]



(a)



(b)

**Figura 5.3:** *Monorotaia Italia '61 (a) [21] e l'ovovia (b) [22]*



(a)



(b)

**Figura 5.4:** *Il Palazzo delle Mostre (a) [23] e il Palazzo del Lavoro (b) [24]*

Di queste bellezze architettoniche, ad esclusione del Palavela che è attualmente ancora in uso come palaghiaccio, non rimane un granché. Il Palazzo del Lavoro è tutt'oggi in piedi



ma abbandonato ormai da anni, mentre della monorotaia rimane solamente un breve tratto di binario e la stazione Sud. Una nota positiva è rappresentata dalla riqualificazione della stazione Nord che oggi è Casa Ugi.

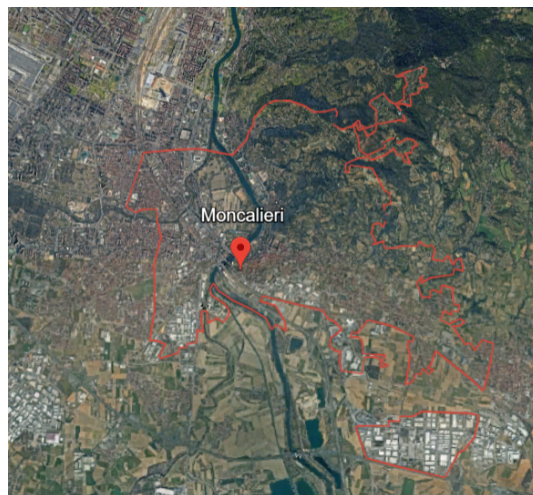


**Figura 5.5:** *Stazione Nord ieri e oggi [21]*

Con il seguente progetto si è cercato di dare una nuova vita alla monorotaia originale di Italia '61, infatti, il capolinea torinese è stato previsto dove c'è la stazione Sud ed il primo tratto di percorso ripercorre il tragitto originario salvo poi curvare all'altezza della Fontana del Parco Italia '61 e attraversare il fiume Po. Le criticità presentate da quest'area sono principalmente la vicinanza all'acqua e alla presenza di un'arteria fondamentale per Torino com'è Corso Unità d'Italia.

### 5.2.2 Città di Moncalieri

Moncalieri è un comune italiano appartenente alla città metropolitana di Torino ubicato lungo il fiume Po e ad oggi inglobato nell'area metropolitana del capoluogo piemontese. Questa sua posizione strategica, infatti, l'ha resa fin dall'antichità un punto nevralgico per il controllo dei flussi provenienti dal Piemonte meridionale e dalla Liguria [46].



**Figura 5.6:** *Comune di Moncalieri [25]*



Il primo insediamento di cui si ha notizia risale al 1228 in seguito all'arrivo degli abitanti di Testona<sup>10</sup> i quali, nell'intento di scappare dall'assalto di Chieri, si rifugiarono sulle pendici della collina sovrastante l'ansa del Po. Lì, su ordine del Conte Amedeo I di Savoia, era stato eretto un piccolo forte che nel XV secolo diventò l'attuale Castello ed intorno al quale nel XVI secolo si sviluppò il borgo antico. Al termine del Cinquecento i possedimenti di Moncalieri comprendevano gli odierni quartieri di Lingotto e Nizza-Millefonti e i comuni di La Loggia e Nichelino fino a Stupinigi [46]. Nel Seicento e nel Settecento la città visse in simbiosi con la vita del Castello, infatti il rinnovamento di quest'ultimo<sup>11</sup> spinse la nobiltà locale e i ceti più abbienti a riqualificare le proprie proprietà, i vigneti e i fondi. In questo periodo vennero edificate raffinate ville sulla collina, palazzi nobiliari nel borgo antico e le mura cittadine iniziarono a perdere la loro funzione difensiva fino ad arrivare ad essere smantellate nel corso del XVIII secolo [47].



(a)



(b)

**Figura 5.7:** Rappresentazioni storiche del Castello (a) e del borgo di Moncalieri (b) [26]

Con l'occupazione napoleonica Moncalieri visse un altro periodo di profonde trasformazioni, infatti vennero attuate grandi opere di ingegneria civile quali il miglioramento del sistema viario, la regolarizzazione dei corsi d'acqua e la ristrutturazione dei ponti esistenti. Tornata sotto il dominio dei Savoia in seguito alla Restaurazione, la città rafforzò il suo rapporto con la più grande Torino con l'inaugurazione nel 1848 del collegamento ferroviario Torino-Moncalieri e con il servizio di omnibus. Agli albori del Novecento, Moncalieri andò in contro a un periodo prospero sotto il punto di vista del turismo che garantì una nuova fonte di reddito oltre alle già consolidate agricoltura e commercio. Durante il XX secolo, inoltre, la parte pianeggiante della città fu interessata anche dallo sviluppo industriale di Torino che permise la nascita di fabbriche, di nuovi quartieri residenziali e di nuovi collegamenti stradali ed inoltre garantì un massiccio flusso di immigrazione in primis dalle province circostanti e poi da tutta Italia, in particolare dal Meridione. Le industrie che si svilupparono si specializzarono in meccanica e nello specifico nella direzione della ricerca, nella prototipazione dell'auto e del design [47]. Oggi Moncalieri ( $\approx 60.000$  abitanti) rappresenta il centro abitato più grande della Città

<sup>10</sup>L'insediamento di Testona risale al X secolo. Ad oggi è una frazione di Moncalieri.

<sup>11</sup>Il Castello di Moncalieri era divenuto *maison de plaisance* della corte sabauda.

Metropolitana di Torino ed il quinto in Piemonte, il suo territorio si estende principalmente ad Est ma anche ad Ovest del Po e comprende il centro storico, la collina con le sue pendici e la pianura ai piedi del borgo antico [47].



**Figura 5.8:** *Castello di Moncalieri oggi [27]*

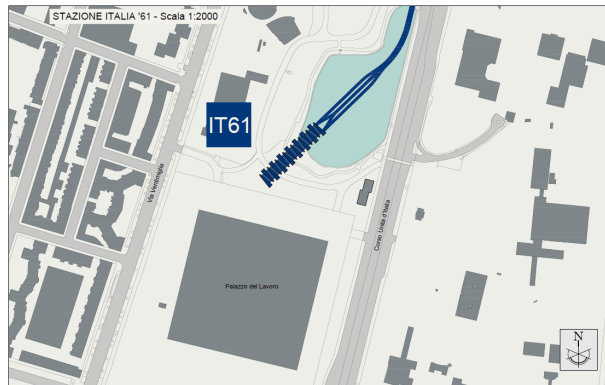
A differenza del tratto torinese, la frazione di monorotaia che attraversa la città di Moncalieri deve interfacciarsi con diverse criticità. Essendo il tratto più lungo e quello che presenta più stazioni (6 su 9) che servono tra l'altro luoghi cruciali come la stazione e l'ospedale, per forza di cose il passaggio attraverso il borgo antico era inevitabile. Per questo motivo le stazioni previste devono avere delle dimensioni ridotte per potersi adattare al contesto, salvo la possibilità di usufruire dei pochi lotti non ancora edificati.

### **5.3 Stazione: Italia '61 - capolinea**

Il capolinea della monorotaia a Torino è stato progettato nella stessa posizione della stazione Sud la quale ha rappresentato la struttura su cui basarsi. Nel complesso, il progetto pensato rispecchia a sommi capi l'esistente, infatti, la struttura è prevalentemente rappresentata dalla banchina. L'elemento caratterizzante che contraddistingue la stazione è l'involucro, se così si può chiamare, che la circonda.



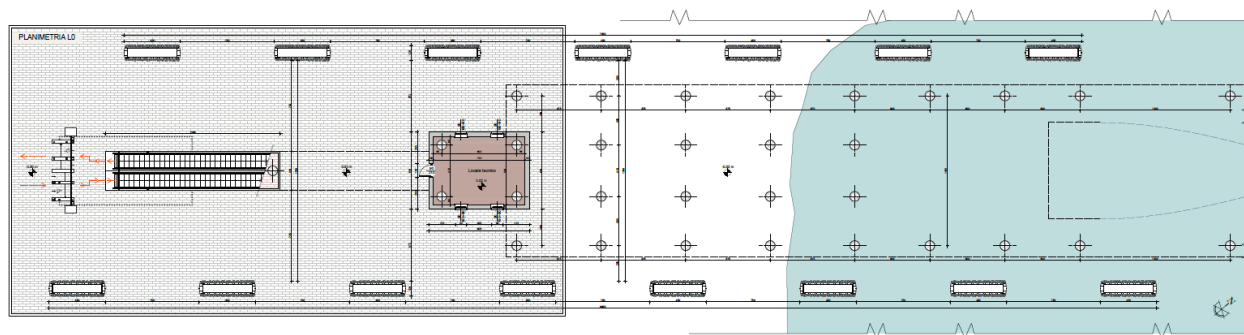
(a)



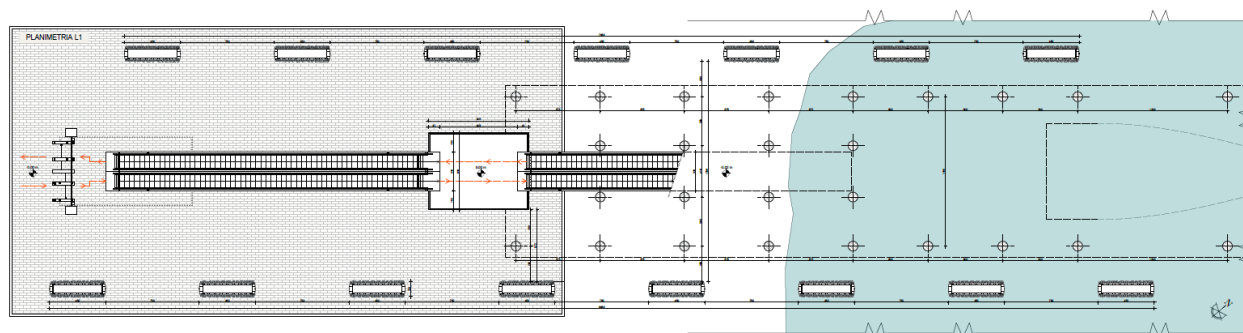
(b)

**Figura 5.9:** Vista aerea area Italia '61 (a) [28] e posizione stazione(b)

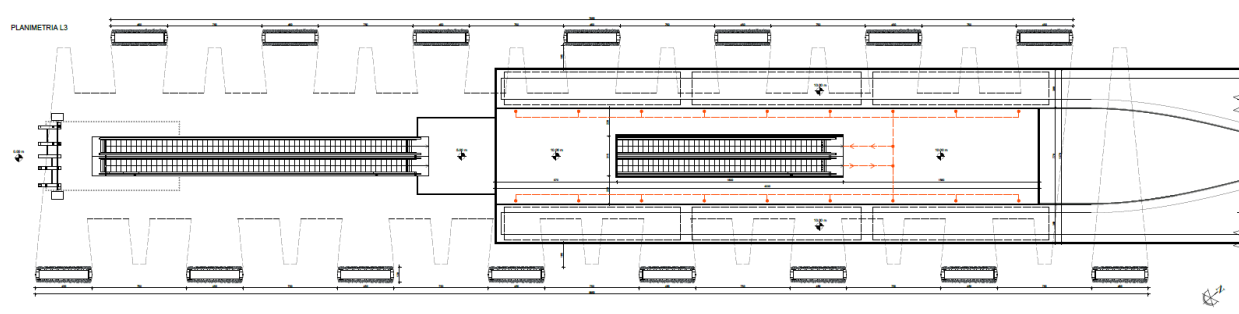
Come precedentemente affermato la forma della stazione è molto semplice e minimalista, infatti è costituita dalla banchina posizionata ad una quota di 10 m a cui ci si arriva tramite due coppie di tappeti mobili paralleli con dislivello di 5 m ciascuno intervallati da un pianerottolo di sbarco. Il percorso che ne deriva per arrivare dal piano di ingresso fino alla banchina è diretto e lineare. Per la struttura portante si è utilizzato il sistema  $NPS^{\text{®}}_{\text{CORE}}$  con pilastri  $PDTI^{\text{®}}$  a sezione circolare di diametro 80 cm, travi  $NPS^{\text{®}}_{\text{CLS}}$  e solaio alveolare. La maglia strutturale dove sono presenti i tappeto mobili è di 675x393 cm, mentre nel resto della struttura è di 600x1195 cm. L'utilizzo del solaio alveolare ha permesso di realizzare luci importanti, riducendo il numero di pilastri.



**Figura 5.10:** Planimetria L0 stazione Italia '61

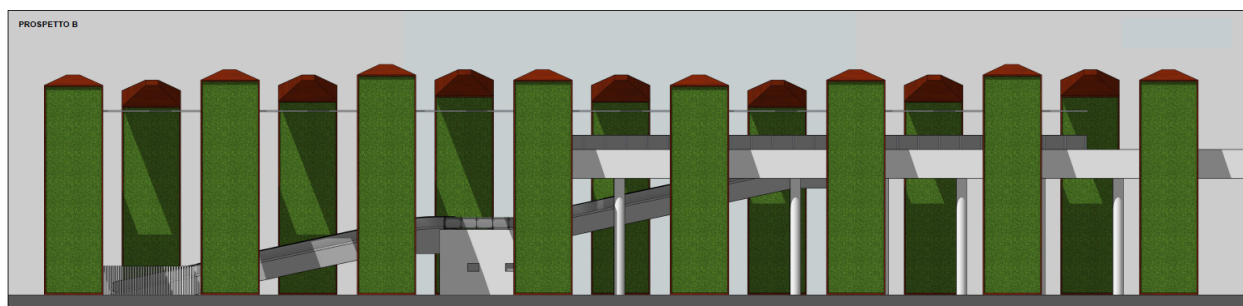


**Figura 5.11:** *Planimetria L1 stazione Italia '61*



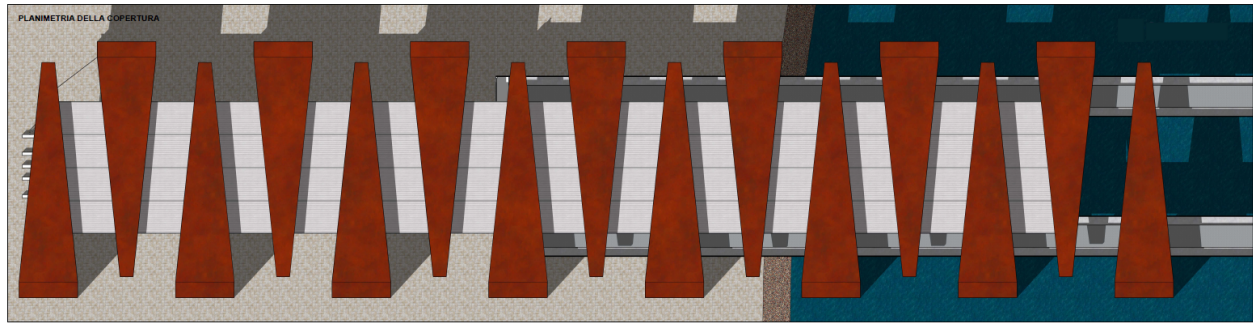
**Figura 5.12:** *Planimetria L2 stazione Italia '61*

Nel complesso la stazione non è chiusa da pareti per evitare che esse vengano imbrattate da graffiti e allo stesso tempo questa apertura non permette di rendere la struttura un luogo in cui le persone senza fissa dimora possano passare la notte. Il compito di protezione dalle intemperie è affidato a delle strutture modulari costituite da setti in carpenteria metallica di dimensioni 4.50x1.20 m ad altezza variabile che si ripetono a intervalli regolari di 7.50 m. A questi setti sono agganciate due travi reticolare per ogni modulo che sostengono le coperture inclinate in acciaio corten. Sul lato esposto a Sud-Est sono presenti otto di questi moduli, mentre sette sono sul lato a Nord-Ovest. Ad essi è agganciata e tesa una copertura in telo per proteggere la banchina e il percorso dagli agenti atmosferici.



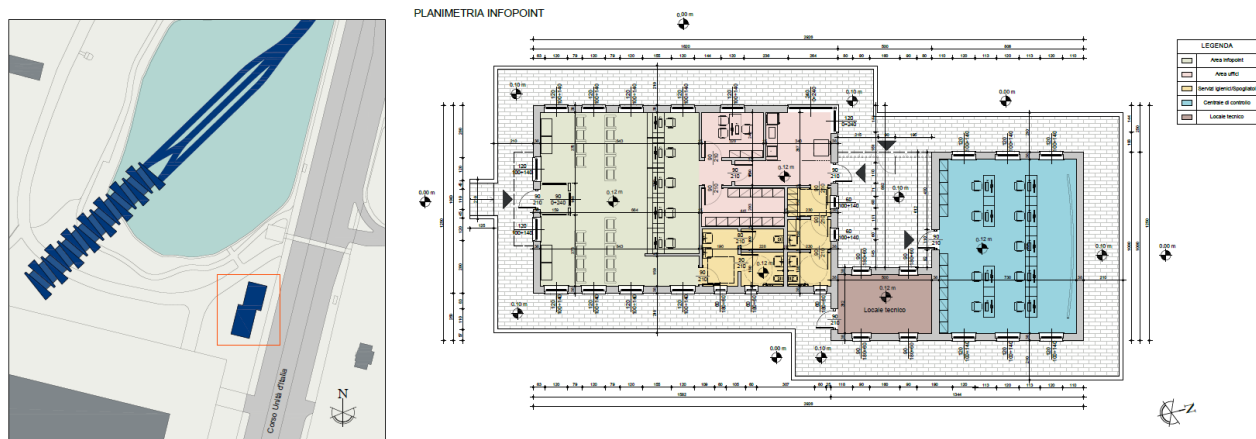
**Figura 5.13:** *Prospetto B stazione Italia '61*



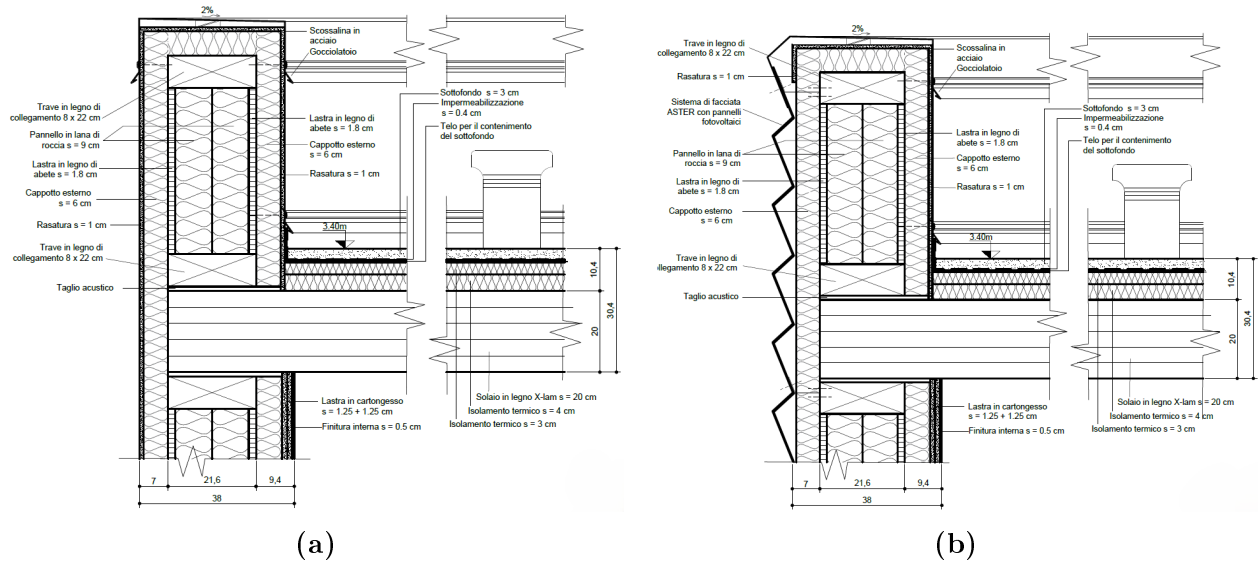


**Figura 5.14:** *Planimetria copertura stazione Italia '61*

Nelle immediate vicinanze della stazione è stato progettato un infopoint, avente lo scopo di fornire un servizio clienti e una biglietteria fisica in aggiunta a quelle automatiche, a cui si aggiunge una delle due centrali di controllo della monorotaia. L'edificio è stato realizzato interamente con la tecnologia delle pareti Kager e per i lati esposti a Sud e Sud-Ovest si è deciso di rimuovere l'ultimo livello di finitura esterna per sostituirlo con il sistema di facciata Aster (Allegato C). Quest'ultimo rappresenta una nuova frontiera per il mondo del fotovoltaico, infatti l'utilizzo di Aster permette di avere dei pannelli fotovoltaici sulla facciata con un ingombro ridotto.



**Figura 5.15:** *Planimetria infopoint stazione Italia '61*



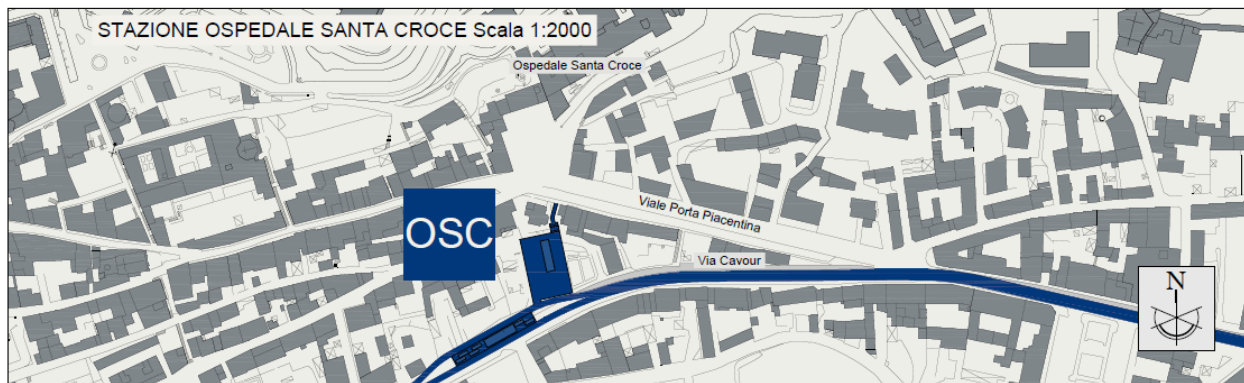
**Figura 5.16:** Particolari costruttivi parete kager (a) e parete kager con sistema di facciata Aster (b)

## 5.4 Stazione: Ospedale di Santa Croce

La stazione Ospedale Santa Croce è stata progettata in un'area densamente costruita nelle vicinanze dell'omonimo ospedale. Caratteristica che contraddistingue questa struttura è il collegamento verticale tra via Cavour, lungo cui passa la monorotaia, e viale Porta Piacentina, strada che porta al pronto soccorso; le due vie hanno un dislivello di 13 m per cui è stato pensato un ascensore che mettesse in comunicazione via Cavour, la stazione e viale Porta Piacentina.

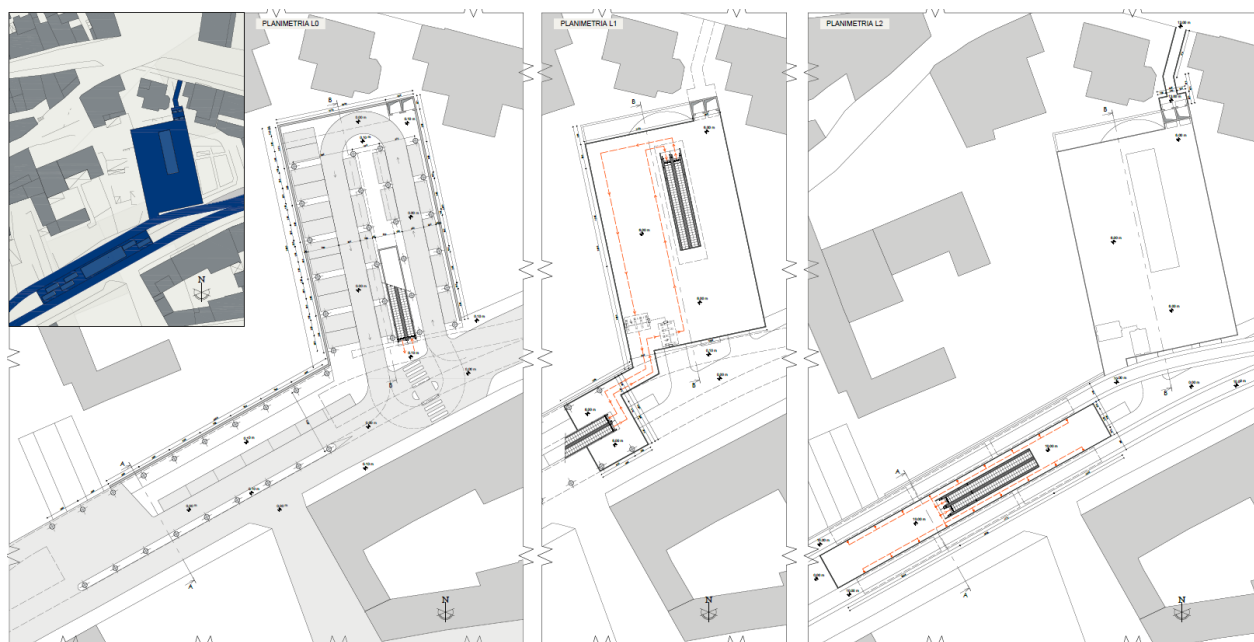


**Figura 5.17:** Vista aerea area Ospedale Santa Croce [29]



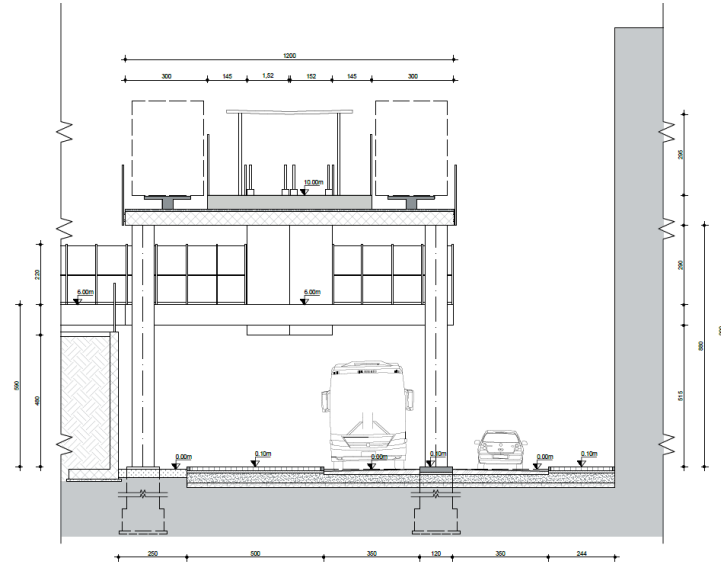
**Figura 5.18:** Posizione stazione Ospedale Santa Croce

La struttura prevede, al livello di via Cavour, la realizzazione di 24 posti auto a disposizione dei cittadini e la possibilità tramite tappeto mobile o ascensore di raggiungere il piano a quota 6 m che permette l'effettivo accesso alla stazione. A questo livello tramite un altro tappeto mobile si può arrivare alla banchina situata a 10 m di altezza oppure raggiungere attraverso l'ascensore viale Porta Piacentina. Anche nel caso in questione per la struttura portante si è optato per il sistema *NPS<sup>®</sup> CORE* con pilastri *PDTI<sup>®</sup>* a sezione circolare di diametro 80 cm, travi *NPS<sup>®</sup> CLS* e solaio alveolare. La maglia strutturale utilizzata è 558x1070 cm nella sezione della banchina, mentre è variabile tra 600x965 cm e 600x575 cm sulla struttura a livello 6 m.

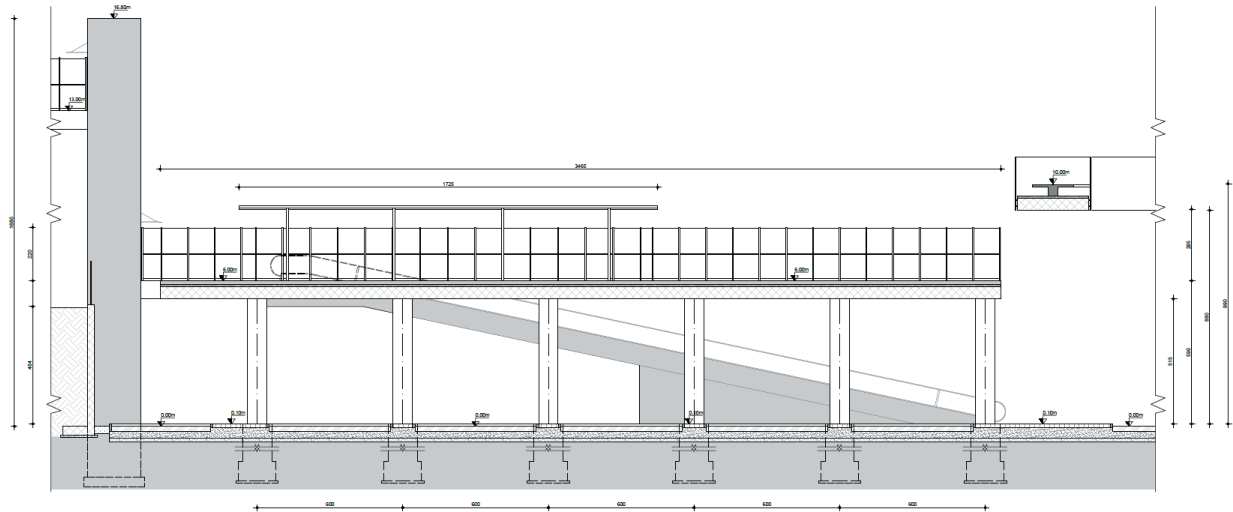


**Figura 5.19:** Planimetrie livelli L0, L1 e L2 stazione Ospedale Santa Croce

Come precedentemente esposto, la caratteristica di questa stazione è la capacità di collegare due arterie della città poste ad altezze diverse riducendo il tempo e la distanza di percorrenza per le persone più fragili (Figura 5.21).



**Figura 5.20:** Sezione AA stazione Ospedale Santa Croce



**Figura 5.21:** Sezione BB stazione Ospedale Santa Croce

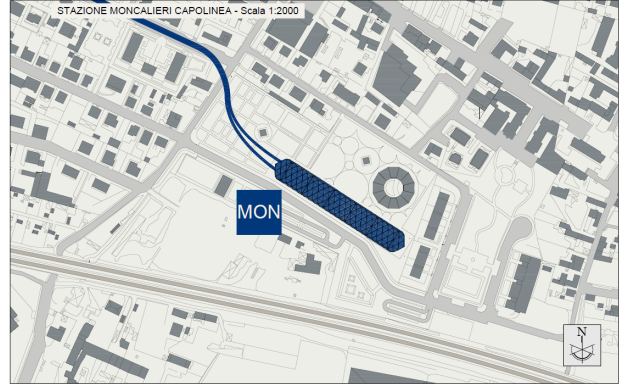
## 5.5 Stazione: Moncalieri - capolinea

La stazione di Moncalieri capolinea è l'unica delle tre stazioni progettate che presentava un'area per l'edificazione molto vasta e completamente libera da edifici. La zona di interesse si trova nel quartiere Testona e la superficie avuta a disposizione è stata di 4 ettari.





(a)

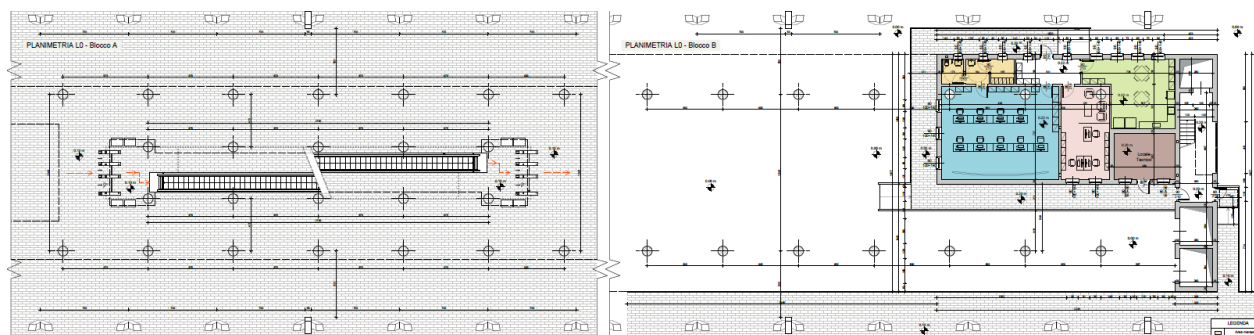


(b)

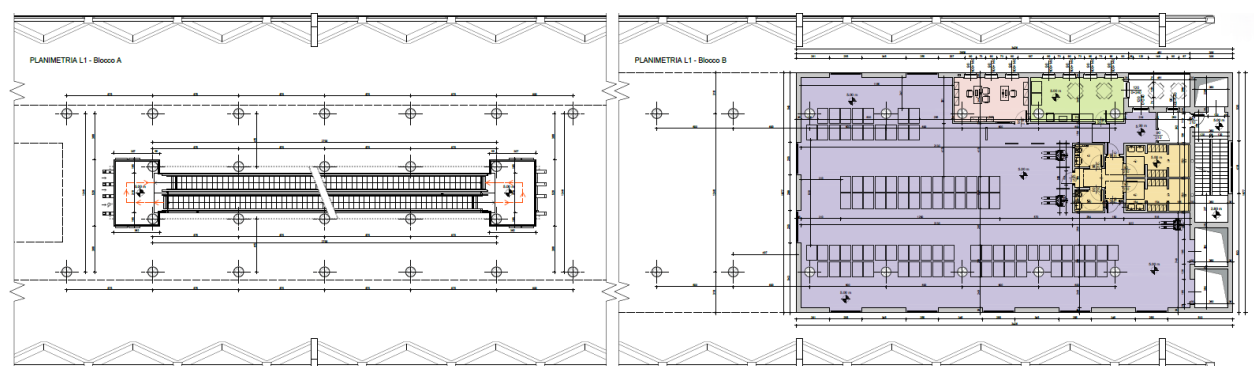
**Figura 5.22:** Vista aerea area Moncalieri Testona (a) [30] e posizione stazione Moncalieri capolinea (b)

Data la grande disponibilità di spazio, la sola stazione non avrebbe potuto coprire l'intera area; per questo motivo si è pensato un parco che potesse colmare il vuoto rimanente. L'obiettivo è stato quello di creare un "polmone verde" in cui poter trascorrere le giornate con la famiglia, ma non solo, infatti, si è pensato di realizzare un piccolo teatro ipogeo e un centro sportivo entrambi a disposizione della comunità.

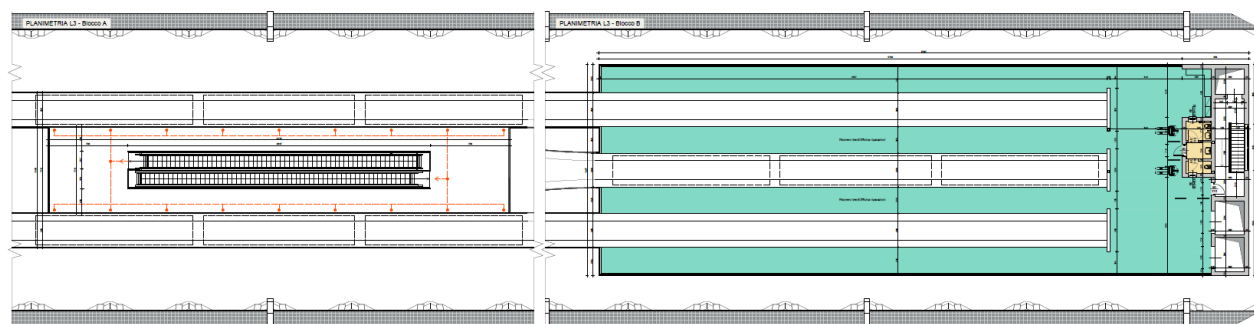
Per quanto riguarda la stazione e la sua copertura ci si è ispirati alla stazione di Porta Susa a Torino progettando una struttura poligonale in legno con pannelli fotovoltaici. Oltre alla struttura della banchina si è progettato una deposito adibito al ricovero dei treni e alla loro manutenzione. Anche in questo caso la parte portante è stata affidata al sistema  $NPS^{\text{®}}_{\text{CORE}}$  con pilastri  $PDTI^{\text{®}}$  a sezione circolare di diametro 80 cm, travi  $NPS^{\text{®}}$  CLS e solaio alveolare. La maglia strutturale di 600x1240 cm è molto regolare per tutto l'andamento della stazione, si infittisce a 600x415 cm solo nella zona dove sono presenti i tappeti mobili. A differenza degli altri due progetti dove il percorso per arrivare e per andarsene dalla banchina erano affiancati, in questo caso sono stati separati e quindi l'entrata e l'uscita sono in due punti differenti della stazione. Il complesso si sviluppa su tre livelli, quelli a 5 e 10 m e il piano terreno, e si suddivide in due blocchi separati con funzioni diverse. Il blocco A è rappresentato dalla banchina, mentre quello B dalla seconda sala controllo al livello strada, un magazzino al primo piano e il ricovero dei convogli al piano dei binari. In quest'ultimo blocco tutte le partizioni interne e le chiusure verticali sono state pensate con le pareti Kager non portanti ad esclusione di quelle al livello L2.



**Figura 5.23:** *Planimetria livello L0 stazione Moncalieri capolinea*

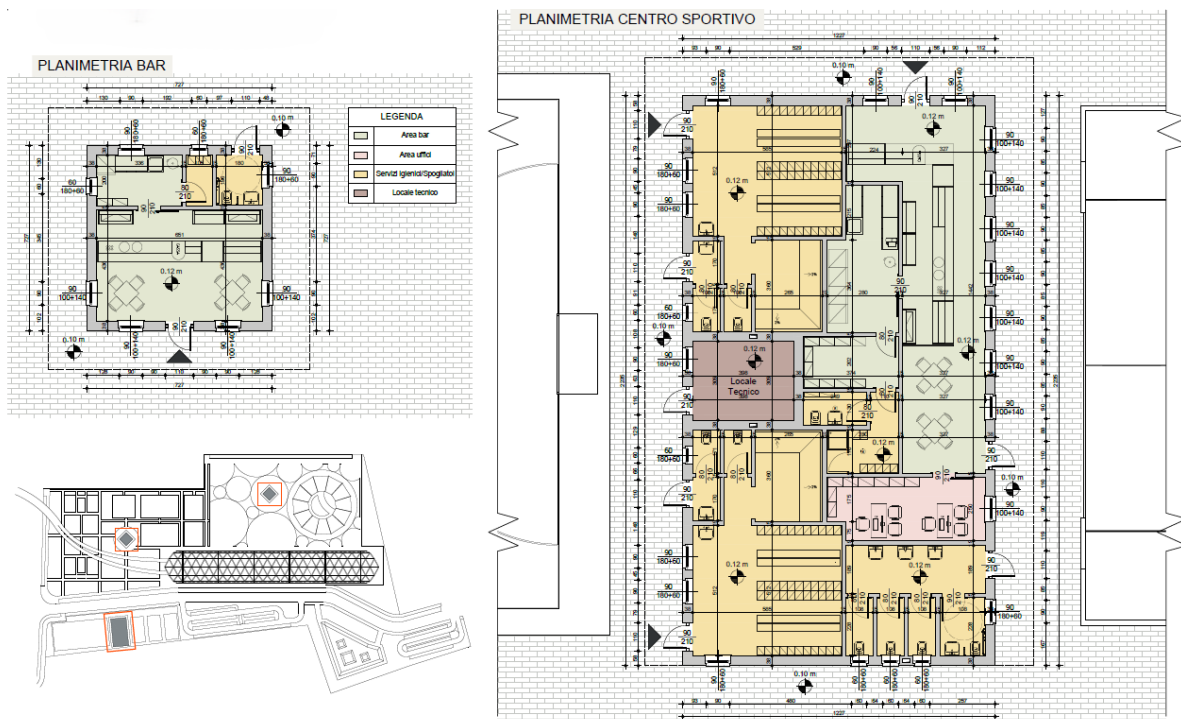


**Figura 5.24:** *Planimetria livello L1 stazione Moncalieri capolinea*

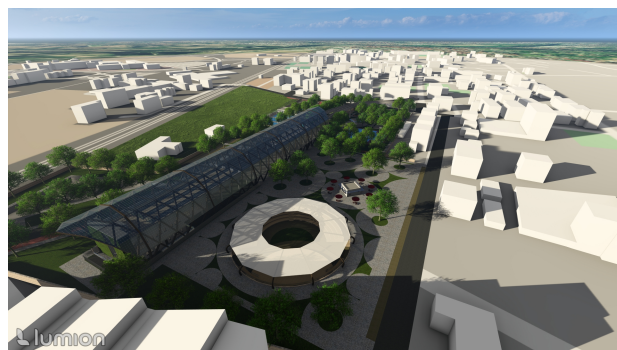
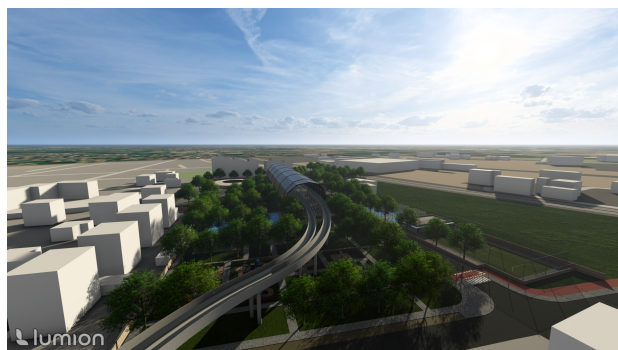
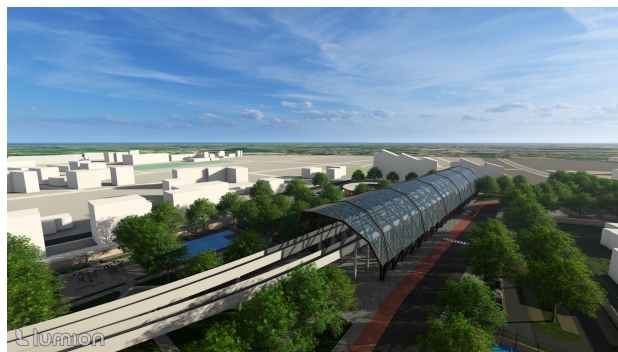


**Figura 5.25:** *Planimetria livello L2 stazione Moncalieri capolinea*

Nella progettazione del parco circostante sono state pensate diverse zone di svago come l'area giochi per i bambini, un'area fitness con attrezzature utilizzabili anche da persone con disabilità, due campi da pallacanestro e anche un'area per cani suddivisa per taglie. Sarà presente, come già detto, un teatro ipogeo a disposizione della comunità e sarà presente anche uno skatepark; il tutto sarà servito con due aree parcheggio. Nella progettazione del centro sportivo e dei due chioschi bar sono state utilizzate le pareti Kager autoportanti.

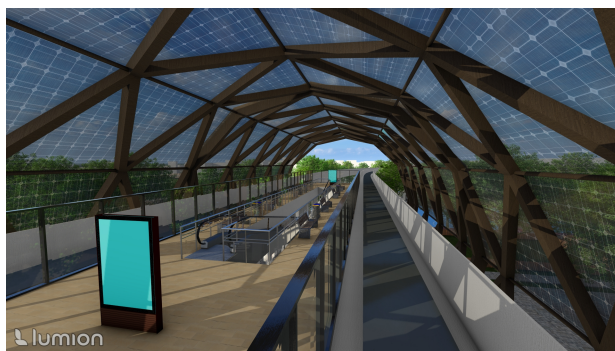
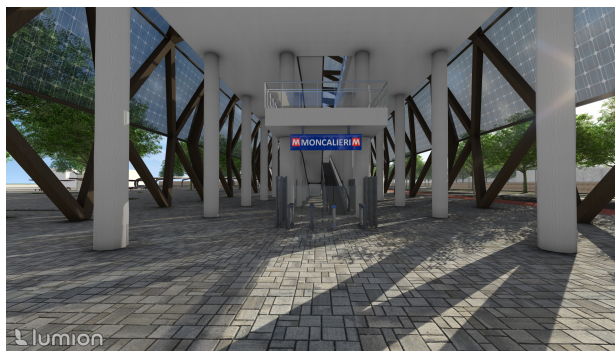
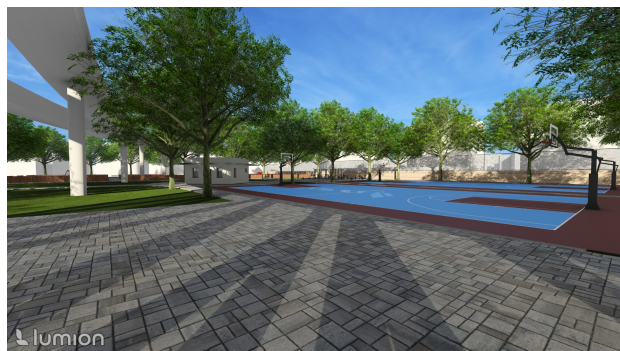


**Figura 5.26:** *Planimetrie chiosco bar e centro sportivo*



**Figura 5.27:** *Render esplicativi stazione Moncalieri capolinea (1)*





**Figura 5.28:** *Render esplicativi stazione Moncalieri capolinea (2)*

## 6 CONCLUSIONI

La questione della mobilità da e verso le grandi città metropolitane e quella interna ad esse rappresenta un argomento molto dibattuto su cui si potrebbe discutere per giorni. Con questo elaborato si è voluta cercare di dare un'alternativa più sostenibile al classico trasporto privato e a quello pubblico e una soluzione che non gravasse sul traffico cittadino e che permettesse spostamenti rapidi su grandi distanze.

La scelta di una monorotaia sopraelevata è stata fatta per garantire il completo distacco dalle arterie stradali e avere una totale indipendenza dal traffico automobilistico, mentre la decisione di optare per la propulsione del convoglio è stata eseguita dopo delle brevi analisi sulle differenti tecnologie esistenti. I vantaggi della levitazione magnetica sono molteplici grazie soprattutto all'assenza di contatto con la rotaia è ciò garantisce una minore usura e una maggiore vita utile. Inoltre, i treni MAGLEV sono altamente performanti e non producono alcuna emissione rendendoli ottimi come trasporto pubblico cittadino.

La scelta della tipologia di monorotaia non è l'unico elemento su cui ci si è concentrati, difatti, anche per la progettazione delle stazioni sono state adottate determinate tecnologie costruttive con caratteristiche a basso impronta di carbonio (*carbon footprint*). Per la realizzazione delle strutture, per esempio, il sistema *NPS<sup>®</sup>CORE* rappresenta un'opzione più che valida in quanto è una soluzione efficiente e sicura, a ridotto impatto ambientale ed con un'alta flessibilità strutturale, il tutto comparato ai sistemi tradizionali. Oltre alla parte strutturale, anche per l'involucro esterno e per le partizioni interne con le pareti Kager è stata fatta una scelta mirata su un prodotto che avesse delle buone prestazioni e al contempo fosse una tecnologia a secco in modo da poter ottimizzare le tempistiche di cantiere e facilitarne il futuro riutilizzo in caso di demolizione. In aggiunta alle pareti Kager, il sistema di facciata Aster ha permesso di ottenere una partizione con buone prestazioni che allo stesso tempo sia in grado di produrre dell'energia elettrica, da utilizzare all'interno dell'edificio, con un ingombro ridotto e senza alterare drasticamente i prospetti delle facciate.

Nel complesso, tutte e tre le stazioni sono state pensate per assolvere due problematiche quali l'accessibilità e un facile orientamento. La risposta alla prima criticità è stata l'utilizzo di tappeti mobili che permettono di raggiungere la banchina anche a persone con disabilità. La questione dell'orientamento si è cercata di risolverla attraverso la progettazione di stazioni molto semplici e che presentassero dei percorsi il più possibili lineari e diretti.

Con la conclusione di questo elaborato si è presentata un'alternativa di collegamento tra le città di Moncalieri e di Torino nella sua interezza, partendo da una visione più ampia con la definizione del tracciato e della tipologia di treno per poi concentrarsi sulla progettazione delle stazioni e delle loro tecnologie costruttive.

# INDICE DELLE TAVOLE

<b>TAVOLA n.</b>	<b>Argomento</b>	<b>Scala</b>	<b>Dimensione foglio</b>
<b>IG_00</b>	Inquadramento generale	varie	A1 (841x594 mm)
<b>IT61_01</b>	Planimetrie L0 e L1 stazione Italia '61	1:100	A1 allungato (1090x594 mm)
<b>IT61_02</b>	Planimetrie L3 e Infopint Prospetto A stazione Italia '61	1:100	A1 allungato (1090x594 mm)
<b>IT61_03</b>	Prospetto B Planimetria della copertura stazione Italia '61	1:100	A1 allungato (1090x594 mm)
<b>OSC_01</b>	Planimetrie L0, L1 e L2 stazione Ospedale Santa Croce	1:200	A1 allungato (1090x594 mm)
<b>OSC_02</b>	Sezioni AA e BB stazione Ospedale Santa Croce	1:100	A1 (841x594 mm)
<b>MON_01</b>	Planimetrie L0 e L1 stazione Moncalieri capolinea	1:100	A1 allungato (1090x594 mm)
<b>MON_02</b>	Planimetrie L3, bar e centro sportivo Render stazione Moncalieri capolinea	1:100	A1 allungato (1200x594 mm)
<b>CV_IN</b>	Nodo verticale infisso con grata copertura piana Infopoint, bar e centro sportivo	1:5	A4 (210x297 mm)
<b>CV_PL</b>	Nodo parete Kager con plinto di fondazione L0 - stazione Moncalieri capolinea	1:5	A3 (420x297 mm)
<b>CV_IN_O</b>	Nodo orizzontale infisso con grata parete Kager Infopoint, bar e centro sportivo	1:5	A4 (210x297 mm)
<b>CV_CP</b>	Nodo parete Kager copertura piana Infopoint, bar e centro sportivo	1:5	A3 (420x297 mm)
<b>CV_CP_AS</b>	Nodo parete Kager+Aster copertura piana Infopoint	1:5	A3 (420x297 mm)
<b>PL_PDTI</b>	Nodo plinto di fondazione pilastro PDTI Ø80 cm L0 - stazione Moncalieri capolinea	1:10	A3 (420x297 mm)

## BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA

- [1] <https://it.wikipedia.org/wiki/Ferrovia> [Accessed: settembre 2023].
- [2] [https://it.wikipedia.org/wiki/Centennial\\_Monorail](https://it.wikipedia.org/wiki/Centennial_Monorail) [Accessed: maggio 2024].
- [3] C I Crăciun et al. Monorail - an alternative solution for the urban transport in romania. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/444/7/072009> [Accessed: maggio 2024].
- [4] <https://www.monorails.org/tMspages/History.html> [Accessed: maggio 2024].
- [5] <https://www.monorails.org/tMspages/TPAlweg2.html> [Accessed: giugno 2024].
- [6] <https://www.monorails.org/tMspages/TPAlwfo.html> [Accessed: giugno 2024].
- [7] <https://www.monorails.org/tMspages/TPAlwsu.html> [Accessed: giugno 2024].
- [8] [https://it.wikipedia.org/wiki/Monorotaia\\_di\\_Torino](https://it.wikipedia.org/wiki/Monorotaia_di_Torino) [Accessed: giugno 2024].
- [9] <https://www.monorails.org/tMspages/TPMM.html> [Accessed: giugno 2024].
- [10] <https://www.monorails.org/tMspages/TPHitach.html> [Accessed: giugno 2024].
- [11] <https://www.monorails.org/tMspages/TPSafege.html> [Accessed: giugno 2024].
- [12] <https://www.monorails.org/tMspages/TPMitsu.html> [Accessed: giugno 2024].
- [13] <https://www.monorails.org/tMspages/TPdoub.html> [Accessed: giugno 2024].
- [14] Paola Rinaldi. I treni a levitazione magnetica (maglev), con repertorio terminografico italiano-cinese. Master's thesis, Università Ca'Foscari Venezia, 2020/2021.
- [15] <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20191129ST067756/emissioni-di-aerei-e-navi-dati-e-cifre-infografica> [Accessed: settembre 2023].
- [16] Giancarlo Pirro. *CENNI SUI SISTEMI DI TRASPORTO A LEVITAZIONE MAGNETICA*. CIFI - Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani, 2004.
- [17] <https://www.gettyimages.it/detail/fotografie-di-cronaca/this-picture-shows-shanghais-new-commercial-fotografie-di-cronaca/51406006?adppopup=true> [Accessed: settembre 2023].
- [18] <https://scmaglev.jr-central-global.com/about/> [Accessed: settembre 2023].
- [19] Nicola Petracca. Caratteristiche tecniche dell'infrastruttura per i treni a levitazione magnetica. Master's thesis, ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA, 2007/2008.
- [20] <https://www.museotorino.it/view/s/94f07beb360a40c280d75cbab26d06b4> [Accessed: luglio 2024].



- [21] <https://areeweb.polito.it/imgdc/schede/ML15.html> [Accessed: luglio 2024].
- [22] <https://areeweb.polito.it/imgdc/schede/ML14.html> [Accessed: luglio 2024].
- [23] <https://www.conteco.it/it/palavela> [Accessed: luglio 2024].
- [24] <https://www.museotorino.it/view/s/71cbc60171324892aa88b8b61a5e728a> [Accessed: luglio 2024].
- [25] <https://earth.google.com/web/search/Moncalieri> [Accessed: giugno 2024].
- [26] <https://www.castellodimoncalieri.it/la-residenza/storia> [Accessed: giugno 2024].
- [27] <https://www.comune.moncalieri.to.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/693> [Accessed: giugno 2024].
- [28] <https://earth.google.com/web/search/Palazzo+del+Lavoro> [Accessed: luglio 2024].
- [29] <https://earth.google.com/web/search/Ospedale+Santa+Croce> [Accessed: luglio 2024].
- [30] <https://earth.google.com/web/search/Piazza+Argiroupoli,+Moncalieri> [Accessed: luglio 2024].
- [31] <https://www.linimo.jp/linimo/2018021414360822.html> [Accessed: settembre 2023].
- [32] <https://www.linimo.jp/language/en/about/> [Accessed: settembre 2023].
- [33] Pier Luigi Spiaggiari. *STORIA, ECONOMIA E POLITICA DEI TRASPORTI*, pages 67–93. Grafiche STEP editrice, 1995.
- [34] <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co205767/steam-locomotive-no-1-locomotion-stockton-darlington-railway-steam-locomotive> [Accessed: settembre 2023].
- [35] [https://it.wikipedia.org/wiki/Locomotiva\\_Rocket#/media/File:Steam\\_locomotive\\_rocket.png](https://it.wikipedia.org/wiki/Locomotiva_Rocket#/media/File:Steam_locomotive_rocket.png) [Accessed: settembre 2023].
- [36] S.Lucchetti F. Cesari, V. Rizzo. *ELEMENTI GENERALI DELL'ESERCIZIO FERROVIARIO - Trazione, evoluzione e sviluppi*, pages 1–17, 163–167. CIFI - Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani, 2017. Seconda edizione a cura di L. Franceschini, A. Garofalo, R. Marini, V. Rizzo.
- [37] [https://www.unirc.it/documentazione/materiale\\_didattico/597\\_2009\\_217\\_5722.pdf](https://www.unirc.it/documentazione/materiale_didattico/597_2009_217_5722.pdf) [Accessed: luglio 2024].
- [38] Hermann S. D. Botzow JR. *MONORAILS*. SIMMONS-BOARDMAN PUBLISHING CORPORATION, 1960. <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015024391776&view=1up&seq=13> [Accessed: maggio 2024].

- [39] <https://www.monorails.org/tMspages/TPMVI.html> [Accessed: giugno 2024].
- [40] <https://www.monorails.org/tMspages/TPInnovia300.html> [Accessed: giugno 2024].
- [41] <https://www.monorails.org/tMspages/TPSteel.html> [Accessed: giugno 2024].
- [42] <https://www.monorails.org/tMspages/TPVonfo.html> [Accessed: giugno 2024].
- [43] <https://www.monorails.org/tMspages/TPInverT.html> [Accessed: giugno 2024].
- [44] <https://www.monorails.org/tMspages/TPIbeam.html> [Accessed: giugno 2024].
- [45] [https://it.wikipedia.org/wiki/Expo\\_1961](https://it.wikipedia.org/wiki/Expo_1961) [Accessed: luglio 2024].
- [46] [https://it.wikipedia.org/wiki/Moncalieri#Borgo\\_antico](https://it.wikipedia.org/wiki/Moncalieri#Borgo_antico) [Accessed: giugno 2024].
- [47] <https://www.comune.moncalieri.to.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/263> [Accessed: giugno 2024].
- [48] <https://en.wikipedia.org/wiki/Linimo> [Accessed: settembre 2023].

## A LINEA LINIMO

La linea Linimo (Aichi Rapid Transit Kyuryo Line) è attualmente l'unico convoglio a levitazione magnetica in uso in Giappone nella prefettura di Aichi vicino alla città Nagoya. Inaugurata il 6 marzo 2005 in occasione dell'esposizione universale Expo 2005, ad oggi la Linimo, lunga 8,9 km, collega la città di Nagoya con la città di Toyota e comprende in totale nove stazioni. [48]

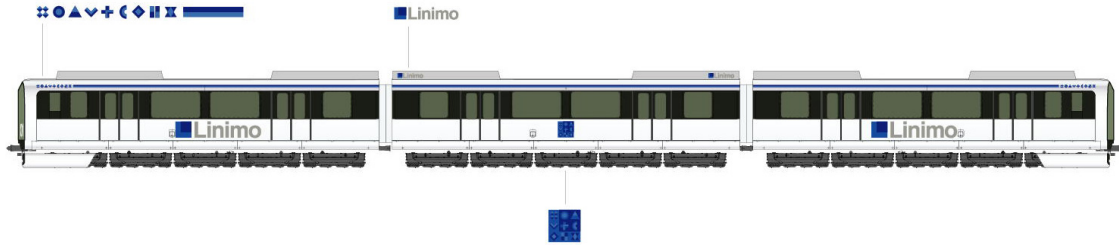


**Figura A.1:** *Linimo* [31]

**CARATTERISTICHE TECNICHE:** Il treno è lungo complessivamente 43,3 m ed è costituito da 3 carrozze di cui quelle principali sono lunghe 14 m e quella centrale 13,5 m. Il convoglio ha una larghezza di 2,6 m e un'altezza di 3,45 m. La capienza totale è di 104 persone suddivise in 34 persone nei vagoni di testa e di coda e 36 in quello centrale. La carrozzeria del treno è lega di alluminio e presenta due porte per lato di larghezza 1,2 m e un'uscita di emergenza posta sul soffitto delle carrozze. Il treno può raggiungere una velocità di circa 100 km/h, affrontare pendenze non superiori al 7% e ha un raggio minimo di curvatura di 75 m. L'altezza di levitazione che raggiunge il convoglio è di circa 8 mm. [31]

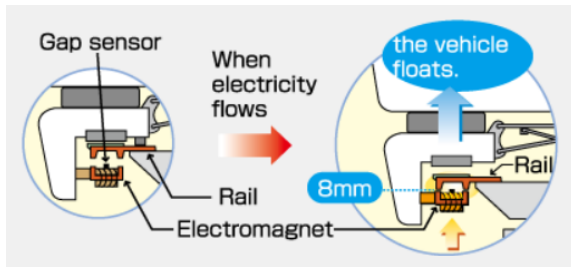
Lunghezza totale convoglio	43,3 m
Lunghezza carrozze principali	14,0 m
Lunghezza carrozza centrale	13,5 m
Larghezza totale	2,6 m
Altezza totale	3,45 m
Capienza totale	104 persone
Velocità massima	100 km/h
Pendenza massima	7%
Raggio minimo di curvatura	75 m
Altezza di levitazione	$\approx 8$ mm

**Tabella A.1:** *Caratteristiche tecniche Linimo*

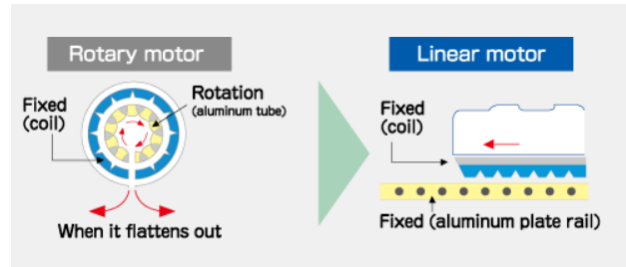


**Figura A.2:** Esempio di convoglio Linimo [31]

**MECCANISMO DI LEVITAZIONE E DI PROPULSIONE:** La levitazione delle carrozze è garantita dalla corrente che scorre all'interno degli elettromagneti posti su ogni convoglio generando una forza attrattiva verso le rotaie. Per avere una distanza costante tra elettromagneti e rotaia sono installati dei sensori di distanza [Figura A.3a]. La propulsione del mezzo è garantita da motori lineari [Figura A.3b]. [31]



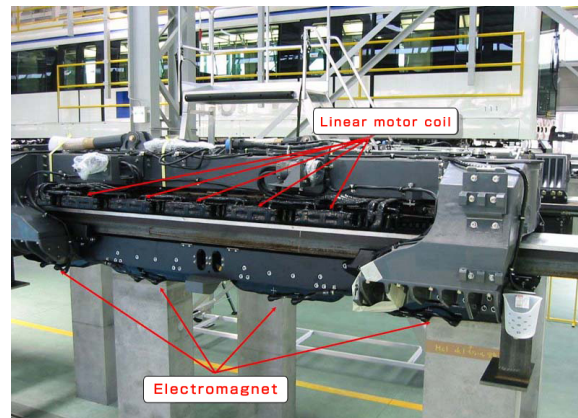
(a) Meccanismo di levitazione Linimo



(b) Motore lineare Linimo

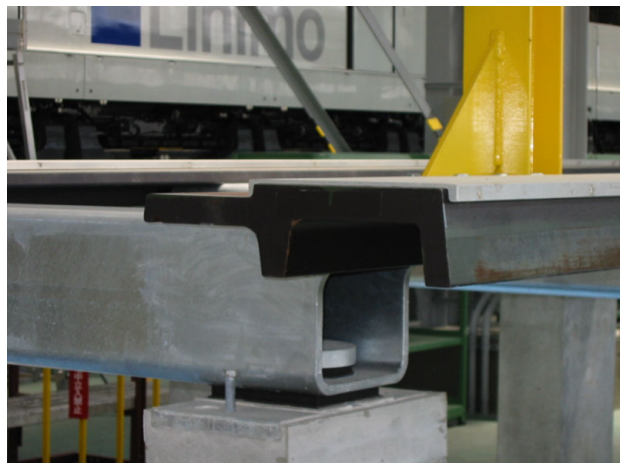
**Figura A.3:** Meccanismi di levitazione e propulsione Linimo [32]

**MODULO DI PROPULSIONE:** Un modulo di propulsione comprende quattro elettromagneti per la levitazione del mezzo, una bobina per il motore lineare e altri componenti. I moduli sono installati nella parte inferiore delle carrozze ed in totale sono cinque per vettura. [31]



**Figura A.4:** Modulo di propulsione Linimo [32]

**BINARIO:** Il binario su cui viaggia il treno è realizzato in acciaio dolce e ha la forma di U rovesciata; sulla sommità di questo è presente una piastra di reazione in alluminio. Nel pacchetto binario la sezione a U rovesciata rappresenta il conduttore magnetico che genera forze necessarie alla levitazione e alla guida dei convogli e che, inoltre, fornisce la forza frenante in quanto piastra di scorrimento per i freni. La piastra in alluminio, invece, rappresenta il conduttore secondario per il motore lineare generando le forze di propulsione. La linea di alimentazione è realizzata in alluminio e acciaio inossidabile ed è installata in sezioni separate sotto i lati del cassone. [31]



(a) Sezione binario Linimo



(b) Linea di alimentazione Linimo

**Figura A.5:** Binario Linimo [31]



by  **Tecnostre**®

*Your* GREEN BUILDING SYSTEM

# IL SISTEMA OFFSITE SICURO, VELOCE E SOSTENIBILE

Da oltre 35 anni, Tecnostrutture s.r.l. è leader italiana nella progettazione e produzione di strutture miste acciaio-calcestruzzo NPS®.

Nel 2014 brevetta Airfloor®, il solaio misto più leggero sul mercato. Innovativo per la sua autoportanza fino a 5 metri, velocità e facilità di posa.

Tecnostrutture è associata ad ISI - Associazione per l'Ingegneria Sismica Italiana, socio sostenitore di EUCENTRE - European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering, membro dell'Associazione Infrastrutture Sostenibili, del Green Building Council Italia e del Council of Tall Building and Urban Habitat.

#### Registered office and headquarter

Via Meucci, 26  
I-30020  
Noventa di Piave (VE)

T. +39 0421 570 970

com@tecnostrutture.eu  
www.tecnostrutture.eu

#### Central Europe representative office

Alfredstrasse 81  
D-45130  
Essen, Germany

T. +49 201 4902 0176

sales@tecnostrutture.eu  
www.tecnostrutture.eu



## PERCHÈ TECNOSTRUTTURE ED NPS®

Trave, pilastro e solaio misti acciaio-calcestruzzo compongono **NPS® New performance System**. La tecnologia off-side che assicura una soluzione costruttiva efficiente, snella e sostenibile con risparmio in termini di tempo e costi.

Le strutture NPS® sono realizzate con **acciaio riciclato** fino al 93% e hanno sezioni più compatte rispetto alle strutture tradizionali, a parità di performance. Il **Life Cycle Assessment** comparativo effettuato dall'Università di Genova rileva che nei casi analizzati un edificio realizzato con travi e pilastri NPS® ha un minor impatto ambientale di oltre il 20% rispetto a strutture in acciaio o cemento armato. Efficienza strutturale, alto contenuto di riciclato, reimpiego dei materiali dopo la decostruzione e gli altri benefici lungo tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto rendono il sistema off-side NPS® conforme ai **Criteri Minimi Ambientali (CAM)** e consentono l'ottenimento di crediti per la certificazione ambientale **LEED**. I prodotti NPS® sono anche provvisti di dichiarazione ambientale **EPD**.

Scegliere NPS® significa avere Tecnostrutture come **unico fornitore** per tutti gli elementi strutturali dell'edificio, semplificando così la gestione del cantiere e assicurandosi la **certa compatibilità tra travi e pilastri**, senza rischio di interferenze ai nodi.

Lo staff tecnico di **Tecnostrutture affianca il progettista** dell'opera studiando assieme la soluzione strutturale migliore e facendosi carico del dimensionamento degli elementi NPS®.

Scopri nelle pagine seguenti la soluzione ideale per **grandi luci, complanarità trave-solaio, sismoresistenza e resistenza nativa al fuoco**.

### MENO EMISSIONI DI CO<sub>2</sub>



### PIÙ QUALITÀ DELLA VITA





## GLI ELEMENTI DEL SISTEMA MISTO NPS®

**Trave, pilastro e solaio compongono NPS® New Performance System.** La tecnologia innovativa che assicura una soluzione costruttiva leggera e snella con risparmio in termini di tempo e costi.

- > Facile e veloce da montare
- > Meno peso sulle fondazioni
- > Resistenza al fuoco nativa fino a 180 minuti
- > Resistenza sismica
- > Sezioni snelle
- > Ridotto impatto ambientale
- > Marcatura CE EN 1090-1
- > Un unico fornitore per tutti gli elementi strutturali
- > Complanarità trave-solaio
- > Ideale per grandi luci

### TRAVI NPS®

Travi con **sezioni compatte**, ottimali per **grandi luci**. Le travi NPS® sono **abbinabili a qualsiasi tipo di solaio**: Airfloor™, lamiera grecata, lastre predalles, solaio alveolare o in laterizio.

### PILASTRI NPS®

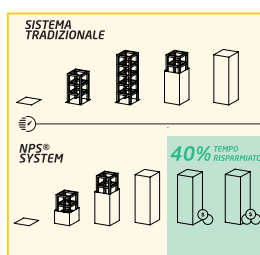
Tecnostrutture offre due linee di pilastri: PDTI® e PTC®. I pilastri PDTI® NPS® con camicia in acciaio sono prodotti nei moderni stabilimenti di Tecnostrutture e vengono riempiti di calcestruzzo in cantiere. **Resistenti al fuoco in modo nativo**, possono avere sezione quadrata, rettangolare o circolare. La seconda linea di pilastri sono i PTC® NPS®, realizzati in calcestruzzo centrifugato. L'estrema densità del calcestruzzo consente **un'elevata resistenza anche con sezioni estremamente sottili**, offrendo il massimo utilizzo degli spazi. Resistenti al fuoco in modo nativo, sono disponibili con sezione ovale, circolare, quadra o rettangolare.

### SOLAI NPS®

Tecnostrutture ha brevettato il **solaio autoportante Airfloor™**, il **più leggero** sul mercato con un peso di 190 kg/m² dopo il getto. Ideato per ridurre al minimo i carichi strutturali, pur mantenendo **elevate prestazioni e velocità di posa**.

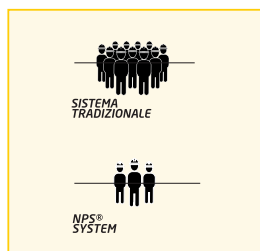


## VANTAGGI DEL SISTEMA NPS®



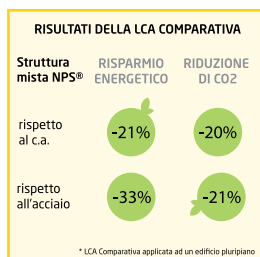
### VELOCE RITORNO DELL'INVESTIMENTO

- Riduzione dei tempi di realizzazione dell'edificio di almeno il 40% rispetto ai sistemi tradizionali, ideale per nuove edificazioni o ristrutturazioni.
- Costi certi.
- Irrilevanza delle condizioni meteorologiche per l'esecuzione dell'opera.
- Costi di manutenzione contenuti.



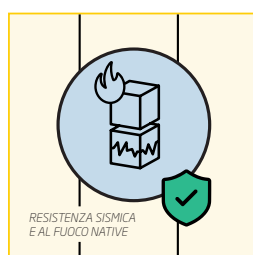
### SOLUZIONE EFFICIENTE E SICURA

- Velocità di posa: 5 minuti a pilastro, 8 a trave.
- Riduzione dell'80% del fabbisogno di manodopera in cantiere.
- Maggiore sicurezza in cantiere.
- Quasi totale eliminazione di puntelli in cantiere.
- Consegna di travi, pilastri e solai al momento della posa, senza bisogno di spazi di stoccaggio.



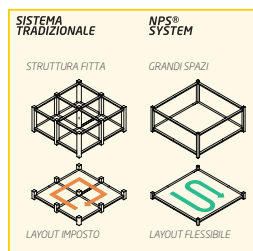
### RIDOTTO IMPATTO AMBIENTALE

- Environmental Product Declaration (EPD), crediti LEED e conformità ai CAM.
- Fino al 93% di contenuto di acciaio riciclato.
- Minore impiego di materie prime rispetto ai sistemi tradizionali, a parità di prestazioni.
- 90% in meno di materiale provvisorio in cantiere, con effetti positivi su costi e rifiuti.
- Minor consumo di energia e minor emissioni di CO<sub>2</sub> rispetto alle soluzioni in acciaio e in cemento armato.
- Impatto ambientale provato per ogni kg di prodotto dimostrato tramite Life Cycle Assessment (LCA).



### RESISTENZA SISMICA E AL FUOCO NATIVE

- Resistenza al fuoco nativa, senza bisogno di trattamenti successivi alla posa. Un risparmio in termini i costi e tempi.
- Sismoresistenza nativa, senza necessità di impiegare controventi.
- Consolidata esperienza di Tecnostrutture in ambito sismico.
- Gli elementi NPS® possono essere impiegati anche a vista come elemento architettonico d'arredo, senza bisogno di trattamenti aggiuntivi.



### ALTA FLESSIBILITÀ STRUTTURALE

- Massimizzazione dello spazio sfruttabile in larghezza e altezza grazie a travi con grandi luci e a pilastri e solai sottili.
- Personalizzazione delle travi NPS®.
- Flessibilità nella ripartizione degli spazi interni, con facilità di cambio del layout nel tempo.
- Luci standard fino a 15 metri. Possibili anche lunghezze maggiori, a seguito di dovute analisi.
- Massima altezza d'interpiano grazie a soluzioni in spessore di solaio

### I VANTAGGI DI NPS® RISPETTO A

#### GETTATO IN OPERA (SOLETTE PIENE)

- Maggiore velocità
- Tempi certi
- Minor impatto ambientale
- Resistenza al fuoco nativa
- Maggiore leggerezza

#### PREFABBRICATI

- Sezioni più compatte
- Maggiore leggerezza
- Minor impatto ambientale
- Sismoresistenza
- Più robustezza e resilienza

#### STRUTTURE METALLICHE

- Montaggio più semplice
- Minor impatto ambientale
- Migliore risposta sismica
- Resistenza al fuoco nativa

## NPS®: CONFORME AI CAM E CREDITI LEED

Approfondisci il viaggio  
di Tecnostrutture  
verso la sostenibilità



Tecnostrutture ha deciso di **comunicare in modo trasparente** le prestazioni ambientali dei prodotti NPS®, fornendo informazioni dettagliate sul loro impatto ambientale, certificate dalla **Dichiarazione Ambientale di Prodotto** (Environmental Product Declaration, EPD).



Il **Life-Cycle Assessment (LCA)** condotto su ogni prodotto valuta il potenziale impatto ambientale durante tutto il suo ciclo di vita, sulla base degli standard ISO 14040 e ISO 14044. Ogni LCA fornisce un quadro completo del prodotto, consentendo ai team di progetto di **prendere decisioni più informate** in relazione al suo impatto ambientale. Sulla base del LCA, per ogni prodotto NPS® è stata rilasciata una EPD, conforme alla norma UNI EN 15804 e alla norma ISO 14025. Questo percorso fatto, consente di dimostrare la conformità dei prodotti NPS® ai diversi protocolli e approcci di sostenibilità.

### CONFORMITÀ AI CRITERI MINIMI AMBIENTALI

I GPP (Green Public Procurement), conosciuti in Italia come **CAM** (Criteri Ambientali Minimi) rappresentano l'approccio di base con il quale le Amministrazioni Pubbliche integrano i criteri ambientali in tutte le fasi del processo di acquisto, attraverso la scelta di prodotti che hanno minore impatto sull'ambiente lungo l'intero ciclo di vita. Dal 2016 sono uno **strumento obbligatorio**. Per la valutazione della eco-compatibilità di un componente edilizio, i CAM fanno riferimento alle etichette ambientali. Tra queste, la più completa è l'EPD. La **EPD di ciascun prodotto NPS®** fornisce informazioni relative ai criteri previsti per i componenti edilizi quali **disassemblabilità, materia recuperata o riciclata**, tipo di acciaio impiegato. E' **sempre garantita una percentuale di riciclato nei prodotti** che varia in base alla tipologia e alle componenti. Il 100% dell'acciaio strutturale degli elementi NPS® viene recuperato, attraverso un processo di rifusione, e riconvertito in altro acciaio strutturale, senza subire perdite di proprietà. Il calcestruzzo, una volta raggiunto lo stadio di end-of-waste può essere impiegato come inerte in nuovo calcestruzzo, richiedendo un ulteriore processo di macinazione per poter sostituire efficacemente il materiale vergine.

### CREDITI LEED

Tutti i prodotti Tecnostrutture possono contribuire all'ottenimento dei seguenti crediti LEED v4 BD+C e LEED v4.1 BD+C:



#### > SOSTENIBILITÀ DEL SITO (SS).

##### Prerequisito SS - Prevenzione dell'inquinamento da attività di cantiere

L'utilizzo di elementi parzialmente prefabbricati come i prodotti Tecnostrutture permette di minimizzare le lavorazioni in cantiere e, più in generale, l'impatto sull'ambiente.

#### > MATERIALI E RISORSE (MR).

##### Prerequisito MR - Pianificazione della gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione / Gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione

Con NPS® si minimizza o addirittura annulla la produzione di rifiuti in fase di installazione. I prodotti NPS® non generano scarti in cantiere in quanto prodotti su misura in stabilimento, ottimizzando le materie prime. Travi e pilastri arrivano in cantiere senza imballo, eliminando il problema di gestione degli involucri.

##### Credito MR - Dichiarazione e ottimizzazione dei prodotti da costruzione Dichiarazioni EPD

La LCA, base della dichiarazione ambientale di prodotto, fornisce un quadro completo, consentendo ai team di progetto di prendere decisioni più informate in relazione all'impatto ambientale del prodotto.

##### Credito MR - Dichiarazione e ottimizzazione dei prodotti da costruzione Provenienza delle materie prime

Per ogni prodotto di Tecnostrutture è disponibile una specifica Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD) riportante il contenuto di riciclato post-consumo.

#### > INNOVAZIONE (IN)

##### Credito Pilota IN - Analisi integrativa dei materiali da costruzione

Il credito intende premiare i produttori di materiali da costruzione che condividono informazioni sul ciclo di vita, salute, sicurezza e ambiente dei loro prodotti. Per ogni prodotto NPS® è disponibile una dichiarazione con tutte le informazioni necessarie per l'Analisi Integrativa dei Materiali da costruzione.

## SOLUZIONI NPS®

UNA SOLUZIONE  
PER OGNI AMBITO APPLICATIVO



Ideale per l'impiego in edifici alti così come per interventi di ristrutturazione o sopraelevazioni grazie al limitato peso proprio delle strutture NPS® L.



La leggerezza, l'isolamento termico e l'intradosso estremamente liscio rendono NPS® AIR la soluzione ideale per sopraelevazioni, ristrutturazioni o nuovi edifici.

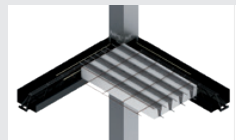
### NPS® L



Trave Basic NPS®  
Pilastro PDTI® NPS®  
Solaio in lamiera

Ampliamento edificio commerciale,  
Udine

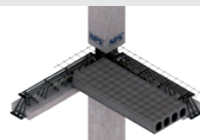
### NPS® AIR



Trave Basic NPS®  
Pilastro PDTI® NPS®  
Solaio Airfloor™

Barts Medical School di Gozo, Malta

### NPS® CORE



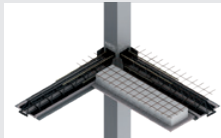
Trave CLS NPS®  
Pilastro PTC® NPS®  
Solaio alveolare

Parcheggio Monteoro, Riva del Garda



La soluzione che meglio risponde alle esigenze di edifici industriali, parcheggi e infrastrutture. Garantisce R180' nativa, sismoresistenza e autoportanza fino a 18 m.

### NPS® PREDALLES



Trave REI S NPS®  
Pilastro PDTI®/PTC® NPS®  
Solaio Predalles

Ospedale Vimercate



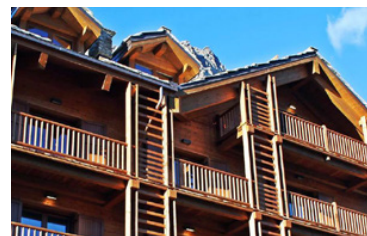
Ideale per ponti, edifici direzionali e industriali, così come per ospedali. Offre complanarità trave-solaio, spessori contenuti e resistenza al fuoco nativa fino a 120 minuti.

### NPS® WOOD



Trave Basic NPS®  
Pilastro PDTI® NPS®  
Solaio in Legno

Residenza Chaberton, Claviere



NPS®WOOD è la soluzione ideale per il comfort abitativo grazie alle ottime prestazioni acustiche, sostenibilità e leggerezza unite all'alta portata. Caratteristiche esaltate dall'abbinamento alle essenziali travi Basic NPS®.

## Trave CLS NPS®

Guarda il video  
del montaggio  
sul nostro canale  
YouTube

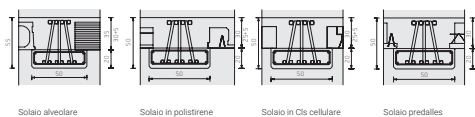


**Sottosporgenza**  
10-30 cm

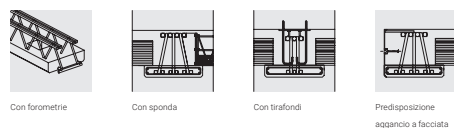
La trave NPS® CLS a struttura mista acciaio-calcestruzzo è autoportante e **resistente al fuoco nativamente fino a 180 minuti**, ai sensi del DM 03.08.2015. E' indicata per strutture resistenti al fuoco con grandi sovraccarichi e/o luci, come ad esempio **parcheggi pluripiano o interrati**. L'abbinamento ideale è con **solai alveolari o a lastra**. La struttura metallica reticolare è realizzata in acciaio liscio (UNI EN 10025-2) e marcata CE EN 1090-1. I correnti inferiori si inseriscono in un basamento di calcestruzzo pregettato in fabbrica, classe C28/35 (UNI EN 206-1:2006). Arriva in cantiere pronta per il montaggio ed il seguente getto di completamento in calcestruzzo.



### Abbinamenti Trave-Solaio



### Personalizzazioni



## Trave REI S NPS® Variante CLS NPS®

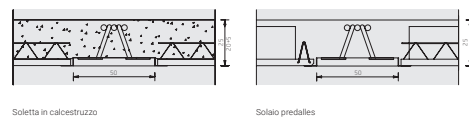


La trave autoportante NPS® REI S è brevettata per l'**ottimale abbinamento con solai a lastra** e consente di realizzare impalcati senza sottosporgenze. E' ideale per **massimizzare l'altezza dei locali**, garantendo **resistenza al fuoco nativa**, senza bisogno di trattamenti aggiuntivi.

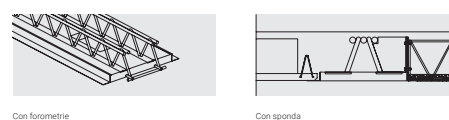
Arriva in cantiere pronta per il montaggio ed il seguente getto di completamento in calcestruzzo. Funge da supporto per il solaio e da cassero per il getto di completamento.



### Abbinamenti Trave-Solaio



### Personalizzazioni



PDTI® NPS® Pilastro

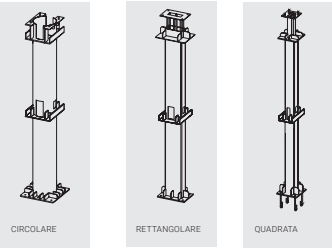


**Resistenza meccanica  
al fuoco (R)**  
da 60 a 120 minuti.

**DATI TECNICI**  
In acciaio strutturale S275/S355  
ai sensi della norma UNI EN 10219-1.  
Il getto di completamento prevede  
la stessa classe impiegata per il getto  
delle opere in elevazione.  
  
I riferimenti normativi sono §4.3 NTC  
2018 e EC 4 per il dimensionamento,  
§7.6 e EC8 per la sismica, DM 3.8.2015  
(tabellare) e EC4 (analitica)  
per la resistenza al fuoco.

Indicato per costruzioni **in zona sismica** e per lo **sfruttamento massimo degli spazi** grazie alla compattezza delle sezioni pur mantenendo le prestazioni richieste, alla **ductilità** della struttura e al confinamento dei nodi trave-pilastro. È adatto per infrastrutture, grandi opere, così come per l'edilizia residenziale. Il pilastro a dilatazione trasversale impedita PDTI® NPS® è costituito da profili metallici di sezione circolare, quadra o rettangolare, generalmente riempiti di calcestruzzo.  
Coniuga la versatilità di una struttura metallica in fase provvisoria alla resistenza di una struttura mista acciaio- calcestruzzo in fase di esercizio. Una gabbia metallica interna rende il pilastro **resistente al fuoco in modo nativo**.

**Sezione  
dei pilastri**

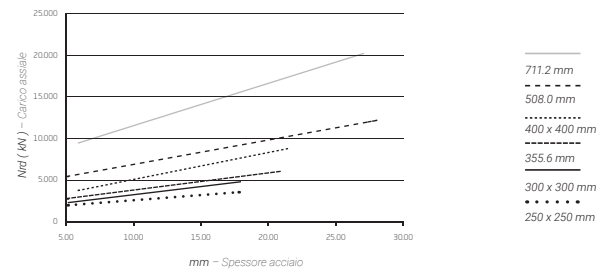


Il nodo NPS® garantisce **ingombri compatti** prevedendo il passaggio di tutte le armature al suo interno. La finestratura del pilastro, in corrispondenza di ogni piano, rende possibile il passaggio razionale dei profili assicurando **continuità strutturale** sia a taglio sia a flessione delle travi di piano. Il calcestruzzo viene totalmente contenuto nel nodo, rimanendo meccanicamente in sede durante il carico ciclico del sisma. La grande duttilità delle sezioni miste sommata alle caratteristiche di **confinamento del calcestruzzo e continuità strutturale** tipiche del nodo NPS® assicurano il pieno **rispetto della gerarchia delle resistenze**.

Guarda il video  
del montaggio  
sul nostro canale  
YouTube



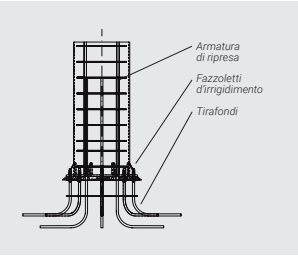
**Predimensionamento  
grafico**



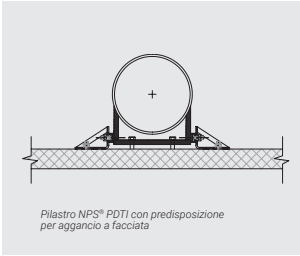
**Finiture**



**Attacco alle  
fondazioni**



**Aggancio  
alle facciate**





**NPS®**

Trave, pilastro e solaio misti acciaio-calcestruzzo compongono NPS® New Performance System. La tecnologia innovativa che assicura una soluzione costruttiva leggera e snella con risparmio in termini di tempo e costi.

Beam, column and slab constitute NPS® New Performance System. This innovative technology ensures a light structural frame while saving time and costs.

#### I Vantaggi delle strutture miste NPS®

- Montaggio semplice e veloce
- Elementi strutturali marcati CE EN 1090-1
- Minor carico sulle fondazioni
- Resistenza al fuoco fino a 180 minuti
- Sismoresistenza
- Sezioni snelle
- Un unico fornitore per tutti gli elementi strutturali dell'edificio

#### Benefits of NPS® composite structures

- Easy and fast to install
- CE EN 1090-1 marking
- Less load on the foundations
- Fire resistant up to 180 minutes
- Seismic resistant
- Slim sections
- Only one supplier for all the building structural elements

## Gli elementi della struttura mista NPS® The elements of NPS® composite frame



#### Travi NPS®

Travi con sezioni sottili, ideali per grandi luci. Le travi NPS® sono abbinabili ad ogni tipo di solaio, con l'alveolare così come con la lastra predalles, la soletta piena o il solaio in laterizio.

#### NPS® beams

Beams with slim sections, optimal for long spans. NPS® beams fit to every kind of slab: hollow core slab as well as filigree slab, concrete slab or brick slab.

#### Pilastri NPS®

Tecnostrutture propone due linee di pilastri: PDTI® e PTC®. I pilastri in acciaio PDTI® NPS® vengono prodotti in stabilimento, consegnati in versione pluripiano in cantiere dove vengono posati e riempiti in calcestruzzo. Sono disponibili in sezioni quadra, rettangolare e circolare. I pilastri PTC® NPS® in calcestruzzo centrifugato sono resistenti al fuoco R180'. Grazie all'estrema densità del calcestruzzo, garantiscono alta resistenza pur mantenendo sezioni molto sottili e consentendo così di massimizzare gli spazi abitativi. Sono disponibili in sezioni quadra, rettangolare, circolare e ovale.

#### NPS® columns

Tecnostrutture presents two lines of columns: PDTI® and PTC®. Steel NPS® PDTI® columns are produced in our modern plants and filled with concrete on the construction site. They can have square, rectangular or circular form. Spun concrete NPS® PTC® columns are fire resistant up to 180 minutes. The extreme density of the concrete enables high resistance even with very slim sections, offering the maximum use of space. They can have square, rectangular, circular or oval form.

#### Solai NPS®

Tecnostrutture ha studiato alcuni solai perfettamente abbinabili agli elementi NPS® al fine di alleggerire ulteriormente la struttura portante dell'edificio. Airfloor™ è l'ultimo brevetto Tecnostrutture: un solaio autoportante in polistirene espanso, ideato per minimizzare i carichi strutturali mantenendo elevate le performance del solaio.

#### NPS® slabs

Tecnostrutture has developed some slabs that fit perfectly to all NPS® elements in order to make the building structure even lighter. Airfloor™ is the latest patented product: a self-supporting slab made of EPS (airpop), it is developed to minimize structural loads, while maintaining the high performance of the slab.



La soluzione mista NPS® è disponibile nelle seguenti versioni:  
NPS® composite frame is available in the following versions:

NPS <sub>L</sub>	NPS <sub>AIR</sub>	NPS <sub>CORE</sub>	NPS <sub>PREDALLES</sub>	NPS <sub>BRICK</sub>
<div><div>+</div>Trave BASIC NPS® BASIC NPS® Beam</div> <div><div>+</div>Pilastro PDTI® NPS® PDTI® NPS® Column</div> <div><div>+</div>Solaio in lamiera Steel Slab</div>	<div><div>+</div>Trave BASIC NPS® BASIC NPS® Beam</div> <div><div>+</div>Pilastro PDTI® NPS® PDTI® NPS® Column</div> <div><div>+</div>Solaio AirFloor™ AirFloor™ Slab</div>	<div><div>+</div>Trave CLS NPS® CLS NPS® Beam</div> <div><div>+</div>Pilastro PTC® NPS® PTC® NPS® Column</div> <div><div>+</div>Solaio alveolare Hollow Core Slab</div>	<div><div>+</div>Trave REI S NPS® REI S NPS® Beam</div> <div><div>+</div>Pilastro PDTI® PTC® NPS® Column PDTI® or PTC® NPS® Column</div> <div><div>+</div>Solaio Predalles Predalles Slab</div>	<div><div>+</div>ECOTRAVE NPS® NPS® ECOTRAVE</div> <div><div>+</div>Pilastro PTC® NPS® PTC® NPS® Column</div> <div><div>+</div>Solaio in laterizio Brick Slab</div>

	NPS <sub>L</sub>	NPS <sub>AIR</sub>	NPS <sub>CORE</sub>	NPS <sub>PREDALLES</sub>	NPS <sub>BRICK</sub>
Ambiti applicativi Areas of use					
Residenziale Residential		■			■
Terziario Offices and Shops	■	■		■	
Ristrutturazioni/Sopraelevazioni Renovations/Upward extensions	■	■			■
Industria Industry			■	■	
Edifici alti Highrise buildings	■	■	■	■	
Ospedali Hospitals				■	
Parcheggi pluripiano Multi-storey car parks			■	■	
Infrastrutture/Ponti Infrastructures/Bridges	■		■	■	
Vantaggi Benefits					
Design Design					
Minor carico sulle fondazioni Less load on the foundations	■	■			
Sezioni ridotte Slim sections	■	■	■	■	■
Spessori contenuti Reduced thickness	■	■	■	■	■
Complanarità trave-solaio Beam-slab without downstanding		■		■	■
Adattabile alle necessità degli impianti Suitable for wiring	■	■	■	■	
Adattabile alle geometrie di pianta Suitable for drawing needs	■	■		■	
Isolamento termico Thermal insulation		■			
Autoportante almeno fino a luci di Self-supporting for spans up to	4 m	6 m	18 m	4 m	2 m
Sicurezza Security					
Resistente al fuoco Fire resistant	R120'	R120'	R180'	R120'	R60'
Sismoresistente Seismic resistant	■	■	■	■	■
Sicurezza in cantiere Safety on the construction site	■	■	■	■	■
Montaggio Placement					
Semplicità e velocità di posa Easy and fast placement	standard	massima	media	media	standard
Necessaria armatura aggiuntiva pre-getto Additional net needed before casting	■		■	■	■

## NPS<sub>L</sub>

Trave BASIC NPS® + Pilastro PDTI® NPS® + Solaio in lamiera  
BASIC NPS® Beam + PDTI® NPS® Column + Steel Slab

Ideale per l'impiego in edifici alti così come per interventi di ristrutturazione o sopraelevazioni grazie al limitato peso proprio delle strutture NPS®, che si traduce in minor carico sulle fondazioni. Struttura trave, pilastro e solaio dalla superficie metallica, NPS<sub>L</sub> è sismoresistente senza l'impiego di setti di controvento e resistente al fuoco fino a 120 minuti.

NPS<sub>L</sub> is ideal for highrise building as well as for renovations or new levels on existing constructions thanks to the limited weight of the structures, thus reducing the load on the foundations. All structural elements have a steel surface. This version is seismic resistant without requiring extra walls and is also fire resistant up to 120 minutes.

Vantaggi Benefits
<div><div>•</div>Minor carico sulle fondazioni</div> <div><div>•</div>Sezioni ridotte</div> <div><div>•</div>Spessori contenuti</div> <div><div>•</div>Adattabile alle necessità degli impianti</div> <div><div>•</div>Adattabile alle geometrie di pianta</div> <div><div>•</div>Autoportante fino a 4 metri</div> <div><div>•</div>Resistente al fuoco R120'</div> <div><div>•</div>Sismoresistente senza impiego di controventi</div> <div><div>•</div>Semplice e veloce da installare</div> <div><div>•</div>Sicurezza in cantiere</div>

•

Less load on the foundations

•

Slim sections

•

Reduced thickness

•

Suitable for wiring

•

Suitable for drawing needs

•

Self-supporting for spans up to 4 m

•

Fire resistant R120'

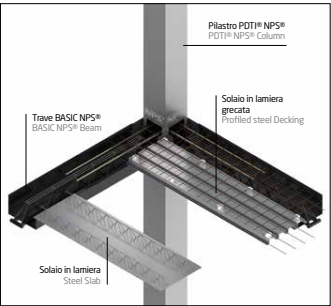
•

Seismic resistant

•

Easy and fast placement

•

Safety on the construction site

Ambiti applicativi Areas of use
<div><div>•</div>Terziario</div> <div><div>•</div>Ristrutturazioni e sopraelevazioni</div> <div><div>•</div>Edifici alti</div> <div><div>•</div>Infrastrutture e ponti</div>

•

Offices and Shops

•

Renovations/Upward extensions

•

Highrise buildings

•

Infrastructures/Bridges

A sinistra: NPS<sub>L</sub> impiegato per la torre Europarco, Roma.  
A destra: esempi applicativi di NPS<sub>L</sub> per il municipio di San Felice sul Panaro, Modena.

Left: NPS<sub>L</sub> used for the Europarco Tower, Rome.  
Right: Examples of NPS<sub>L</sub> for the municipality of S.Felice sul Panaro, Modena, Italy.



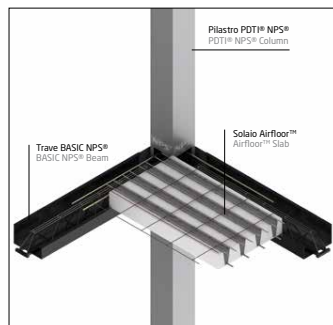
## NPS<sub>AIR</sub>

Trave BASIC NPS® + Pilastro PDTI® NPS® + Solaio Airfloor™  
BASIC NPS® Beam + PDTI® NPS® Column + Airfloor™ Slab

La leggerezza, l'isolamento termico e un intradosso estremamente liscio fanno di NPS<sub>AIR</sub> la soluzione ottimale per sopraelevazioni, ristrutturazioni o nuovi edifici residenziali. Composta da trave e pilastro con superficie in acciaio, NPS<sub>AIR</sub> è la versione NPS® più semplice e veloce da installare e si adatta a tutte le geometrie di progetto.

Lightweight, thermal insulation and an extremely smooth base make NPS<sub>AIR</sub> the perfect solution for upward extensions, renovations or new residential building. Composed of beam and column with a steel surface, NPS<sub>AIR</sub> is the easiest and fastest NPS® version to be placed and fits every kind of project needs.

Vantaggi Benefits	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Minor carico sulle fondazioni</li> <li>Sezioni ridotte</li> <li>Spessori contenuti</li> <li>Complanarità trave-solaio</li> <li>Adattabile alle geometrie di pianta</li> <li>Adattabile alle necessità degli impianti</li> <li>Isolamento termico</li> <li>Autoportante fino a 6 metri</li> <li>Resistente al fuoco R180'</li> <li>Sismoresistente senza impiego di controventi</li> <li>La versione NPS® più semplice e veloce da installare</li> <li>Non richiede armature aggiuntive per il getto</li> <li>Dotato di apposite piastre d'aggancio per il controsoffitto</li> <li>Sicurezza in cantiere</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Less load on the foundations</li> <li>Slim sections</li> <li>Reduced thickness</li> <li>Beam-slab without downstanding</li> <li>Suitable for drawing needs</li> <li>Suitable for wiring</li> <li>Thermal insulation</li> <li>Self-supporting for spans up to 6 m</li> <li>Fire resistant R180'</li> <li>Seismic resistant</li> <li>The easiest and fastest NPS® version to place</li> <li>No additional net needed before casting</li> <li>Equipped with steel plates to accommodate false ceiling</li> <li>Safety on the construction site</li> </ul>



Ambiti applicativi Areas of use	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Residenziale</li> <li>Terziario</li> <li>Ristrutturazioni e sopraelevazioni</li> <li>Edifici alti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Residential</li> <li>Offices and Shops</li> <li>Renovations/Upward extensions</li> <li>Highrise buildings</li> </ul>



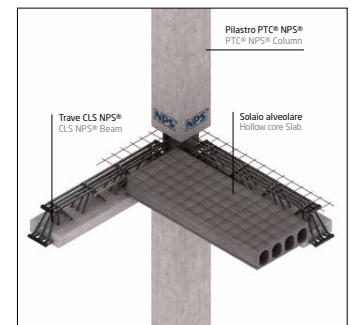
## NPS<sub>CORE</sub>

Trave CLS NPS® + Pilastro PTC® NPS® + Solaio alveolare  
CLS NPS® Beam + PTC® NPS® Column + Hollow core Slab

La soluzione che meglio risponde alle esigenze degli edifici industriali e dei parcheggi pluripiano così come di opere infrastrutturali. E' resistente al fuoco fino a 180 minuti, sismoresistente, adatta a grandi luci con un'autoportanza che supera i 18 metri e predisposta per il passaggio degli impianti. NPS<sub>CORE</sub> comprende pilastri PTC® in calcestruzzo centrifugato, materiale che garantisce alte capacità di carico, pur con sezioni estremamente snelle. Ciò si traduce in minor impatto architettonico, in più posti auto o in più spazio abitativo a disposizione.

This solution meets all the requirements of industrial buildings, multi-storey car parks and infrastructures. It is fire resistant up to 180 minutes, seismic resistant and can accommodate wiring. NPS<sub>CORE</sub> is optimal for long spans being self-supporting for over 18 meters. Made of spun concrete, PTC columns ensure high load performance even with slim sections. This means more parking spaces, more indoor space and less impact on the architectural layout.

Vantaggi Benefits	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Sezioni ridotte</li> <li>Spessori contenuti</li> <li>Adattabile alle necessità degli impianti</li> <li>Autoportante per luci oltre i 18 metri</li> <li>Resistente al fuoco R180'</li> <li>Sismoresistente</li> <li>Veloce e semplice da installare</li> <li>Sicurezza in cantiere</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Slim sections</li> <li>Reduced thickness</li> <li>Suitable for wiring</li> <li>Self-supporting for spans up to 18 m</li> <li>Fire resistant R180'</li> <li>Seismic resistant</li> <li>Easy and fast placement</li> <li>Safety on the construction site</li> </ul>
Ambiti applicativi Areas of use	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Industria</li> <li>Edifici alti</li> <li>Parcheggi pluripiano</li> <li>Infrastrutture e ponti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Industry</li> <li>Highrise buildings</li> <li>Multi-storey car parks</li> <li>Infrastructures/Bridges</li> </ul>



Sopra: parcheggio "Medaglie d'Oro" interrato e pluripiano, Milano.  
A sinistra: Struttura portante NPS<sub>CORE</sub> del parcheggio "Monte Oro", Riva del Garda, Trento.  
Above: Multi-storey car park "Medaglie d'Oro", Milan. Left: NPS<sub>CORE</sub> installed for the multi-storey car park "Monte Oro", Riva del Garda, Trento, Italy.



# *The “Filigrana” system for a fair look in facades solar-panel embedded*

*Piantanida P.<sup>1\*</sup>, Vottari A.<sup>2</sup>*

<sup>1\*</sup> Politecnico di Torino - DISEG, Italia, Torino, [paolo.piantanida@polito.it](mailto:paolo.piantanida@polito.it)

<sup>2</sup> Politecnico di Torino - DISEG, Italia, Torino, [antonio.vottari@polito.it](mailto:antonio.vottari@polito.it)

## ABSTRACT

Solar energy is the most available and easy to use of the renewables available for buildings. Retrofitting the building stock goes through a designed, non-emergency placement of solar panels. In some cases, rooftops are not the best option: for example, in residential buildings they are not equally available to all owners or in commercial centers they are cluttered with chillers, AHUs, and so on. In contrast, the integration of solar collectors into the vertical envelope raises some visual issues related to the image of the urban environment, which has to deal with dark, shiny surfaces that are, moreover, suboptimally oriented with respect to the sun's rays and therefore inefficient. This paper focuses on the new design of a thermal insulation system that incorporates photovoltaic or thermal solar collectors and allows for dimensional flexibility, scalability, and custom finishes. Retracing the development of the optimal shape of thermal insulation cladding, devices that enable the application of photovoltaic strings or solar thermal panels are also illustrated and visual results in different contexts are proposed. The project result, originally named *Filigrana* and covered by an Italian patent, has been brought to the level of pre-feasibility by Dreamet S.r.l. (Modena, Italy) under the name “Aster”: it allows the free choice of color of cladding, the replacement of all or part of the solar collectors over time depending on their technological evolution, and, most importantly, it is designed to improve the orientation of solar collectors on the vertical walls of buildings. Shopping malls and warehouses may be the main target, but the system also allows for managing access to photovoltaic energy for each of the individual tenants, avoiding impromptu and random additions to facades and improving the passive thermal performance of the building envelope.

## KEYWORDS

*BIPV, photovoltaic envelope embedded, patented PV façade, green building, envelope refurbishing.*

## 1. CONTEXT OUTLINE

The process of de-carbonization of the European continent, or the so-called Green Deal, aims to reduce the net emission of greenhouse gases into the atmosphere by 55 percent by 2030 compared to the 1990 situation. Approximately three-quarters of Europe's CO<sub>2</sub> emissions come from energy production and use, so the deployment of renewables plays a key role. In this regard, the building sector is critical mainly because of weakness in recycling and reuse of materials and because it contributes 14% of the EU's total direct GHG emissions for its own operations (2021 data), due to the use of fossil fuels for HVAC and DHW production [1]. Extensive replacement of the building stock has unfavorable environmental and social impacts, due to the aforementioned limited opportunities for recycling or reuse of materials and the complexity of inhabitant relocation, while widespread envelope efficiency and energy retrofit of the building stock seems to be a more feasible strategy [2], and today is already responsible for an annual reduction of about 1.4 percent of greenhouse gas emissions from the building sector, as noted by Eurostat.

Of the renewable sources available for integration into the building system, solar energy is the quietest and usable almost regardless of the scale of the system, at least during warm periods; however, it carries the greatest constraints visually (footprint and appearance of receptors) and spatially (location and shading).

Besides roofs, opaque parts of favorably exposed facades are surfaces where it is conceptually possible to place solar collectors. This is demonstrated, for example, by the loggia of the “Sasso Rosso” hostel (Mario Botta, 2001 [3]), in the National Youth Sports Center in Tenero (CH), which integrates solar thermal panels into the parapets (Fig. 1), and by the widespread commercial offerings of photovoltaic kits.

The latter usually have a peak power within 800 W (a threshold above which photovoltaic installation in Italy requires a formal authorization process) and come with a set of balcony railing anchors for easy DIY installation. But in this way, everyone's legitimate need to be able to self-supply with an individual, autonomous source of green electricity can clash with the right to use the roofs of buildings on the one hand and respect for the formal unity of the elevations on the

3. replaceability of active components, with particular reference to photovoltaic cells, reducing as much as possible the constraints for spare parts availability in the market, also to encourage subsequent upgrades to gradually more efficient components;
4. scalability of the system, e.g., from the balcony parapet to the facade of sports or commercial centers;
5. integrability of the system into various building and technological contexts.

### 3. SYSTEM DESIGN

The design research work was conducted by changing the objective for the adoption of the collectors in the façade system: not a technological trophy to be exhibited as in many BAPVs (and like the fluorescent tubes of the luminaires of the 1930s and 1940s), and not already an element to be faked by finishing, and for this reason acceptable only because it is artifactual (like the televisions hidden behind the mirrors), but rather a set of parts that are declared in their explicit technical consistency and are put into system by the technological design that constitutes their control.

The choice was therefore made not to intervene in the coloring of the active elements, because it would have been difficult to guarantee their identical availability over time and because the market already offers a range of proposals in this regard, but instead it was studied how to metabolize the visual impact of the captors in the appearance of the façade from a real point of view, that of proximity to the building, at street level.

Based on these assumptions, the research activity reasoned to hybridize the categories of BIPV and BAPV: the conceptualized system is integrated (BIPV) as far as the functional and conceptual scheme is concerned, while it is not in the strict sense for the technological solution. Indeed, one can eliminate or replace all or part of the active elements with only the conditioning of the dimensional compatibility of any additions, without the need to replace the corresponding façade finish.

However, the proposed system is not even “added” to the facade (as in BAPVs), because the system determines the form and construction rule of the facade itself.



Fig. 4 *Filigrana* pattern (authors' elaboration) © 2020, Paolo Piantanida, Antonio Vottari

The developed solution is based on a thermal insulation façade panel with a special shaping of the outer side (Fig. 4), so as to offer an alternation of support strips, for the integration of thin thermal and/or photovoltaic strips, and corresponding undercut strips, the latter with the possibility that the coloring and finishing as desired build the image of the building.

The pitch, which can also be very small depending on the “string” of solar elements available, alternates between passive and active undercut strips facing the sun. It generates a rather dense horizontal pattern on the façade that favors the



view, especially from below, of the undercut strips alone, while almost nullifying the visual impact of the solar collection strings, usually dark blue or black in color, which also have a better orientation for solar collection. The visual prevalence of the undercut strips, with the desired color or finish, helps to generate (or regenerate in the case of existing properties) the image of the building and integrate renewable energy into it, without the color of the collectors overriding the perception of the color of the façade.

#### 4. SYSTEM COMPONENTS

The system, which in Fig. 4 has been depicted with photovoltaic cells, consists of a shaped layer that forms the thermal insulation of the vertical closure, a finishing layer (cladding), strings of solar thermal or photovoltaic collectors, and a set of connections and anchors, as described in more detail below.

Undercut areas can be drilled with all the holes necessary for facade tooling (e.g., flag signs, tensioners for public grid cables, various brackets, etc.), which in facades with integrated, continuous PV cladding is a critical task even if already foreseen at the design stage. Undercut areas can also reproduce trademarks or logos, for example in the blind facades of shopping malls, or be equipped with videos for synchronous playback of images or notices, for example on cinema or theater programming, current initiatives and offers, etc.

In the case of using wood, the proposed system can even integrate into high-mountain buildings and provide an off-grid energy source with good continuity for high-altitude shelters and bivouacs, being less prone to snow accumulation (Fig. 5).



Fig. 5 High mountain shelter rendering (authors' elaboration) © 2020, Paolo Piantanida, Antonio Vottari

##### 4.1. THERMAL INSULATION

It consists of thermal insulation in the form of an external coat, laid with the techniques usually used in this type of intervention depending on the type of substrate (e.g., doweling) and with the usual care prescribed in the joint execution. It is made with an appropriate predefined outline so that the strips intended to accommodate the collectors have an inclination toward the sun suitable for improving the efficiency of the system: this can be achieved, for example, by orienting the PV perpendicular to the direction of the sun's rays at the summer solstice. The undercut strips should not

cause shadows carried on the active strips: for example, a right angle between the undercut and the collectors (oriented perpendicular to the summer solstice) can be adopted, or the undercut tilt can be maintained as in the previous case, but the tilt of the capturing strip is increased so as to maximize its annual yield.

With the same outline, the layer thus conformed can be made, according to the performance determined at the design stage (mechanical, biological, fire resistance, etc.), with the materials normally available for thermal insulation, for example, by means of glass or rock wool panels, in expanded polystyrene sheets with graphite added, in panels of wood agglomerates, etc.. In any case, the minimum panel thickness (at the “grooves”) must still meet the regulatory requirements on verification of the maximum U-value for opaque building components.

In the research conducted by the authors, the geometry-dependent performance of the system was evaluated in two cases, according to UNI/TS 11300-4:2012 [5], with reference to the irradiance values of UNI 10349 [6] and the reflectance values of the surrounding surfaces according to UNI/TR 11328-1 (Table 3) [7], assuming a light or medium color (brick lath or paint) of the cladding.

In the first case, the reference is the direction of the sun’s rays at noon on the summer solstice; in the second case, the inclination that maximized annual energy production was used. Table 1 summarizes the geometric data of the façade profile for two widths of the absorbers (20-cm band and 7-cm band) at solar noon on June 21 in some Italian locations (Fig. 6).

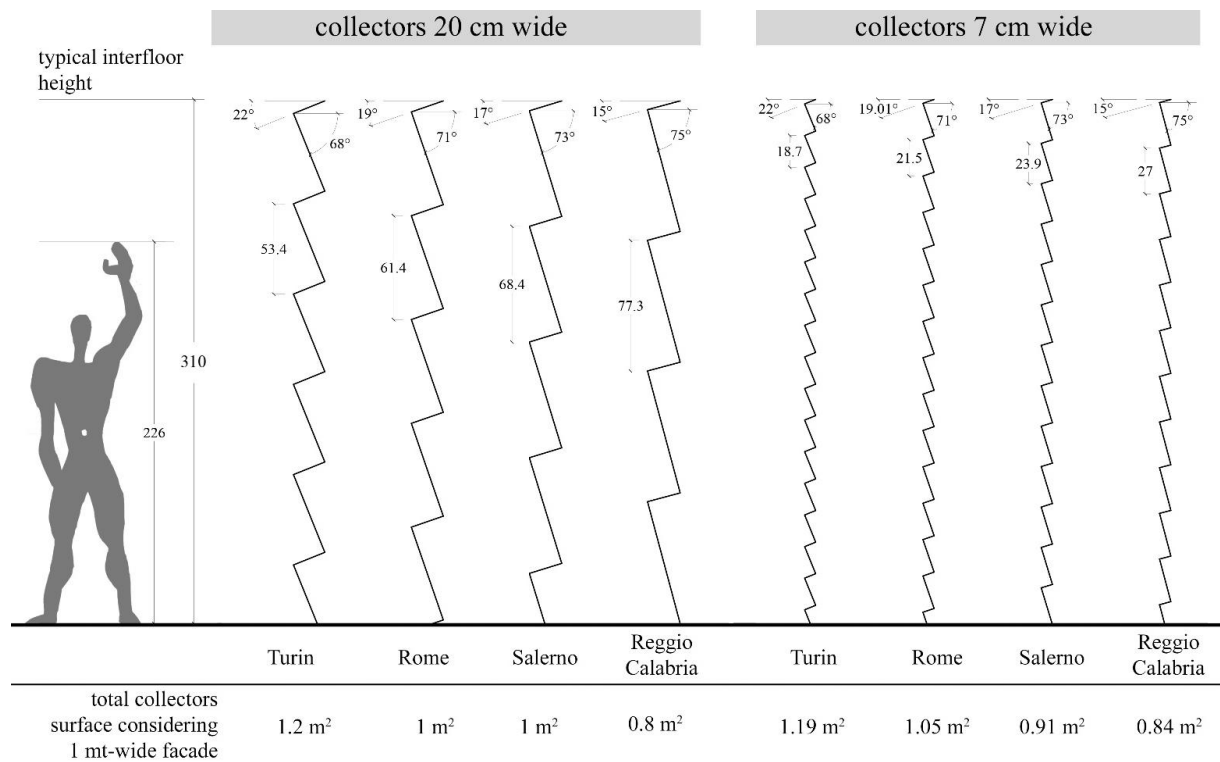


Fig. 6 Geometric data of the façade profile for two widths of the absorbers (20-cm band and 7-cm band) and best-option profile (i. e. no shadows) at solar noon on June 21) in some Italian locations (authors’ elaboration) © 2024, Paolo Piantanida, Antonio Vottari

The silhouette that maintains orthogonality between the bands (solar and undercut) is the most favorable for concealment of collectors, whether photovoltaic or thermal, but may penalize somewhat the seasonal performance. In the winter period, in fact, the hours of sunshine decrease and also the inclination of the rays decreases, resulting far from perpendicularity to the panels. The aforementioned Table 1 shows the annual producibility in kWh/m<sup>2</sup> with photovoltaic elements of 141 Wp/m<sup>2</sup> (the gross area of the photovoltaic string is considered, not the façade frontal area), in the case of panel orientation perpendicular to the direction of the sun’s rays at the summer solstice.

For comparison, panel geometry was calculated again by increasing the PV tilt to that which maximizes annual producibility: the data are shown in Table 2 (as in Table 1, the gross area of the PV string is considered, not the frontal area of the façade). If annual productivity per sq m of frontal façade area is considered, the more the latitude increases, the more the annual energy per sq m of PV decreases, but this is offset by the increase in the area of the receptors due to the different tilt of the active strip.



	<i>latitude</i>	<i>annual energy by PV</i>	<i>caprot tilt</i>	<i>undercut tilt</i>	<i>crest pass (collector 20 cm wide)</i>	<i>crest pass (collector 7 cm wide)</i>
	[deg]	[kWh/m ] <sup>2</sup>	[deg]	[deg]	[cm]	[cm]
Turin	45	159.3	22	68	53.4	18.7
Rome	42	186.4	19	71	61.4	21.5
Salerno	40	178.4	17	73	68.4	23.9
Reggio Calabria	38	195.7	15	75	77.3	27.0

 Tab. 1 - Example of orthogonal profile characteristics of the *Filigrana* panel with variable outline depending on latitude

	<i>gain (compared to Tab. 1)</i>	<i>annual energy by PV</i>	<i>collector + undercut tilt</i>	<i>crest pass (collector 20 cm wide)</i>	<i>crest pass (collector 7 cm wide)</i>
	[%]	[kWh/m ] <sup>2</sup>	[deg]	[cm]	[cm]
Turin	4.72	166.8	42.5+68	50.0	17.5
Rome	5.50	196.7	42.0+71	56.5	19.8
Salerno	4.33	186.1	40.0+73	63.0	22.0
Reggio Calabria	5.88	207.2	40.5+75	69.7	24.4

 Tab. 2 - Characteristics of the optimized profile of the *Filigrana* panel at different latitudes in the Northern Hemisphere. Data in the red box identify the geometric profile chosen for standardization.

Finally, the profile was assumed to be standardized at a ridge pitch of 50 cm (for 20 cm wide collectors) and 17.5 cm (for 7 cm wide collectors): the values obtained are highlighted in the box in Tab. 2.

In this case, each square meter of façade accommodates about 0.35 m<sup>2</sup> of solar panels (thermal or photovoltaic), in both collector widths: in the case of photovoltaics, there is about 50 Wp of installed power per square meter of opaque façade, and the annual production is shown in Table 3 with reference to the gross PV active area and façade area.

This is almost identical to that of the optimized profile in Table 2 (the calculated loss is within 0.35 per thousand, largely within the uncertainties of the numerical model), demonstrating the industrial convenience of producing a single template. In addition, at locations further south, annual PV energy production per sq m of façade is favored by the larger active area compared to the profile optimized for that location (see Table 3).

	<i>latitude</i>	<i>annual energy production per sq m of façade</i>	<i>annual energy production per sq m of PV</i>	<i>gain compared to Tab. 1</i>	<i>loss compared to Tab. 2</i>
	[deg]	[kWh/m ] <sup>2</sup>	[kWh/m ] <sup>2</sup>	[%]	[%]
Turin	45	58.9	166.8	45.06	0.00
Rome	42	69.4	196.6	52.08	0.04
Salerno	40	65.7	186.1	41.54	0.00
Reggio Calabria	38	73.1	207.1	55.20	0.34

 Tab. 3 - Estimated annual productivity of the standardized *Filigrana* panel profile at different latitudes in Italy (collector tilt: 42.5°; undercut tilt: 68°; ridge pitch 50 cm with 20 cm collectors; ridge pitch 17.5 cm with 7 cm collectors; 141 Wp/m<sup>2</sup> PV cells)

## 4.2. FINISH

The system's shaped panels are compatible with different types of coatings. For example, they can be shaved with a multilayer plastering cycle on a plaster-holding mesh, similar to traditional overcoat systems, and subsequent painting: this would reintroduce the usual, reassuring grain size and texture of the plastered surfaces, without the shine of the panels overpowering the image of the building. In addition, the possibility of decoupling the PV panels (or disconnecting the thermal collectors from the hydraulic circuit) would allow, when necessary, interventions to restore or modify the paintwork in the same manner as traditional facades.

The application, for example, by means of adhesive on appropriate skim coats, of a finish with klinker or brick laths is possible and brings back to the building tradition, but bearing in mind the added value represented by the segmentation in bands, useful to recover and mitigate application inaccuracies as well as to manage thermal expansion to a greater extent than traditional large planes.

to the level of pre-feasibility by Dreamet S.r.l. under the brand name “Aster”, was selected among the innovative products admitted by the organizing committee of the “Architect@Work Milano” fair for the November 2022 edition.

## 6. CONCLUSIONS

The achieved patent demonstrates the possibility of fostering the green transition of buildings by retrofitting their facades to transform favorably exposed ones into active elements for solar energy utilization. Considering, for example, a condominium building that has 700 m<sup>2</sup> of South facade (35 m front and 8 floors, with 4 dwellings per floor) that is assumed to be in full sun for about half, the facade can integrate about 18 kWp (i. e. 525 Wp per dwelling: in this case, the power is still compatible with the limit for a “debureaucratic” installation). These results are estimated using low-cost, low-efficiency photovoltaic elements: if the best cells available on the market were integrated (220 Wp/m<sup>2</sup>), the available power would rise to around 30 kWp, with about 930 Wp per dwelling.

Further developments to be pursued include the study of integrating solar thermal and photovoltaics into a single product, so that the thermal system could be the cold source of a heat pump system powered by the electricity produced by photovoltaics. This would cool the photovoltaic cells increasing their efficiency of about 5 percent, and increase the efficiency of the water-to-water heat pump too, because it would work with a cold water loop at a more favorable (i.e., higher) temperature than the external air unlike the more common air-to-water operation.

## 7. REFERENCES

- [1] Tsemekidi Tzeiranaki S, Bertoldi P, Castellazzi L, Gonzales Torres M, Clementi E, Paci D. Energy Consumption and Energy Efficiency trends in the EU. 2000-2020, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022, doi:10.2760/727548, JRC130732
- [2] Piantanida P, Vottari A. Rethinking the (near) future of postwar built environment: a systemic approach through façade-only replacement. *TEMA* Vol. 6, No. 1 (2020), doi: 10.30682/tema0601f
- [3] Gamba R. Centro sportivo di Tenero, Canton Ticino. *Costruire in laterizio* n. 91 (2003), pp. 4-11.
- [4] Berger K, Cueli A B, Boddaert S, Del Buono S, Delisle V, Fedorova A, Frontini F, Hendrick P, Inoue S, Ishii H, Kapsis C, Kim J-T, Kovacs P, Martin Chivelet N, Maturi L, Machado M, Schneider A, Wilson H R. International definitions of “BIPV”. Report IEA-PVPS T15-04: 2018. ISBN: 978-3-906042-73-2
- [5] UNI/TS 11300-4. Energy performance of buildings - Part 4: Renewable energy and other generation systems for space heating and domestic hot water production. UNI, Milano, 2012
- [6] UNI 10349-1 & EC 1-2017 UNI 10349-1. Heating and cooling of buildings - Climatic data - Part 1: Monthly means for evaluation of energy need for space heating and cooling and methods for splitting global solar irradiance into the direct and diffuse parts and for calculate the solar irradiance on tilted planes. UNI, Milano, 2017
- [7] UNI/TR 11328-1. Solar energy - Calculation of energy gains for building applications - Part 1: Evaluation of radiant received energy. UNI, Milano, 2009
- [8] Khan H A, Asim K, Akram F, Hameed A, Khan A, Mansoor B. Roll Bonding Processes: State-of-the-Art and Future Perspectives. *Metals* 2021, 11, 1344, doi: 10.3390/met1109134
- [9] International Energy Agency, Special Report on Solar PV Global Supply Chains, IEA Publications, Paris, 2022
- [10] Shilpa K, Ankit B, Aniruddha P, Sadhana R. Efficiency enhancement of photovoltaic panel by heat harvesting techniques. *Energy for Sustainable Development* Vol. 73 (2023), pp. 303-314, ISSN: 0973-0826, doi: 10.1016/j.esd.2023.02.007