

Coordinatore:

Ing. Antonio Di Luccio



COMMISSIONE INGEGNERIA FERROVIARIA

## Commissione Ingegneria Ferroviaria Verbale della riunione n.6 del 18/5/2023



*Luogo:* On line



*Data:* 18/5/2023



*Ora* 18:15

### Ordine del giorno

#### I. Hyperloop

#### II. Prossima riunione

#### Presenti:

|    | Nome      | Cognome   |
|----|-----------|-----------|
| 1. | Antonio   | DI LUCCIO |
| 2. | Nunzio    | BRACALE   |
| 3. | Felice    | DE BIASE  |
| 4. | Irina     | DI RUOCCO |
| 5. | Pierluigi | FUSCO     |
| 6. | Francesco | OTTELLO   |
| 7. | Domenico  | PALOMBA   |
| 8. | Giuseppe  | MOLISSO   |
| 9. | Salvatore | STRANO    |

**Distribuzione del Verbale:** a tutti i membri della Commissione + ing. S. Riccio + Segreteria  
OIN



## Argomenti discussi

### I. I. Hyperloop

La presente riunione, in accordo a quanto stabilito dal programma redatto nella riunione della Commissione del 2/2/23, ha per argomento l'avveniristico Hyperloop.

Il tema è presentato dall'ing. Pierluigi Fusco, membro e segretario della Commissione, che ha condotto una ricerca e seguito studi e pubblicazioni in ambito nazionale e internazionale.

Partendo dai cenni storici, sono state illustrate le caratteristiche tecniche, lo stato dell'arte degli sviluppi, il panorama dei finanziamenti pubblici e privati che a livello internazionale sostengono il progetto, le prospettive future.

Nel corso del dibattito sono state evidenziate alcune perplessità e criticità del progetto, a partire dall'effettiva possibilità di utilizzo su larga scala di un sistema di trasporto che è caratterizzato da sfide tecnologiche importanti a partire dai materiali da impiegare, ma anche a considerazioni di sistema, quali la sicurezza e l'affidabilità, gli aspetti antincendio, di evacuazione, l'interscambio con altri sistemi di trasporto.

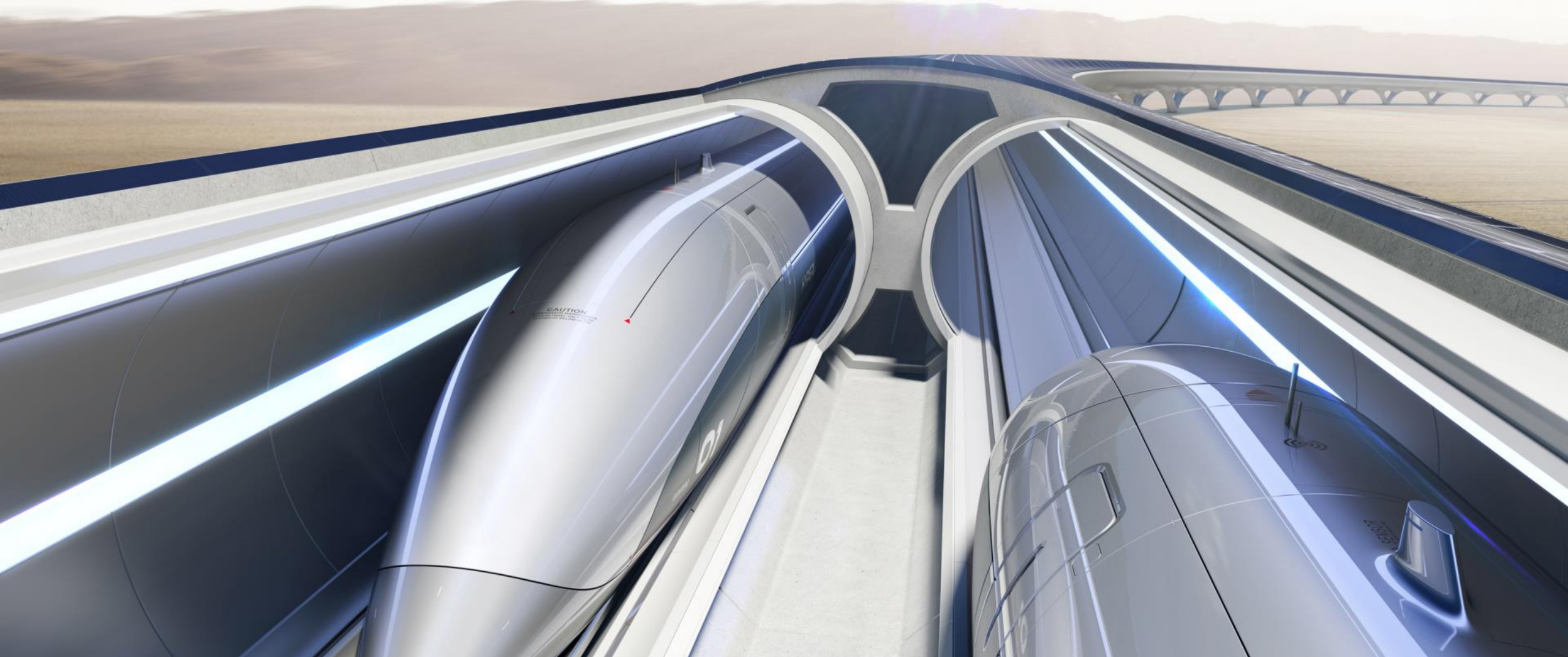
Ad ogni modo, grande interesse e curiosità ha destato tra i partecipanti questa novità che allo stato attuale più che "futuro" possiamo definire "futuribile" e tutta ancora da esplorare.

Si allega al presente Verbale la presentazione che è stata mostrata nel corso della riunione.

Il Coordinatore, ing. Di Luccio, ringrazia l'ing. Fusco e i membri della Commissione che hanno animato l'interessante dibattito.

### II. Prossima riunione

La prossima riunione è prevista per il 6 luglio 2023 ore 18, avrà per argomento "Analisi di Rischio per i sottosistemi strutturali di terra" e sarà successivamente convocata in modalità telematica dalla Segreteria dell'Ordine.



**Hyperloop**

**Ing. Pierluigi Fusco**



COMMISSIONE INGEGNERIA FERROVIARIA

# Programma del giorno

- **Hyperloop: Storia e tecnologia**
- **Vantaggi e svantaggi**
- **Hyperloop nel mondo**
- **Hyperloop in Italia: Stato dell'arte**
- **Parametri e caratteristiche tecniche**
- **Limiti e sfide**
- **Prospettive future**
- **Conclusioni**

# Cosa ci riserva il futuro...?



- Automobili Cars<sup>[1]</sup>
- SkyTran
- Hyperloop
- Space Mobility (StarTram<sup>[2]</sup>, Space Lift, ecc...)

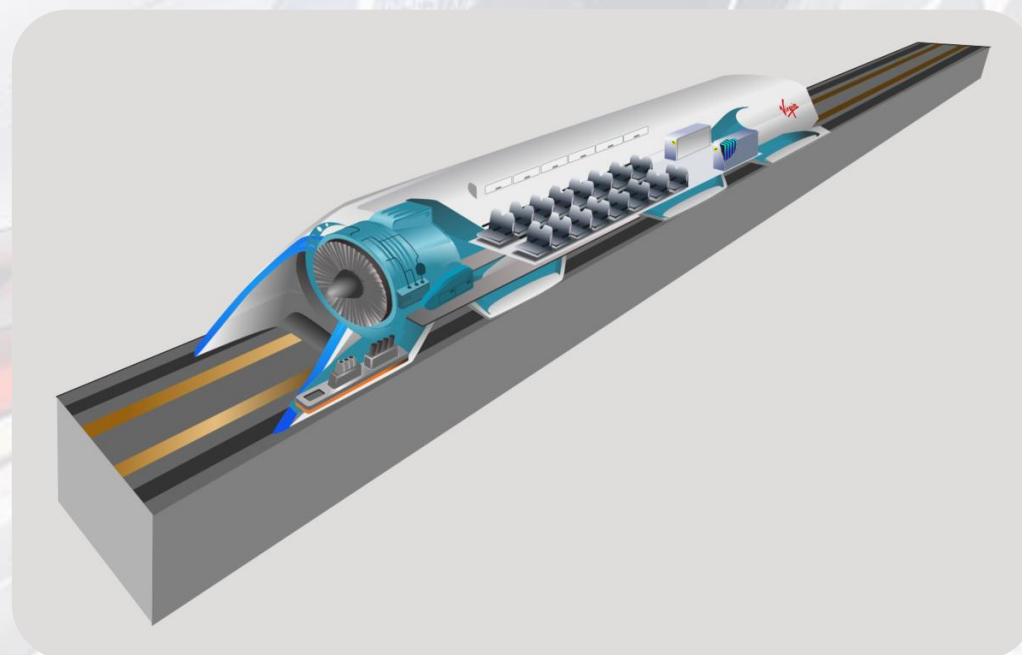
# Hyperloop: cosa e perchè?

Hyperloop è costituito da un **tubo a bassa pressione** con capsule che vengono trasportati a sia **basse** che **alte velocità** per tutta la lunghezza del tubo. Le **capsule** sono supportate su un **cuscino d'aria**, caratterizzato da aria pressurizzata e **sollevamento aerodinamico**.

Le capsule sono **accelerate tramite un acceleratore lineare magnetico** apposto a varie posizioni sul tubo a bassa pressione con **rotori contenuti in ogni capsula**.

I passeggeri possono entrare e uscire dall'Hyperloop nelle **stazioni** situate alle **estremità del tubo**.

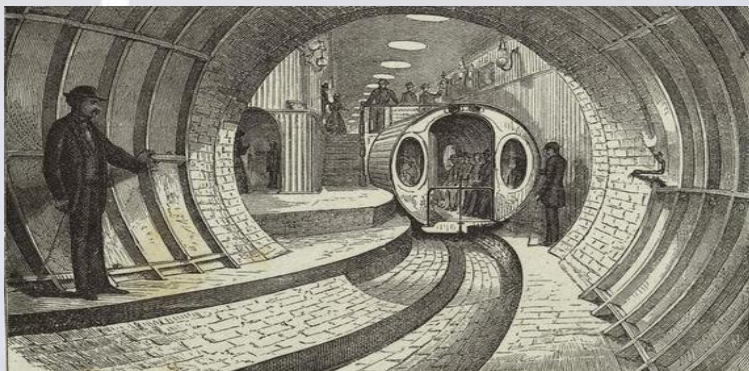
- Attualmente focus su trasporto merci
- Primi accordi e protocolli d'intesa
- Cina VS USA



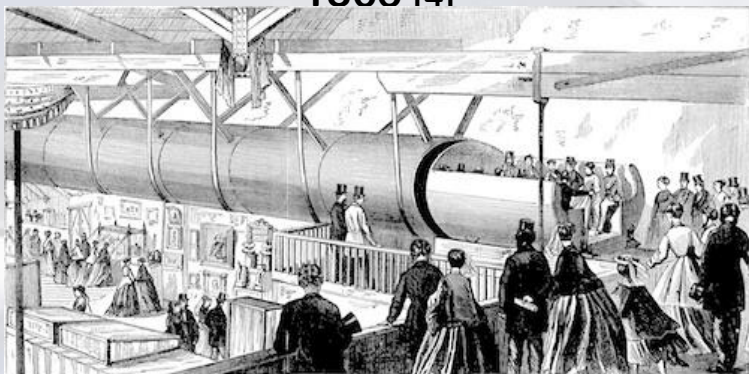
# Storia dell'Hyperloop

## Ieri

George Medhurst esperimenti pneumatici di Londra – 1799 ed Alfred Ely Beach in NYC – 1869 [3]



Jules Verne “Parigi nel 20esimo secolo” – 1863 [4]



## Oggi

SCMaglev in Japan : >600 km/h (2015) [5]



Hyperloop Pod Competition dal 2015 [6]



# Vantaggi e Svantaggi



**Investitori ed attenzione internazionali [8]**

**Notevole crescita negli investimenti**

**Fattibilità tecnico-economica [10]**

**Resilienza meteorologica e sismica [11]**

**Adatto a paesi con temperature steel-friendly [11]**

**Creazione di alternative nel mondo dei trasporti [12]**

**Progetti portati avanti in tutto il mondo [14,15]**

**Sostenibile ed energy-free [10,16]**



**Sviluppo ed implementazione in Corso [17]**

**Incertezza dei costi [19]**

**Criticità politico-sociali [7, 18]**

**Limiti e sfide tecniche [20,21,22]**

**Necessità di investimenti elevate [10]**

**Standardizzazione e legislazione assente [20]**

**Costruzione e ri-allocazione di infrastrutture**

**Incertezza delle revenues**

# Hyperloop nel mondo

**HYPERLOOP**TT

*Virgin* hyperloop one

**SPACEX**

 **HARDT**  
HYPERLOOP

**NEVOMO**

THE  
**BORING**  
COMPANY

 **swisspod**

 **ZELEROS**

**HITACHI**  
Inspire the Next

# Lo scenario italiano

**4°**

Paese più visitato da turisti al mondo<sup>[30]</sup>



## MOBILITA' POST-COVID

Riorganizzazione business dei trasporti  
Spazi minori ed efficienza/sanificabilità



## PIU' VICINI AI PROPRI CARI

Da lavoratori emigrati agli affetti a distanza<sup>[35]</sup>  
Aspetti sociali e comunitari caratterizzanti

**2milioni**

Emigrati da sud a nord italia  
(Dal 2005)<sup>[33]</sup>

**2,4 milioni**

Italiani fruitori di smart mobility  
(entro il 2025)<sup>[34]</sup>



## ESPERIENZIALITA' TURISTICA

Trasporti più veloci con revenues maggiori e distribuite  
Opportunità di vendita&advertising in tutto il paese



## ESPANDERE OPPORTUNITA' LAVORO/DIPENDENTI

Riduzione ordine di grandezza viaggio per pendolari  
Talent acquisition vs job opportunities

# I players italiani

# HYPERLOOP

ITALIA



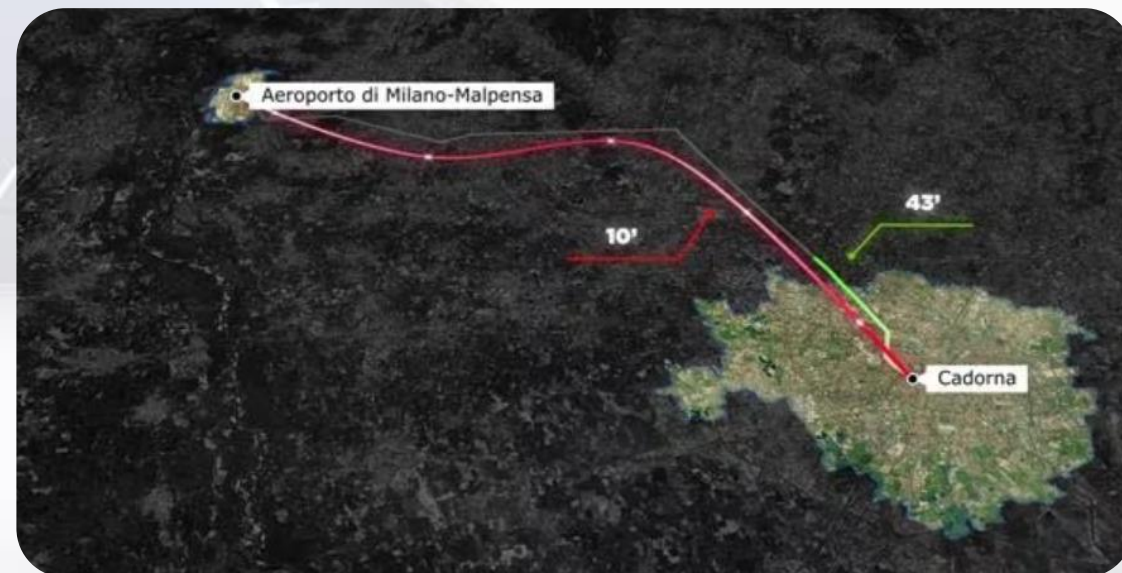
TRANSPOD



HARPACEAS

# Progetti in Italia

## Milano Cadorna – Milano Malpensa



## CAV & Hyperloop Italia : Verona - Venezia



# Caratteristiche & Criticità

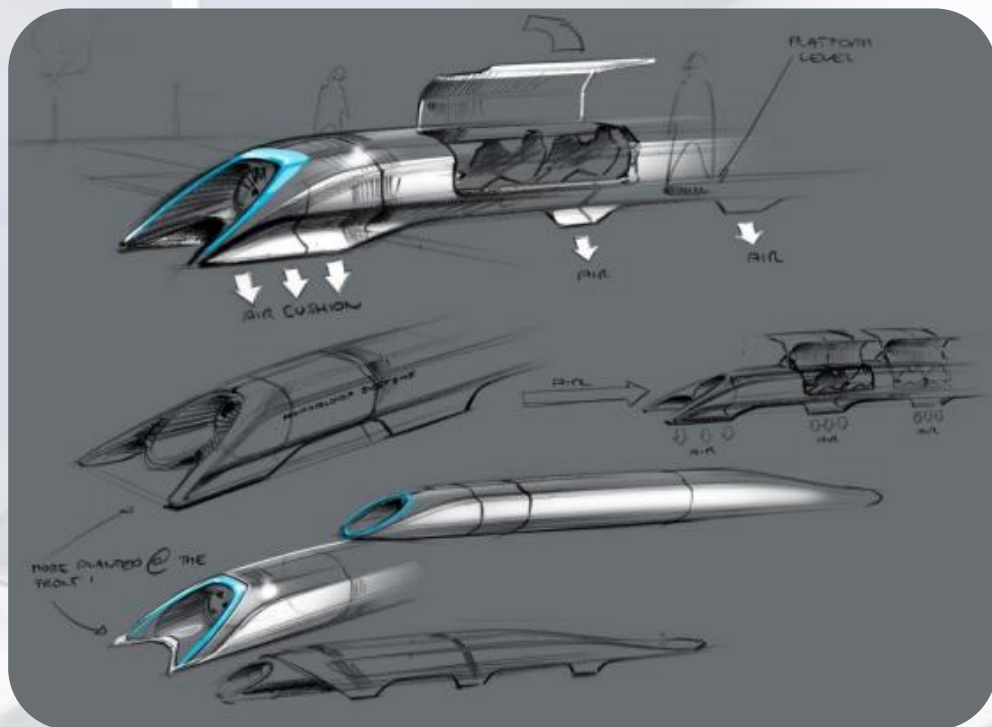
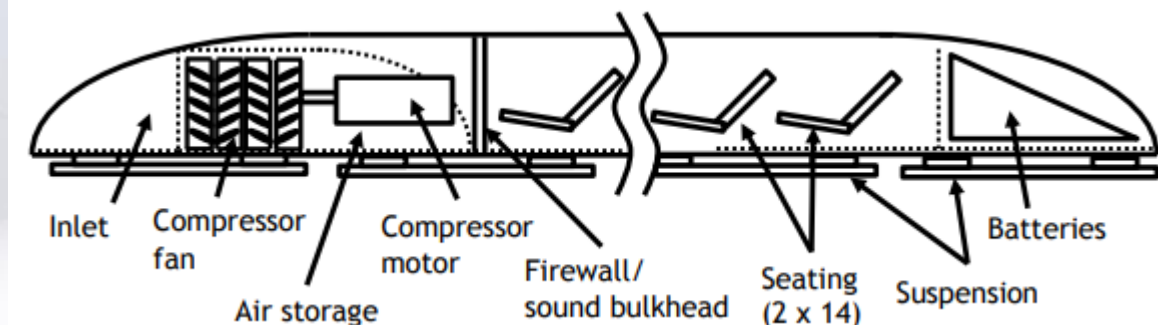
- **Utilizzo di materiali compositi in fibra di Carbonio**
- **Pesi e materiali per 1 capsula**
  - 21.000 ore di lavoro di ingegneri esperti
  - 5.000 ore di assemblaggio specializzato
  - 82 pannelli in fibra di carbonio
  - 72 sensori
  - 75.000 rivetti
  - 7.200 metri quadrati di fibra di carbonio
- **Lunghezza totale: 32 metri**
- **Lunghezza abitabile: 15 metri**
- **Peso: 5.000 kg [40]**



- **Rumore e comfort**
- **Rischi per la salute**
- **Infrastrutture sensibili**
- **Caso di black-out**
- **Pulizia**
- **Velocità di accelerazione/decelerazione**
- **Cambi di direzione e curvatura**

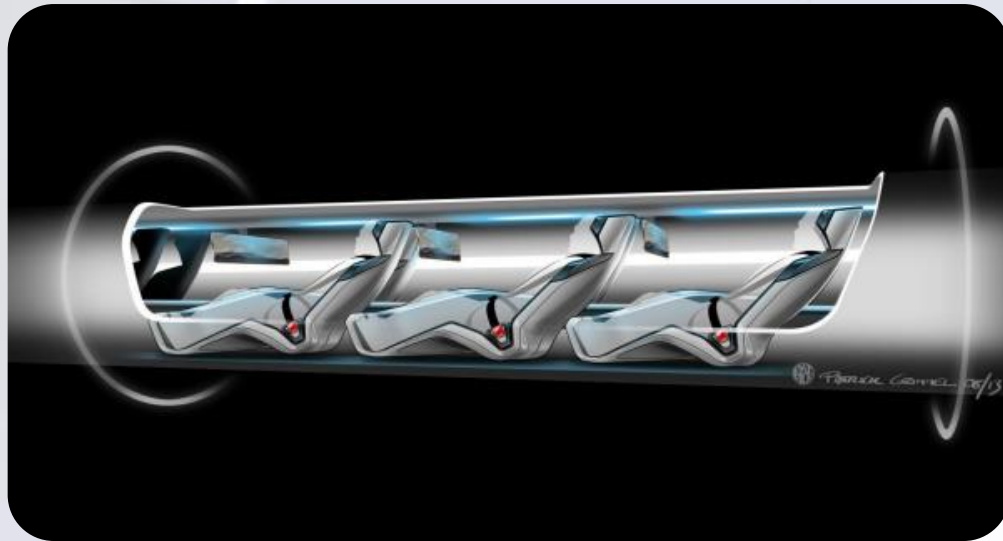
# La capsula

- Pressione di esercizio 100 Pa
- Velocità capsule 1.220 km/h
- Compressore frontale
- Apertura laterale portelloni
- 28-50 passeggeri [41]
- Costo = 230k€ c.a.



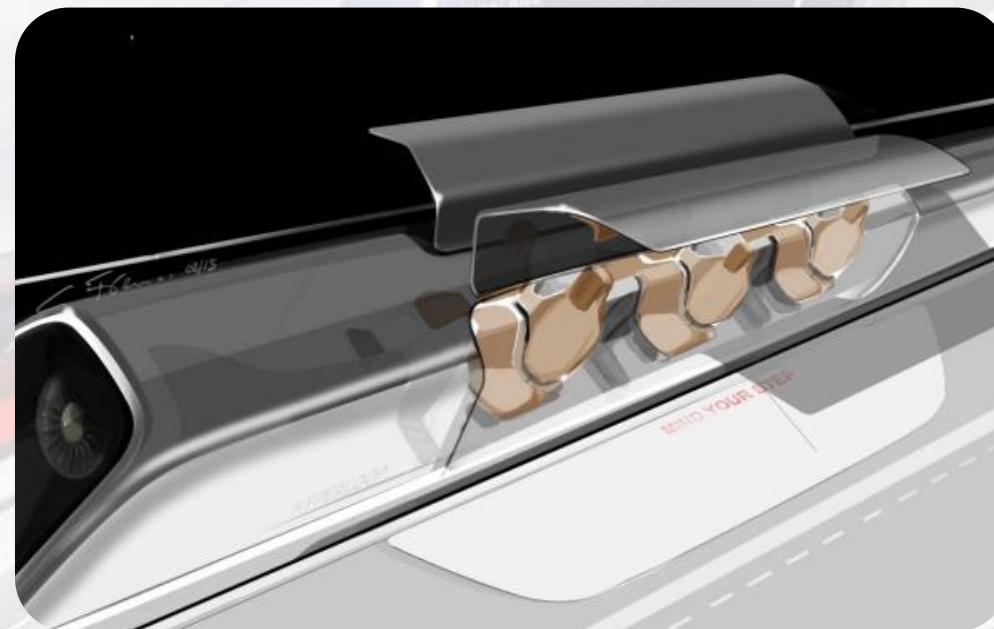
- $H_{max} = 1,10m$
- $B_{max} = 1,35m$
- $Area = 1,4 m^2$  (esclusi propulsione e sospensione)
- $Diametro\ max = >2\ m_{[41]}$
- $F_{trascinamento} = 320\ N$
- **Peso capsula = 3000 kg c.a.**
- **Potenza = 100 kW**

# Interni

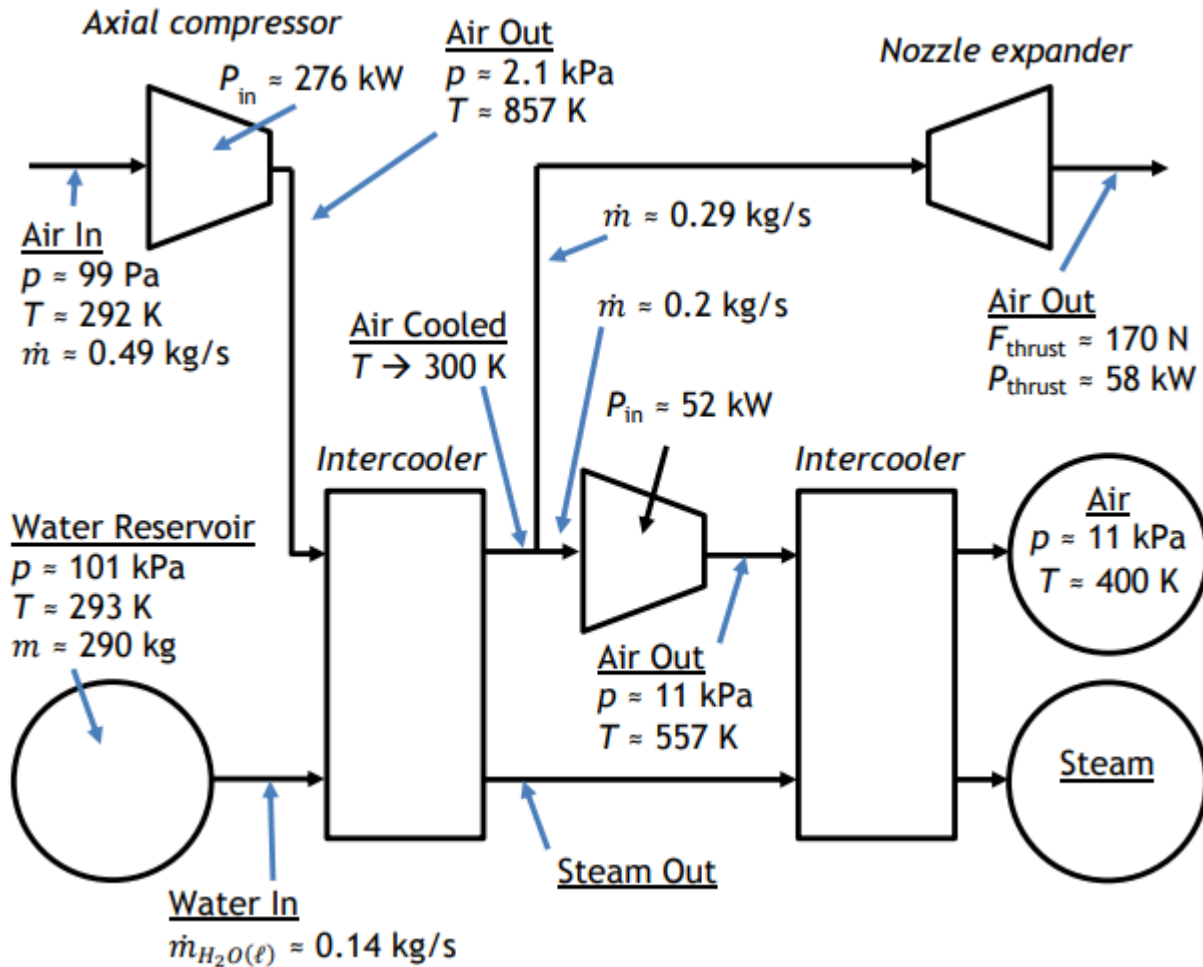


- Comfort e sicurezza
- Sensoristica e monitoraggio continuo
- Avvisi e informazioni ai passeggeri
- Schermi per video-intrattenimento
- Vano bagagli dedicato

- Peso interni = 2.500 kg
- Costo approssimativo 200k€



# Compressione



## 1. Propulsione

1. Compressione (20:1) tramite compressore assiale
2. 60% Trasportata tramite tubo fino alla coda
3. Ugello in coda

## 2. Uso sospensione

1. Raffreddamento e ulteriore compressione (5.2:1)
2. Utilizzata per alimentare cuscinetto

Serbatoio d'acqua per raffreddamento:

- Serbatoio aggiuntivo per il vapore
- Vapore ed acqua conservati fino alla stazione

Motore elettrico per alimentazione compressore:

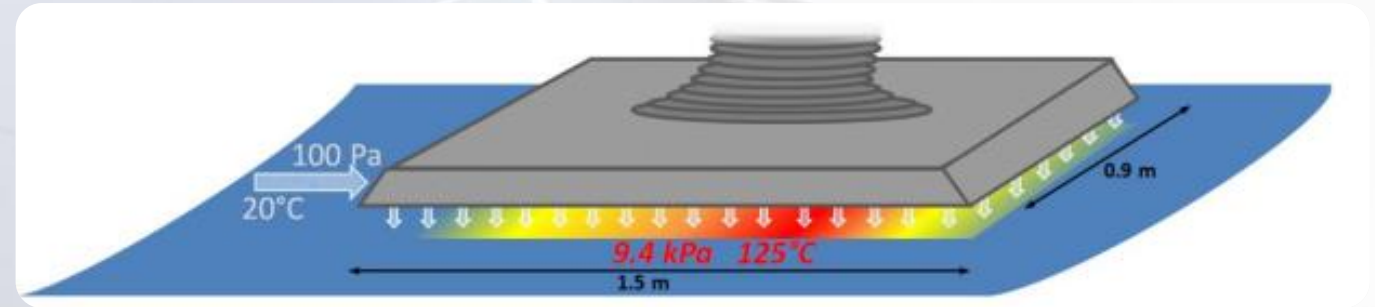
- 325 kW
- 170kg
- 1.500kg batterie = 45 min autonomia + backup

Favorisce il deflusso dell'aria ed alimenta il cuscinetto d'aria

# Sospensione

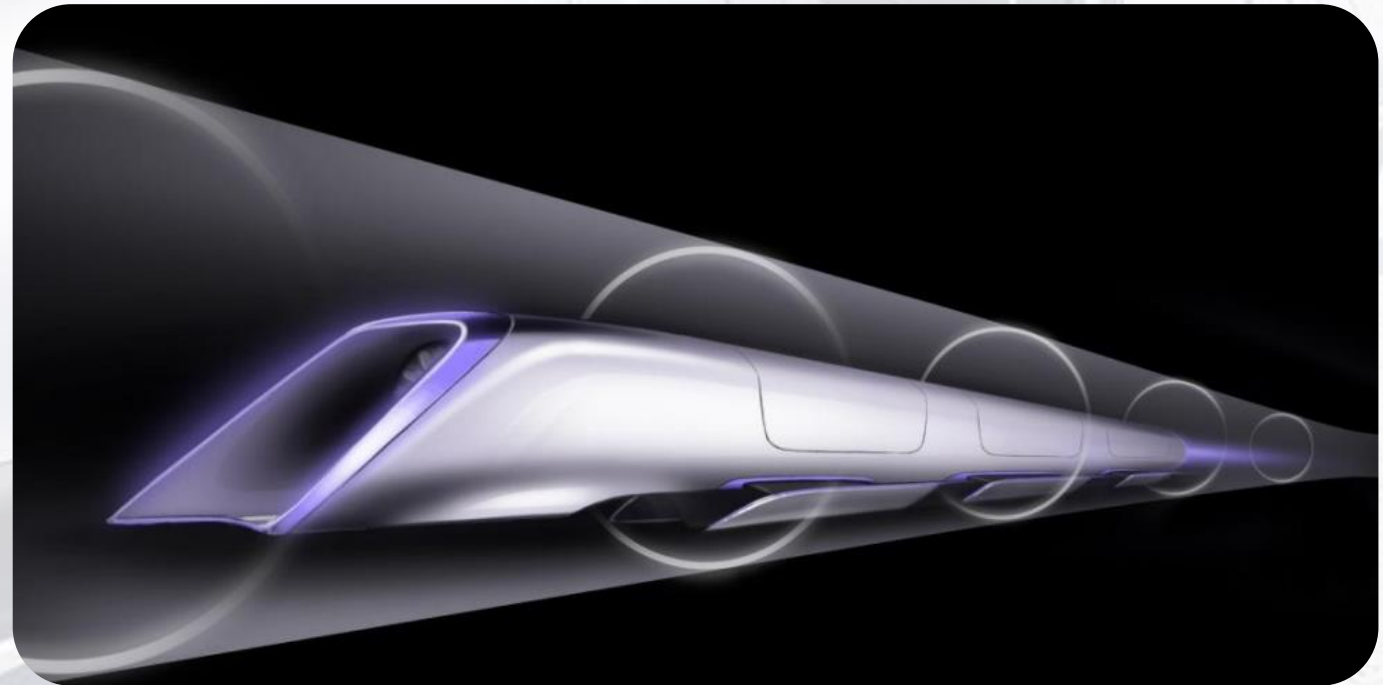
## Sospensione pneumatica:

- Stabilità
- Tecnicamente fattibile
- Relativamente economica
- Interazione con struttura rigida



Comfort per passeggeri tramite sospensioni meccaniche indipendenti per sci.

Possibilità di utilizzare ruote tradizionali per velocità  $< 160$  km/h



# Il tubo

Efficienza delle pompe a vuoto  
 Postazioni lungo la linea  
 Elevazione su pilastri  
 Utilizzo di pannelli solari  
 Estremi con eventuali diramazioni

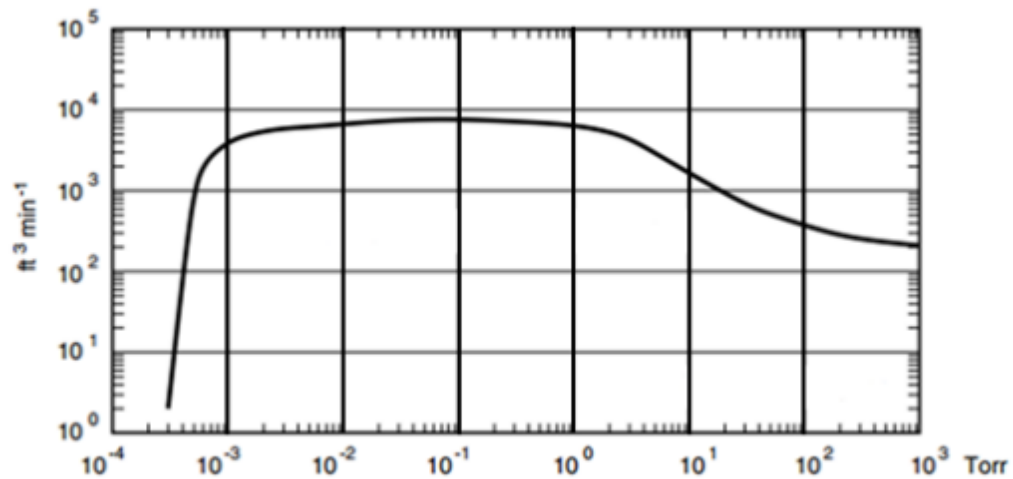
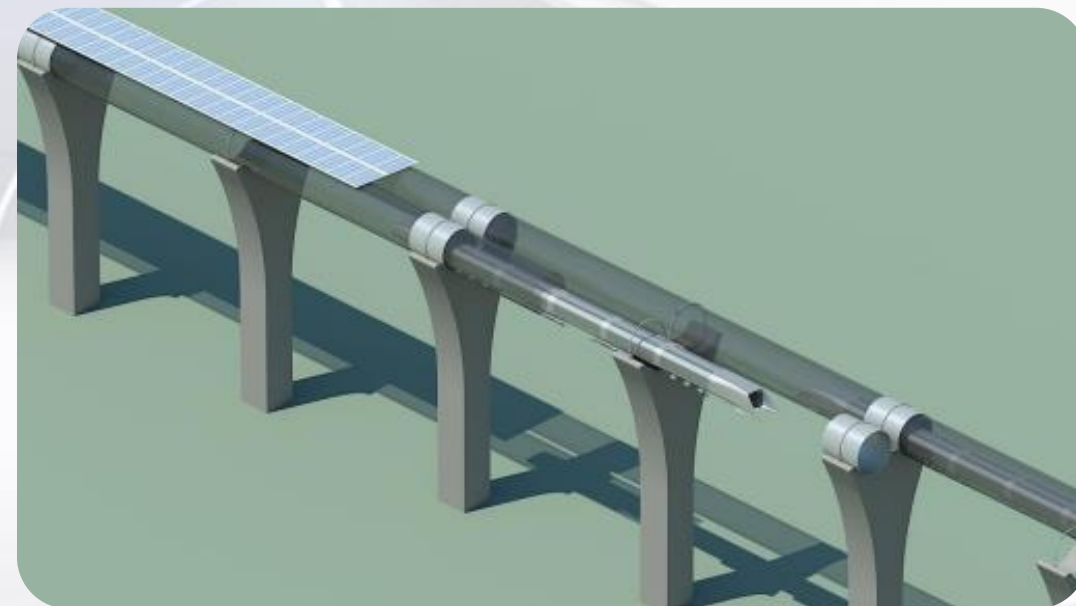


Figure 13. Typical vacuum pump speed for functional pressure range.

Diametro interno: 2,23 m  
 Sezione 3,91 m<sup>2</sup>  
 Rapporto capsula/tubo = 36%  
 Soluzione con doppio tubo A/R

# Tubo: Materiali e struttura

**Tubo in acciaio di spessore uniforme**  
**Spessore da 20 a 23 mm**  
**Sezioni prefabbricate**  
**Saldatura**  
**Distanza media pilastri = 30 metri**  
**Altezza = 6 metri**  
**Posizionamento di uscite di sicurezza lungo linea**

**Pilastri resilienti termicamente e sismicamente**  
**Pilastri con giunti per slittamento longitudinale**  
**Cemento armati**  
**Ammortizzazione pilone - tubo**

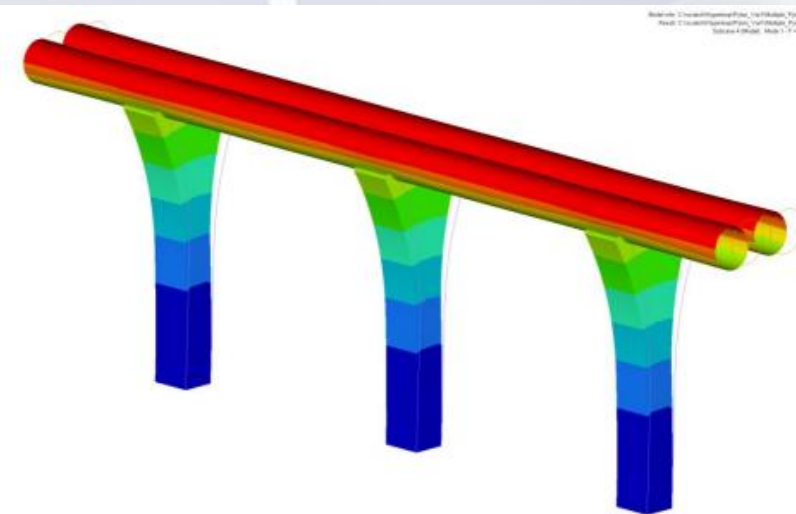


Figure 15. First mode shape of Hyperloop at 2.71Hz (magnified x1500).

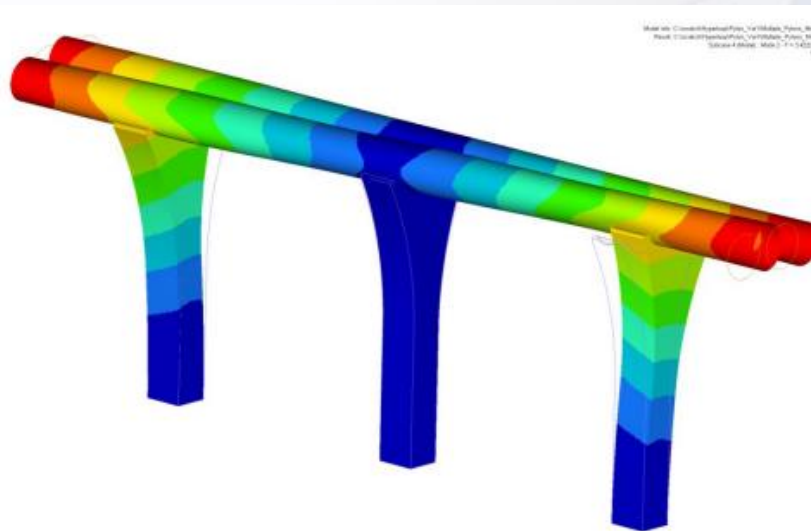


Figure 16. Second mode shape of Hyperloop at 3.42Hz (magnified x1500).

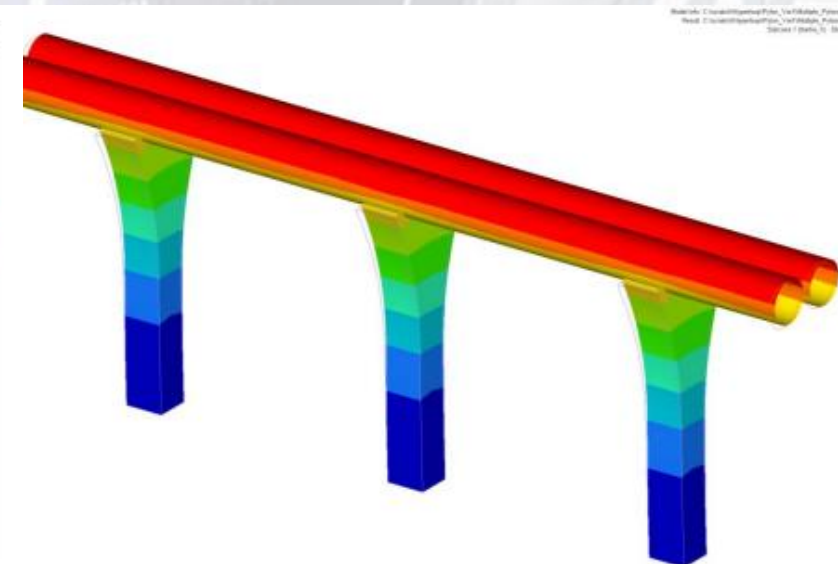


Figure 17. Deformation at 1g Inertia in X (in.) (magnified x10).

**Modi di vibrare della struttura**

# Propulsione

## Propulsione:

1. Accelerazione della capsula fino a 480 km/h (aree urbane)
2. Mantenimento della velocità fino ad allontanamento aree urbane
3. Accelerazione da 480 km/h a 1.220 km/h lungo tratta
4. Decelerazione a 480 km/h e poi fermata presso destinazione

Consumo annuo di 21MW vs generazione di 57MW

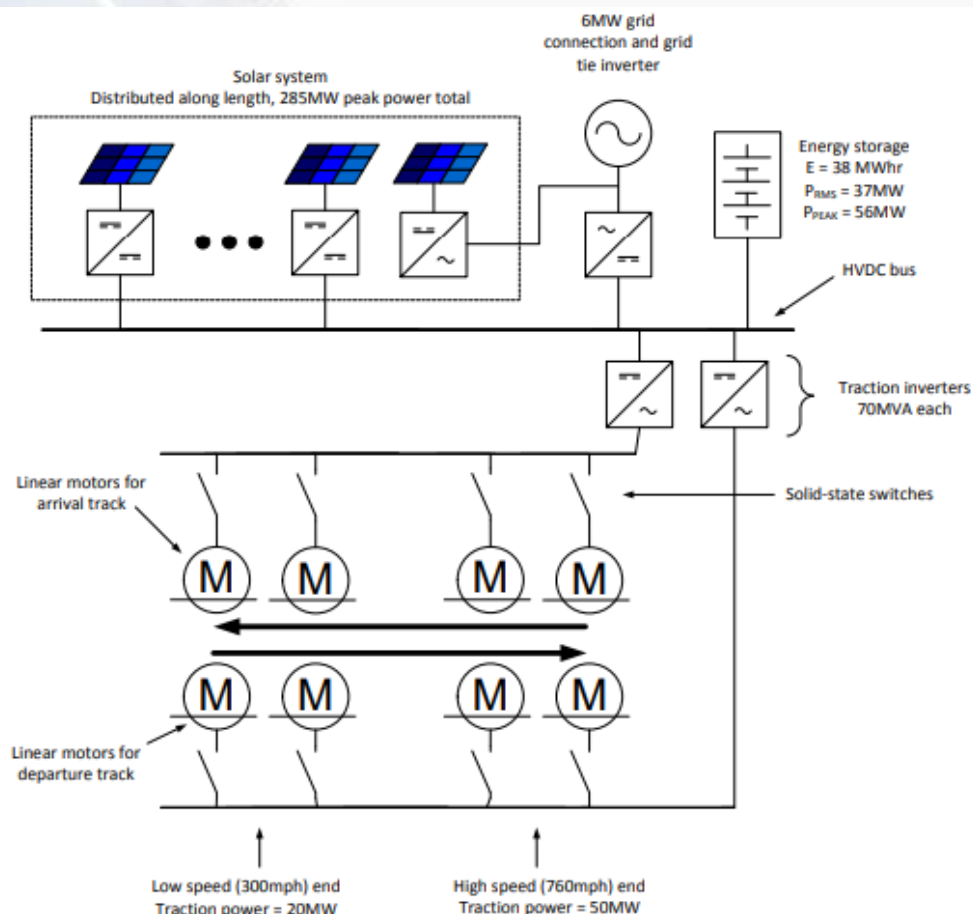
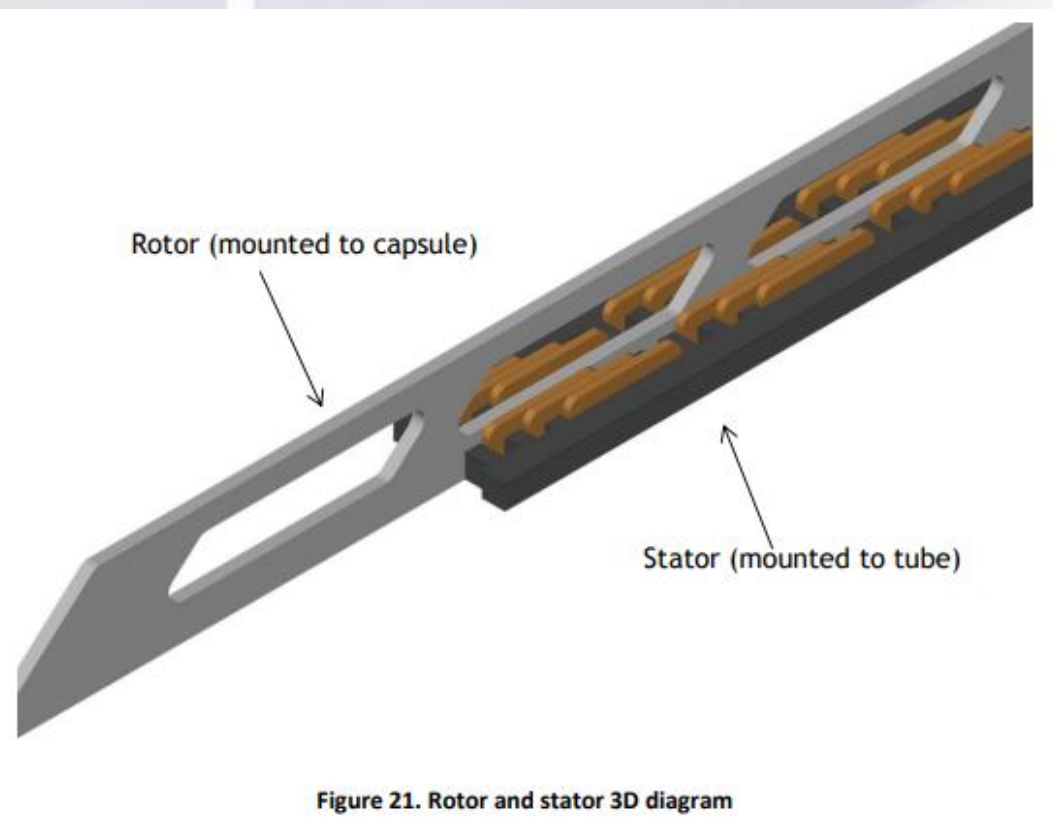


Figure 22. Linear accelerator concept for capsule acceleration and deceleration between 300 and 760 mph (480 and 1,220 kph).

Potenze di picco fino a 3 volte potenza media  
Array di batterie per memorizzare potenza in eccesso  
Vantaggi motore a induzione lineare:

- Minor costo materiale (assenza di materiali rari)
- Capsula più leggera
- Minori dimensioni capsula
- Forze laterali statore-rotore stabilizzanti nel traferro (13 N/m)

# Propulsione : Rotore

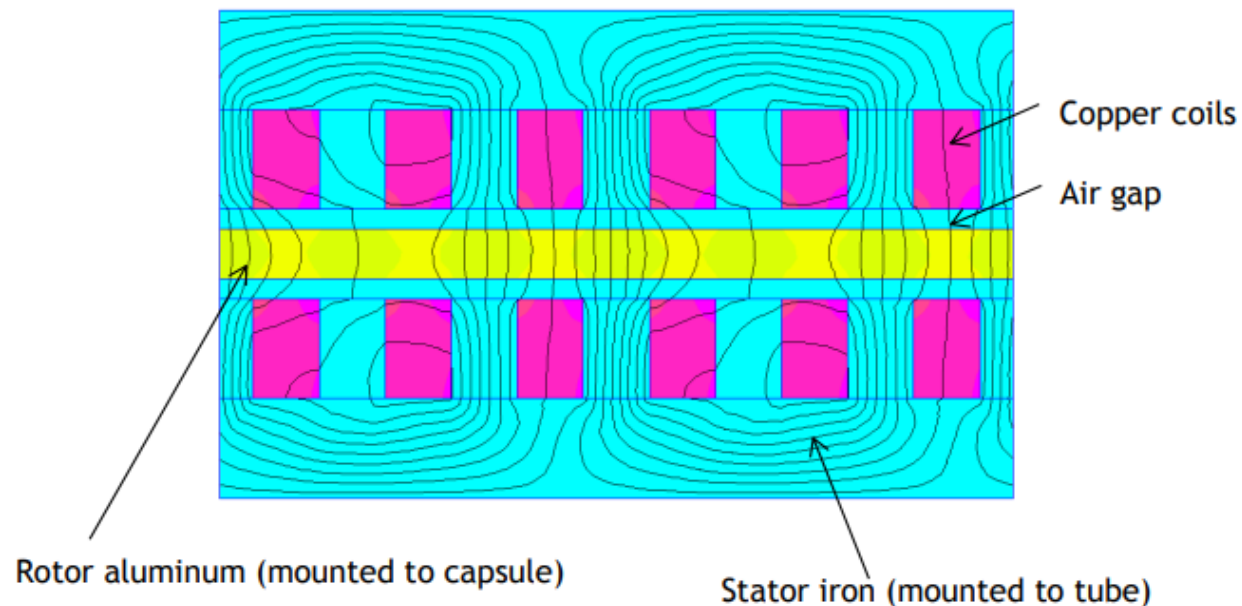


Figure 23. Magnetic field strength inside linear induction motor

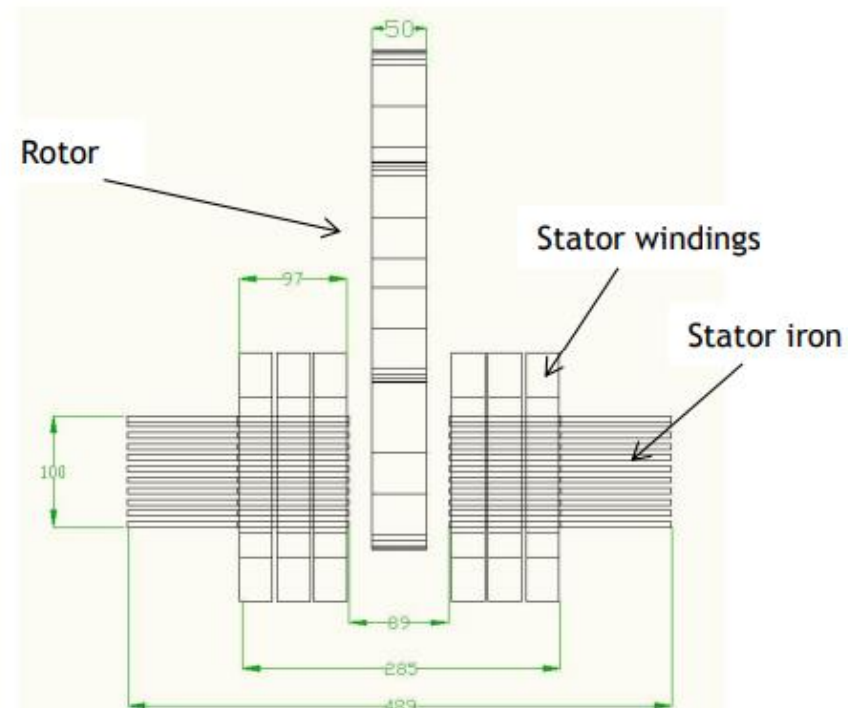


Figure 24. Cross section of rotor inside stator

**Montata su fondo capsula**  
**Materiale alluminio**  
**15 m lunghezza**  
**0,45 m altezza**  
**50 mm spessore**  
**Cava per peso e costo**  
**20 mm di traferro**

# Propulsione : Statore

**Elemento fisso del motore**  
**Montato su fondo tubo**  
**Lungo intero tracciato**  
**Due metà statore con controventatura (300 N/m)**



# Le stazioni



**Minimaliste ma pratiche**  
**Layout e imbarco semplice sia merci che passeggeri**  
**Controlli standard aeroportuali**  
**Biglietti e bagagli gestiti elettronicamente**  
**Uso pendolare con limite valige**  
**Vano bagagli sganciabile**  
**110M€ a stazione**

# Sviluppi futuri

**Maggiore controllo capsule**

**Studio di dettaglio delle stazioni e relativa gestione**

**Confronto costi/benefici rispetto a levitazione magnetica**

**Dimostrazioni fisiche su scala ridotta**

# Grazie per l'attenzione