Tecnica di programmazione e gestione dei sistemi di trasporto

Cenni di tecnica dei trasporti a guida vincolata

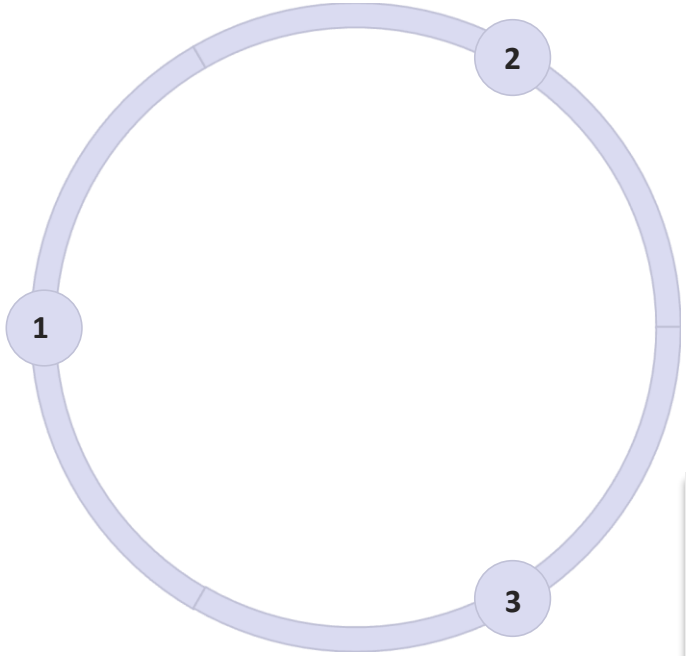
Le Tre Principali Categorie di Trasporto

La classificazione avviene in funzione del mezzo che garantisce la **sostentazione dei veicoli:**

Trasporto Terrestre

Guida Vincolata: Sistemi che seguono percorsi predefiniti e fissi come ferrovie. Offrono alta capacità di carico e sono ideali per lunghe distanze su terraferma

Guida Libera: Veicoli che si muovono liberamente sulla superficie come camion, automobili e autobus.



Trasporto per Vie d'Acqua

Idrostatica: Mezzi che galleggiano grazie alla spinta di Archimede, Archimede, come navi, traghetti.

Idronautica: Mezzi che si muovono sott'acqua, come i sottomarini

Trasporto Aereo

Aerostatica: Basato sulla spinta di gas più leggeri come dirigibili e dirigibili e palloni aerostatici.

Aerodinamica: Basato sulla portanza generata dal movimento nell'aria come aerei cargo, jet passeggeri ed elicotteri.

Cenni di tecnica dei trasporti a guida vincolata

Tipologie di Sistemi di Trasporto

La scelta di realizzare un sistema di trasporto dipende da un'attenta analisi di molteplici fattori interdipendenti:

- Domanda di trasporto
- Contesto urbano e fattori urbanistici
- Sostenibilità finanziaria

Caratteristiche di un sistema di trasporto

Un sistema di trasporto è caratterizzato da:

- **Infrastrutture**
- **Veicoli** (che assieme al personale rappresentano i fattori della produzione)
- **Servizi** (che consentono la mobilità di persone e cose)

Sistemi Monomodali

Quando gli spostamenti vengono effettuati utilizzando una sola modalità di trasporto.

Sistemi Multimodali

Quando gli spostamenti vengono effettuati coinvolgendo più modalità di trasporto.

Cenni di tecnica dei trasporti a guida vincolata

Elementi Progettuali da Considerare

Fattori Demografici

- Densità abitativa dell'area servita
- Flussi pendolari e turistici
- Previsioni di crescita della popolazione
- Distribuzione delle attività economiche

Fattori Geografici

- Conformazione del territorio
- Pendenze e ostacoli naturali
- Vincoli idrogeologici
- Condizioni climatiche

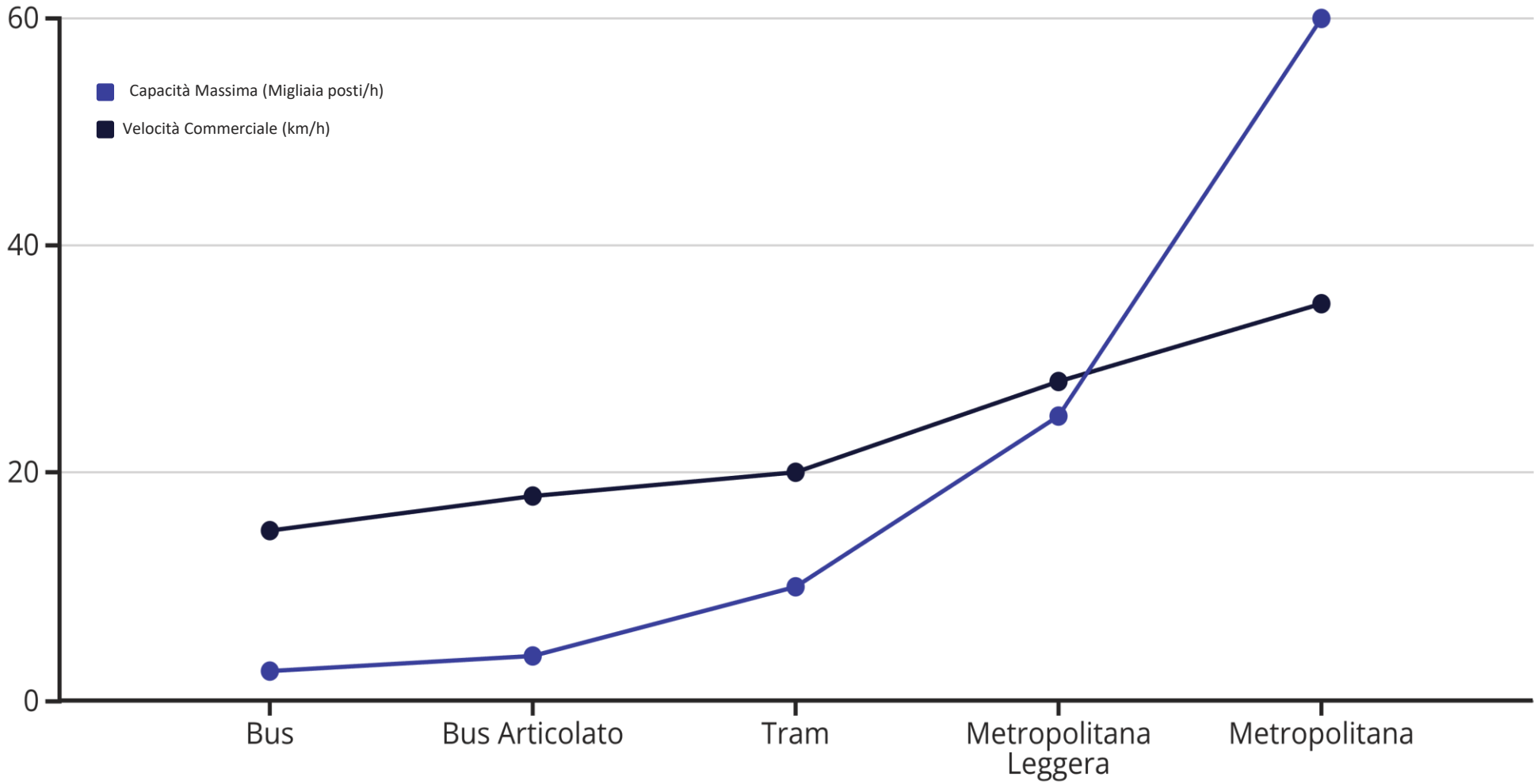
Fattori Economici

- Budget disponibile
- Costi di costruzione vs manutenzione
- Ritorno dell'investimento
- Sostenibilità economica di lungo periodo

Fattori Urbanistici

- Compatibilità con il tessuto urbano
- Impatto visivo e acustico
- Integrazione con altri mezzi di trasporto
- Pianificazione territoriale futura

Prestazioni e Capacità dei Sistemi di Trasporto



Frequenza, Velocità, Capacità

	Intertempo (min)	Frequenza max (UT/h)	Vel. comm. (km/h)	Vel. regime (km/h)	Capacità linea (posti/h)
bus	5 - 10	6 - 12	10 - 25	40 - 60	200 - 2.500
tram-bus	5 - 10	6 - 12	15 - 25	60 - 80	1.200 - 6.000
tram	5 - 10	6 - 12	15 - 25	50 - 70	1.000 - 5.300
tram-treno	5 - 15	4 - 12	15 - 40	80 - 100	300 - 6.000
metro leggera AGT	1 - 3	20 - 60	30 - 40	80 - 100	5.000 - 20.000
metro leggera	2 - 5	12 - 30	20 - 50	60 - 80	4.000 - 20.000
monorotaia leggera	3 - 5	12 - 20	15 - 25	25 - 60	1.000 - 4.000
monorotaia pesante	3 - 5	12 - 20	25 - 40	50 - 70	2.500 - 9.400
metropolitana	2 - 4	15 - 30	30 - 50	80 - 100	5.000 - 60.000
funicolare	3 - 5	12 - 20	5 - 20	5 - 30	200 - 3.000
funivia	0,15 - 5	12 - 430	5 - 20	5 - 30	100 - 4.700

Costi di Investimento e Gestione

Costi di Investimento (M€/km di linea doppia)



100%

Metropolitana

70-140 M€/km



40%

Metropolitana Leggera

25-45 M€/km



15%

Tram

10-20 M€/km



2%

Bus

0,3-2 M€/km

Costi Annui di Gestione (€/VKM)



100%

Metropolitana

15-35 €/VKM



60%

Metropolitana Leggera

5,5-15 €/VKM



40%

Tram

3,6-4,7 €/VKM



25%

Bus

2,2-2,9 €/VKM



Cenni di tecnica dei sistemi trasporto a guida vincolata

Definizione: Sistemi di trasporto in cui i veicoli sono obbligati a seguire una traiettoria fissa e predeterminata, definita da un'infrastruttura fisica.

Caratteristiche Principali:

Percorso Fisso: La traiettoria è determinata dall'infrastruttura

Alta Capacità: Generalmente progettati per trasportare un elevato numero di passeggeri.

Efficienza Energetica: L'attrito ridotto e la trazione elettrica li rendono molto efficienti.

Affidabilità: La separazione dal traffico stradale permette un servizio più puntuale e frequente.

Il Tram (Tranvia)

Il Veicolo

- Veicolo su rotaia a trazione elettrica
- Capacità da 3000/5000 passeggeri/h
- Opera a velocità commerciale 15-20 km/h , ideale per i centri urbani

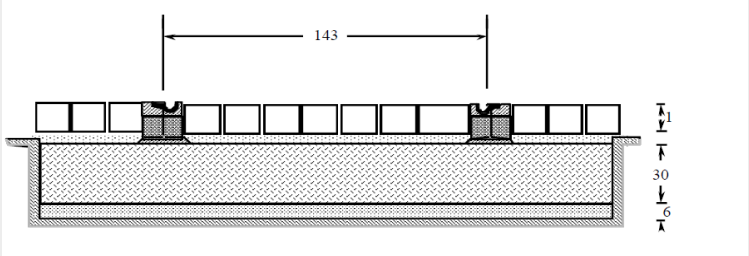


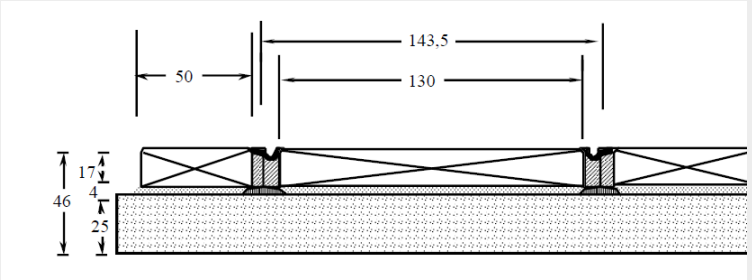
L'Infrastruttura

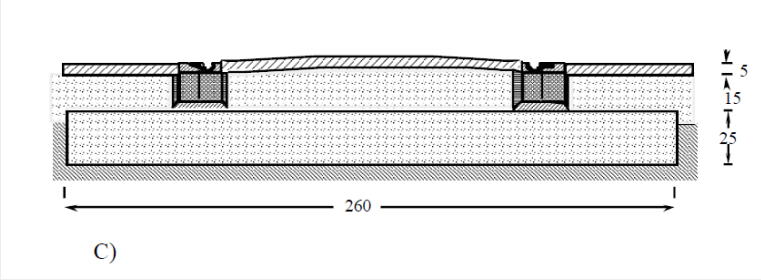
Armamento: Rotaie metalliche, spesso "annegate" nella pavimentazione stradale.

- **Sede promiscua:** Condivide la corsia con il traffico stradale
- **Sede riservata:** Corsia dedicata, separata fisicamente dal resto del traffico

Alimentazione: Principalmente tramite linea aerea di contatto (catenaria) con pantografo sul tetto del veicolo. Raramente, utilizzo di terza rotaia a livello del suolo.







La Metropolitana Leggera (LRT - Light Rail Transit)

Un'evoluzione del tram, la metropolitana leggera rappresenta un compromesso ottimale tra capacità, costi e impatto urbano.

Il Veicolo

Versione evoluta del tram, con vetture più lunghe (spesso in convogli da 2 a 4 unità) e maggiore capacità di trasporto.

Velocità commerciale più elevata rispetto al tram tradizionale, generalmente tra 25-40 km/h.



L'Infrastruttura

Sede Protetta: Opera quasi esclusivamente su percorsi completamente separati dal traffico veicolare.

Infrastruttura Mista: Può percorrere tratti in superficie, in trincea, su viadotti o gallerie.

Sistemi di Controllo: Esercizio fortemente automatizzato per gestire l'alta frequenza (fino a 15.000 passeggeri/ora/direzione).

La Metropolitana pesante (Rapid Rail Transit)

Il Veicolo

Treni ad alta capacità, composti da più vetture interconnesse, progettati per flussi di passeggeri molto elevati (oltre i 20000/25000 viaggiatori/ora/direzione) con velocità commerciale che può arrivare a 50 km/h.

L'Infrastruttura

Completa Separazione: La sede è sempre totalmente isolata da qualsiasi interferenza esterna.

Tipologie di Percorso:

- **Sotterranea (in galleria):** La più comune nei centri urbani densamente costruiti
- **Sopraelevata:** Costruita su viadotti o ponti
- **In trincea:** Il tracciato corre in un "canale" a cielo aperto sotto il livello stradale



Aspetti Economici

Costi Elevati: L'infrastruttura richiede investimenti iniziali molto alti, ma i costi di gestione per passeggero sono i più bassi tra i sistemi di trasporto pubblico grazie all'elevata capacità e alla lunga vita utile.

Tabella Comparativa delle Infrastrutture

Sistema	Tipo di Guida	Livello di Separazione	Alimentazione Principale	Complessità/Costo
Tram	Rotaie	Promiscua / Riservata	Linea aerea	Basso / Medio
Metro Leggera	Rotaie	Prevalentemente Separata	Linea aerea/terza rotaia	Alto/ Medio
Metropolitana	Rotaie	Totalmente Separata	Terza rotaia / Linea aerea	Alto / Alto

La tabella evidenzia come i sistemi più avanzati offrano generalmente maggiore capacità e velocità, ma a fronte di costi infrastrutturali significativamente più elevati. La scelta deve bilanciare questi fattori con :

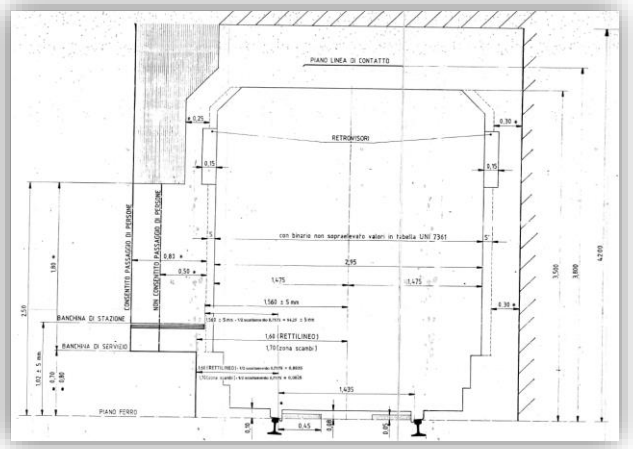
- Le esigenze di mobilità specifiche dell'area servita
- Le risorse finanziarie disponibili per investimento e gestione
- Le caratteristiche urbanistiche e morfologiche del territorio
- Le previsioni di domanda a medio-lungo termine

Interazioni tra veicolo e via per i sistemi a guida vincolata

1

Interazioni Geometriche

Studio delle relazioni dimensionali tra veicolo e infrastruttura, con particolare attenzione alla sagoma limite e all'ingombro massimo.
La **sagoma limite** rappresenta l'ingombro massimo consentito del veicolo rispetto al binario. Questo parametro è fondamentale per garantire la sicurezza della circolazione e la compatibilità tra veicoli e infrastruttura.
L' ingombro massima dei veicoli ferroviari viene stabilita considerando la sagoma limite e calcolando le riduzioni necessarie per consentire la marcia in curva senza interferenze.



2

Interazioni tra le Forze Agenti

Analisi delle forze che agiscono lungo gli assi verticale, longitudinale e trasversale durante il movimento del veicolo.

Interazione tra veicolo e via : le forze agenti

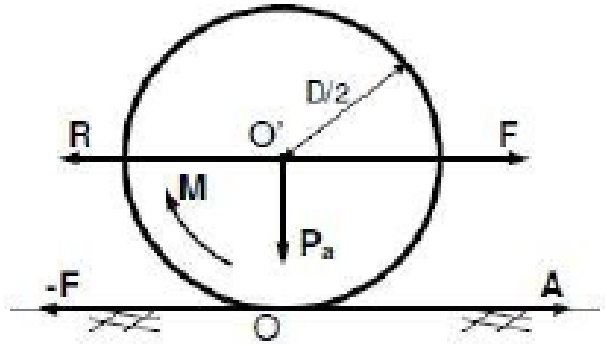
Per analizzare come un veicolo ferroviario si muove e interagisce con la ferrovia, le forze che agiscono su di esso sono studiate utilizzando un sistema di coordinate a tre assi:

Asse Verticale

Questo asse è **perpendicolare alla superficie su cui il veicolo rotola.** Su questo asse si analizzano forze come il peso del veicolo **e l'aderenza tra le ruote e la via**. È fondamentale per capire come il veicolo "tiene" sulla senza slittare.

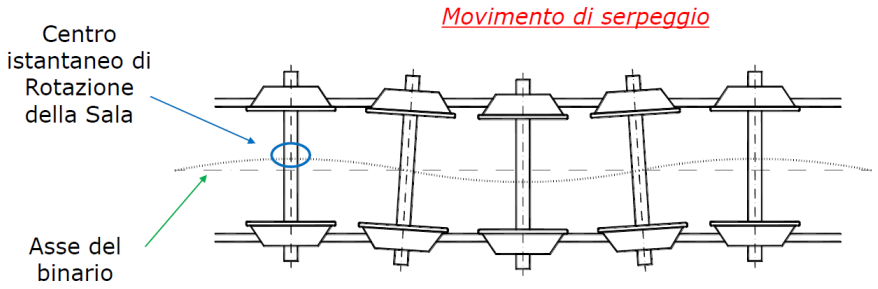
Asse Longitudinale

Questo asse è **parallelo alla direzione in cui il veicolo si muove**. Su questo asse si considerano le forze che permettono al veicolo di accelerare (trazione) o decelerare (frenata). È l'asse principale per studiare il movimento del treno lungo il binario.



Asse Trasversale

Questo asse è **perpendicolare alla direzione di marcia del treno**, attraversandolo da un lato all'altro. Su questo asse si esaminano fenomeni come l'inclinazione in curva (sovralzo), quanto il treno è stabile per evitare il ribaltamento, o la tendenza ad uscire dal binario (svio).

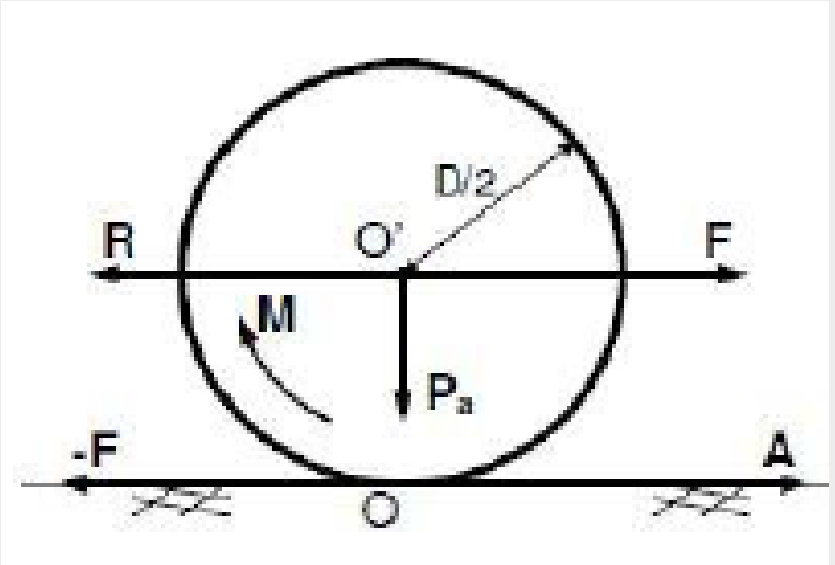


Forze verticali: l’ Aderenza

L'**aderenza** è il fenomeno che permette la trasmissione di forze tangenziali tra ruota e via senza slittamento. È fondamentale per la trazione e la frenatura.

Il **coefficiente di aderenza** (fa) è definito come il rapporto tra la forza di aderenza massima (A) e il carico verticale (Pa):

$$f_a = \frac{A}{P_a}$$



Dove:

- **O**: punto ideale di contatto ruota-suolo
- **F:** forza di trazione
- **A**: forza di aderenza
- **Pa**: peso aderente

CONDIZIONE DI ADERENZA

$$F \leq A = f_a(v) \quad P_a$$

Quando la forza di trazione (F) supera la forza di aderenza (A), la ruota inizia a slittare.

Il **potere aderente** è definito come la massima forza di trazione che può essere applicata senza slittamento.

Inoltre, per produrre il moto, è necessario che la forza di trazione sia maggiore della somma delle resistenze (R):

$$F > R$$

Confronto Aderenza Ferro-Gomma

Il coefficiente di aderenza varia significativamente tra diversi sistemi di trasporto:

Sistema	Coefficiente di aderenza
Ferro-ferro (ferroviario)	0,25-0,30
Gomma-asfalto (stradale)	0,80-0,90

Svantaggi del Sistema ferroviario

- Lo sforzo di trazione applicabile al contatto ruota-rotaia in pianura su ferro è prossimo ad un 1/3 rispetto a quello su gomma
- La bassa aderenza ruota-rotaia impedisce di ottenere in ferrovia lo stesso sforzo di frenatura raggiungibile su strada
- Le distanze per l'arresto risultano sempre molto maggiori di quelle stradali (a 100 km/h oltre 600 m contro 150 m circa)

Vantaggi del Sistema Ferroviario

- Bassi valori delle resistenze all'avanzamento
- Sistema a elevato rendimento
- Permette il trasporto di notevoli quantità di carico utile per unità di sforzo di trazione

Limite dell'Aderenza ruota rotaia

Concetto Chiave:

Anche se il motore potesse erogare un momento motore molto elevato, la coppia che può essere effettivamente trasformata in movimento (trazione) è limitata dalla capacità delle ruote di aderire al binario senza slittare. Questa capacità è definita dal **Coefficiente di Aderenza (fa)**.

Esempio Pratico:

Immaginiamo un locomotore con un motore in grado di fornire una forza teorica alle ruote di **500 kN**.

- **Peso gravante sulle ruote motrici:** 120 tonnellate (120.000 kg)
- **Coefficiente di Aderenza (fa) del binario:** 0.25 (un valore tipico per binari asciutti)

Calcolo della Forza di Trazione Massima:

La forza di trazione massima che il locomotore può sviluppare senza slittare è data da:

Trazione Massima = Peso sulle ruote motrici × fa × g (dove g è l'accelerazione di gravità, circa 9.81 m/s²)

Trazione Massima = 120.000 kg × 0.25 × 9.81 m/s² ≈ **294.3 kN**

Nonostante il motore possa generare 500 kN di forza, solo 294.3 kN possono essere effettivamente utilizzati per la trazione a causa del limite di aderenza.

Forze agenti sull'asse longitudinale: Equazione Generale del Moto

L'**Equazione Generale del Moto** o **Equazione della Trazione** descrive il movimento del veicolo lungo l'asse longitudinale:

$$F(v) - R(v) = M_e \frac{dv}{dt} = M_e \, a(v)$$

$$F(v) = R(v)$$

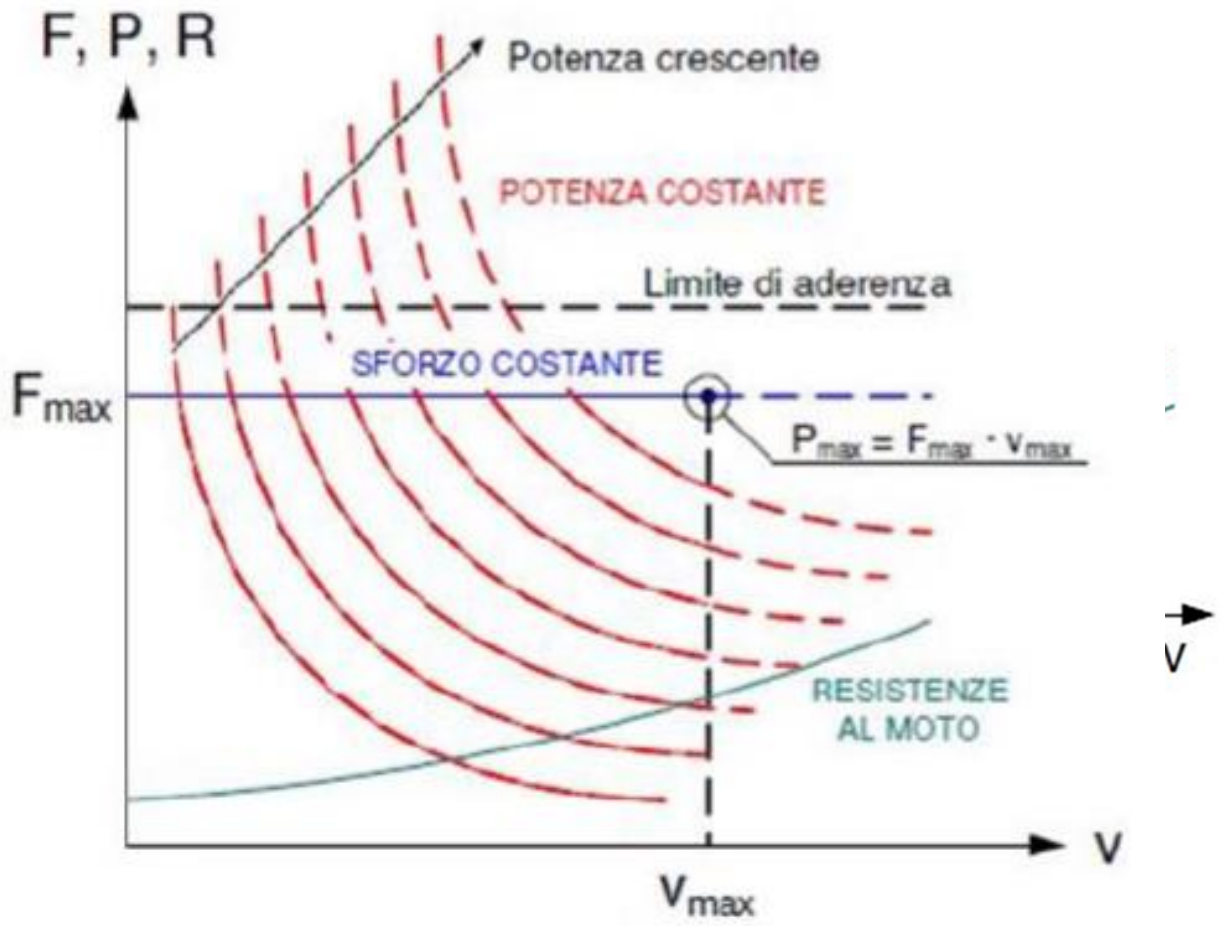
Dove:

- F(v) = forza di trazione in funzione della velocità [N]
- R(v) = resistenza al moto in funzione della velocità [N]
- Me = massa equivalente del veicolo (comprensiva dell'effetto delle masse rotanti) [kg]
- a(v) = accelerazione in funzione della velocità [m/s²]

La massa equivalente è definita come:

$$M_e = \text{coefficiente } I$$

dove il coefficiente tiene conto dell'inerzia delle masse rotanti.



Resistenze al Moto

Nel compiere uno spostamento un qualsiasi veicolo deve vincere delle resistenze, ossia delle forze che si oppongono al suo moto.

Le resistenze dipendono:

1. Dalla natura del mezzo ambiente e dalla modalità di sostentazione
2. Dalle caratteristiche cinematiche del moto (traiettoria, velocità ed accelerazione)
3. Dalla massa del veicolo

Tipi di resistenze:

- **Resistenze ordinarie** (in moto piano, rettilineo ed uniforme): rotolamento e attrito con il mezzo ambiente
- **Resistenze addizionali** (dovute all'andamento planoaltimetrico e di inerzia per moto vario)

Normalmente le resistenze ordinarie si esprimono con una resistenza specifica r (kgf/ton o N/kN) e nei veicoli ferroviari si usa una formula binomiale:

$$r_{ord} = a + bv(t)^2$$

dove la parte con il quadrato della velocità è la resistenza aerodinamica mentre la parte fissa a congloba le resistenze al rotolamento di quel veicolo su quel tipo di infrastruttura.

Classificazione delle Forze Agenti

Forze dipendenti dalla Massa

- Forza Peso
- Forza Centrifuga
- Forza d'Inerzia

Forze Passive (Resistenze)

Opposte al moto del veicolo, presenti solo se il veicolo è in movimento:

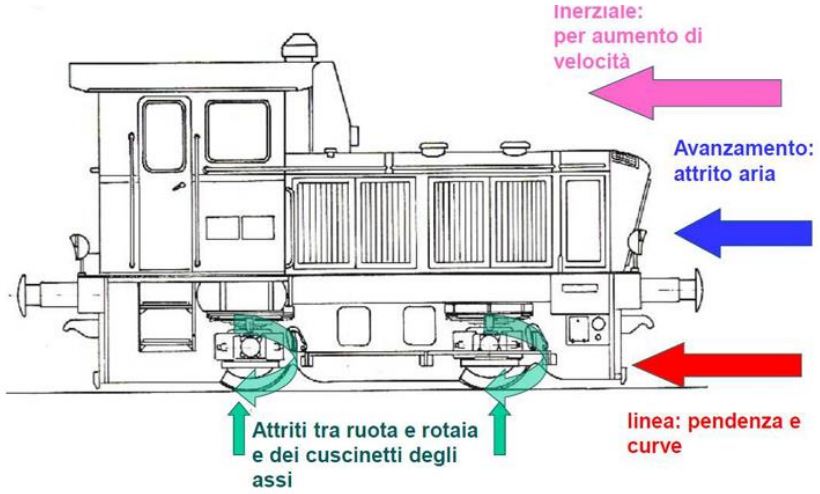
- Resistenze ordinarie (aerodinamica, rotolamento, ai perni)
- Resistenze accessorie (in galleria, in curva, pendenza)

Forze Attive

- Trazione (generata dai motori)
- Frenatura (generata dal sistema frenante)

La resistenza totale al moto è data dalla somma delle resistenze ordinarie e accessorie:

$$R_{tot} = R_{ordinarie} + R_{accessorie}$$



Forza Peso

La **Forza Peso** è una forza dipendente dalla massa del veicolo. È applicata nel baricentro del mezzo con direzione perpendicolare alla superficie terrestre e orientata verso il basso.

$$P = m \quad g$$

Dove:

- P = peso del veicolo [N]
- m = massa del veicolo [kg]
- g = accelerazione di gravità [9,81 m/s^2]

La forza peso influisce significativamente sul comportamento dinamico del veicolo, in particolare:

- Sull'aderenza (maggior peso sugli assi motori aumenta la capacità di trazione)
- Sulla resistenza al moto dovuta alla pendenza (componente del peso parallela al binario)
- Sulle sollecitazioni dell'infrastruttura (dimensionamento di ponti e viadotti)
- Sul consumo energetico (veicoli più pesanti richiedono maggiore energia per accelerare)

Forza d'Inerzia

La **Forza d'Inerzia** è la forza apparente dovuta alla proprietà di un corpo di resistere a un'accelerazione, cioè a un cambiamento del proprio stato di moto

$$F_i = m \quad a$$

Dove:

- Fi = forza d'inerzia [N]
- m = massa del veicolo [kg]
- a = accelerazione del veicolo [m/s²]

Per garantire il movimento del veicolo, la forza di trazione deve essere maggiore della forza d'inerzia:

$$F_{trazione} > F_{inerzia} = m \quad a$$

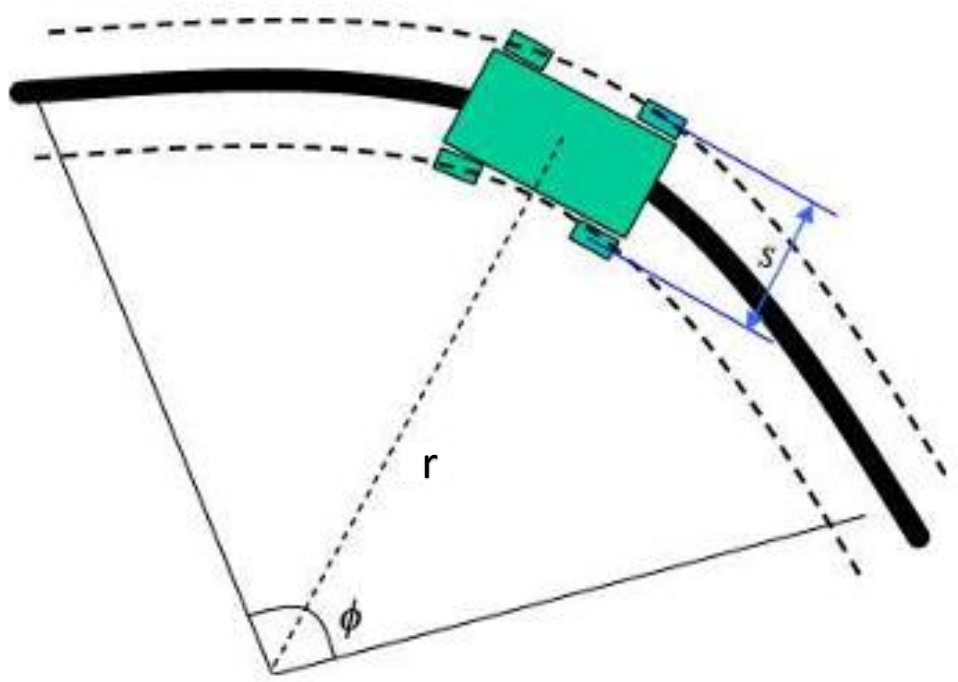
Forza Centrifuga

La **Forza Centrifuga** è la forza a cui è sottoposto un veicolo che segue una traiettoria non rettilinea. Agisce **trasversalmente** alla direzione della marcia e altera la distribuzione delle reazioni al contatto ruota-rotaia rispetto alla marcia in rettifilo.

$$F_c = \frac{m \quad v^2}{r_{curva}}$$

Dove:

- Fc = forza centrifuga [N]
- m = massa del veicolo [kg]
- v = velocità del veicolo [m/s]
- rcurva = raggio di curvatura della traiettoria [m]



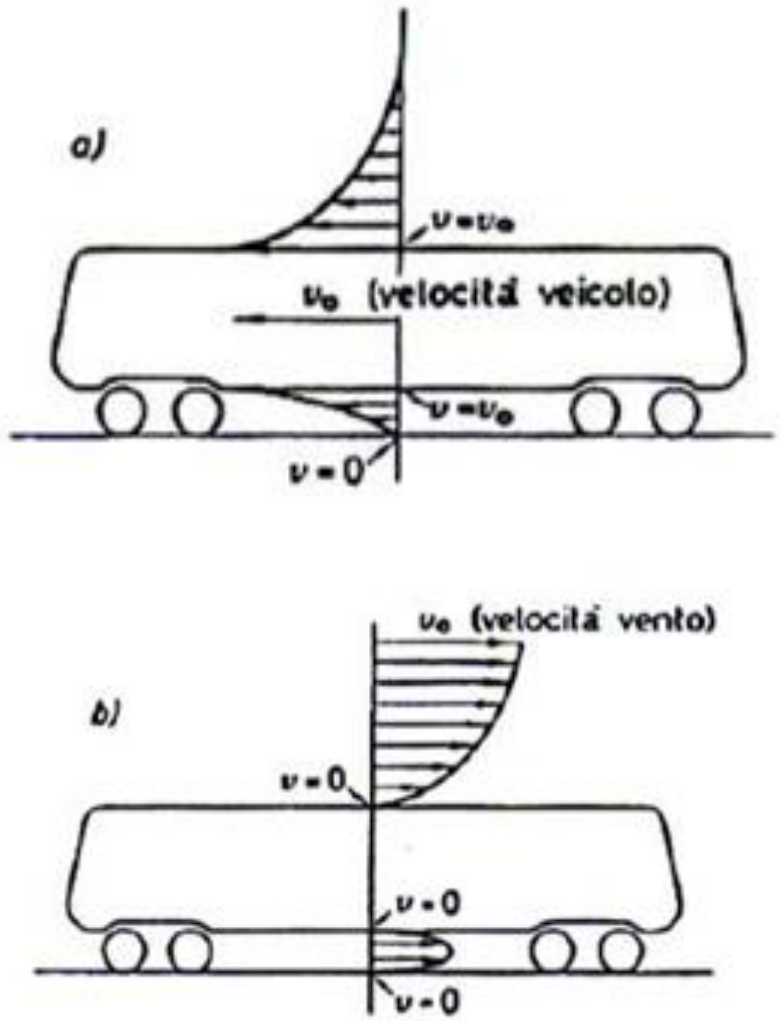
Forze passive: resistenza aerodinamica

La **Resistenza Aerodinamica** nasce per effetto delle pressioni sulla superficie del veicolo causate dal moto relativo tra aria e veicolo, in quanto i filetti fluidi adiacenti alla superficie longitudinale del veicolo hanno la stessa velocità del veicolo, mentre quelli più lontani hanno velocità nulla in quanto indisturbati.
La resistenza aerodinamica vale:

$$Ra = \frac{\rho}{2} * c_x * S * v^2 \text{ [N]}$$

Dove:

- ρ = densità dell'aria (1,29 kg/m³)
- cX = coefficiente di forma (variabile da 0,6 a 1)
- S = superficie maestra (variabile da 9 a 10 m²)
- v = velocità del veicolo [m/s]



Forze passive: resistenza al rotolamento

La **Resistenza al Rotolamento** nasce per effetto della deformabilità della ruota e della rotaia su cui appoggia.

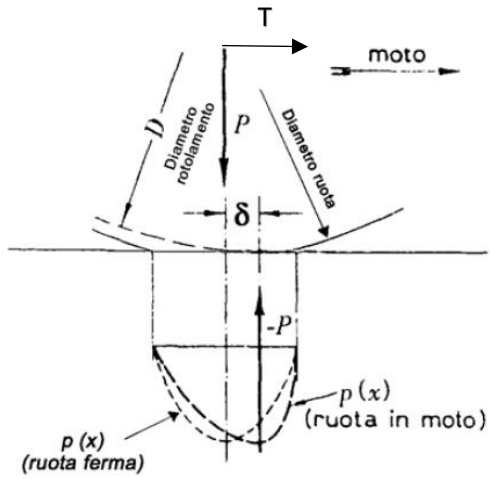
- La distribuzione delle pressioni sulla superficie, ovviamente simmetrica a ruota ferma, in moto si deforma in modo che la risultante P delle reazioni del terreno si sposti di una quantità δ nella direzione del moto.

- Si avrà un momento resistente pari a Mr = P · δ;
- Dall'equilibrio dei momenti intorno al punto di rotolamento si ricava il coefficiente della resistenza dal rotolamento

$$P \cdot \delta = T \cdot D/2 = R_{rot} \cdot D/2$$

$$R_{rot} = \frac{2 \cdot P \cdot \delta}{D} \quad ovvero$$

$$r_{rot} = \frac{2 \cdot \delta}{D}$$



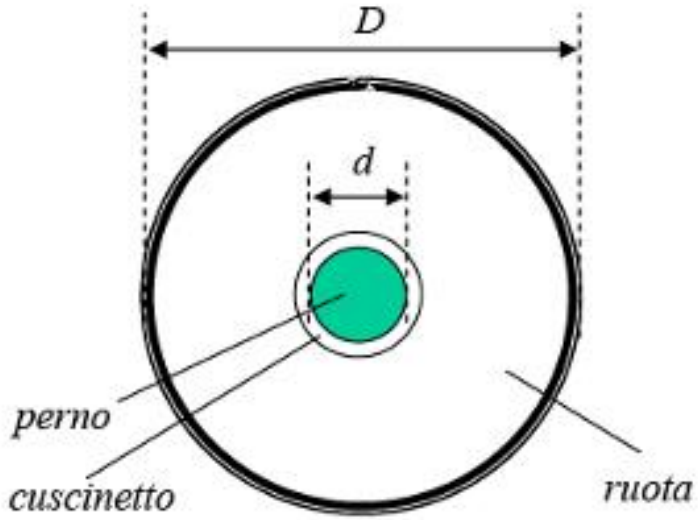
Nel sistema ferroviario, grazie alla rigidezza dell'accoppiamento ferro-ferro, la resistenza al rotolamento assume valori molto piccoli ma non trascurabili, comunque inferiori a quelli della ruota di gomma sulla superficie stradale.

Resistenza ai Perni

La **Resistenza ai Perni** dipende dal tipo di cuscinetto utilizzato per consentire il moto relativo di rotazione tra assile e carrello.

L'accoppiamento può essere realizzato mediante:

- **Cuscinetti a strisciamento**: utilizzati principalmente nei carri merci
- **Cuscinetti a rotolamento**: a sfere o a rulli



Momento resistente al perno

$M' = fatt * P * \frac{d}{2}$

Momento resistente all'avanzamento

$M' = R' * \frac{D}{2}$

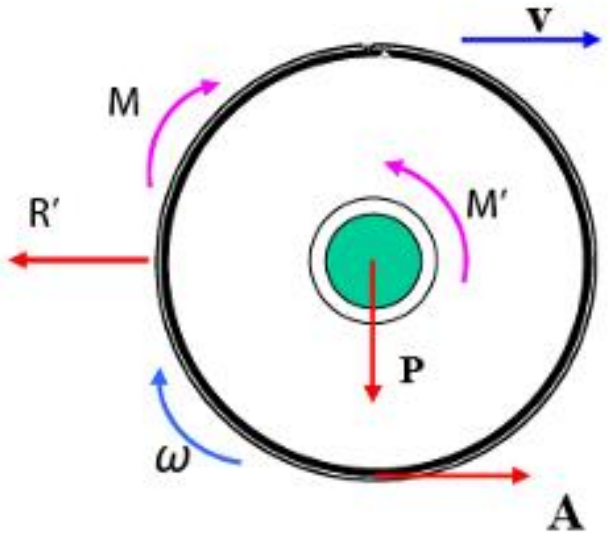
Dove:
- *fatt* = attrito ai perni
- P = carico verticale sul perno
- d = diametro del perno
- D = diametro ruota

Si ha quindi che :

$$fatt * P * \frac{d}{2} = R' * \frac{D}{2}$$

La resistenza ai perni vale:

$$R' = fatt * P * \frac{d}{D}$$

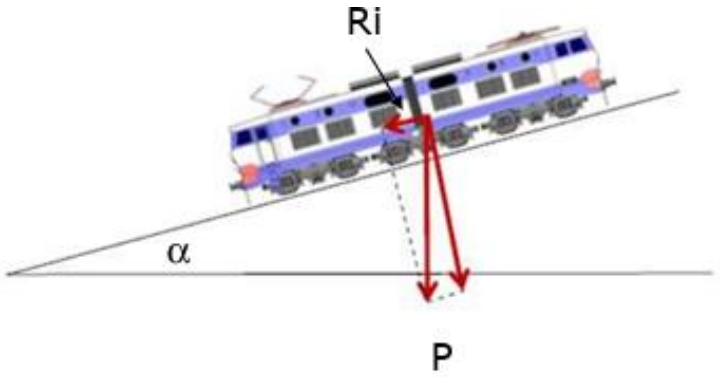


Resistenze accessorie: la pendenza

L'andamento altimetrico del tracciato determina la presenza di forze longitudinali derivanti dalla componente della forza peso lungo l'asse della traiettoria.

- se il tracciato presenta una pendenza positiva (ascesa) tale forza si oppone al moto;
- se la pendenza è negativa la forza favorisce il moto; in piano non si ha alcun effetto poiché la componente è nulla.

$$Ri = P * sin\alpha$$



Potendosi confondere per piccoli valori di α, caratteristici di una linea ferroviaria, il seno con la tangente, la resistenza al moto per la presenza di una pendenza vale:

$$Ri = P * \tan\alpha = P * i$$

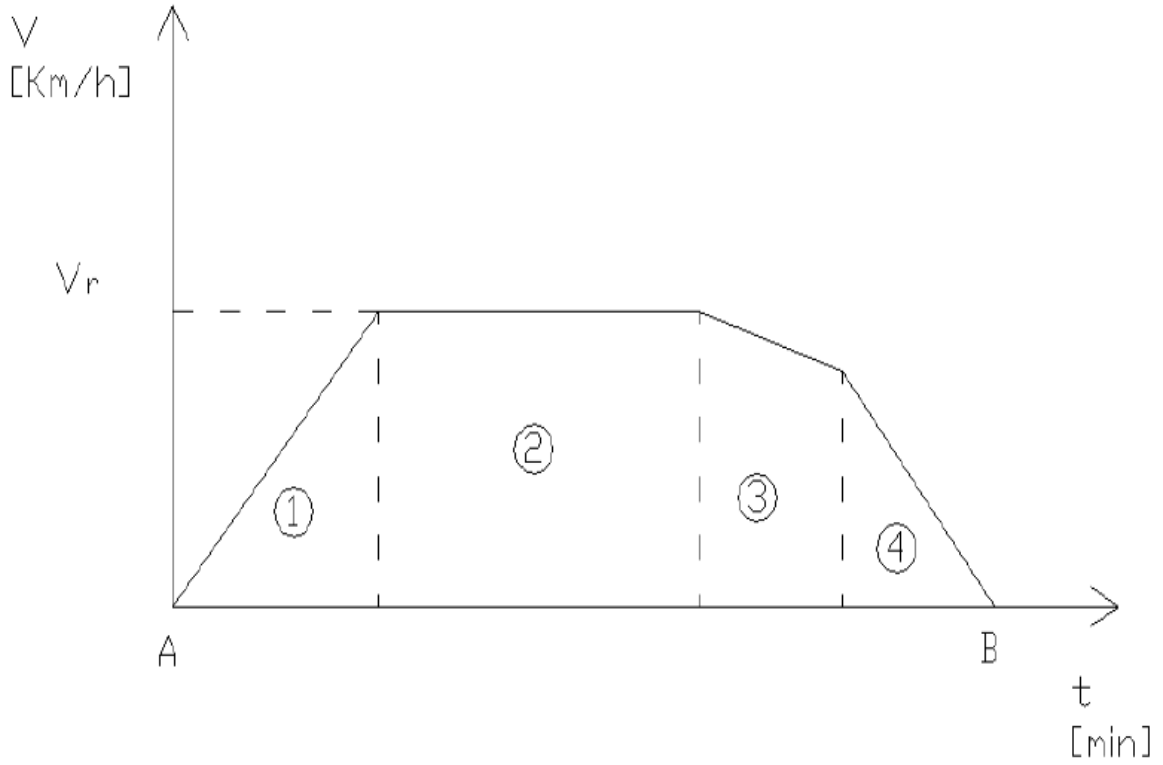
dove i è la **pendenza**:
- espressa in **‰ (per mille)** → es. 20‰ = 20/1000 = 0,02
- oppure in **%** → es. 2% = 0,02

I diagrammi del moto

I **diagrammi del moto** sono una rappresentazione approssimata delle grandezze cinematiche (spazio percorso, velocità accelerazione e contraccolpo).
In realtà essi si realizzano secondo le leggi dell'equazione della trazione.
Nel moto di un veicolo o di qualsiasi sistema di trasporto possiamo distinguere varie fasi di marcia:

1. **Avviamento**
2. **Regime**
3. **Lancio o Coasting**
4. **Frenatura**

Fasi	Condizioni di moto	Velocità	Accelerazione	Forze
SOSTA		v=0	dv/dt=0	T=0 I=0 R=0
MOVIMENTO	**Avviamento** $T - R = M_e \frac{dv}{dt}$	v>0	dv/dt>0	T>0 I<0 R ≠ 0
	Regime $T - R = 0$	v=cost	dv/dt=0	T=R I=0 Moto uniforme
	Lancio o rallentamento $-R = M_e \frac{dv}{dt}$	v>0	dv/dt<0	T=0 I=-R
	Frenatura $-(R + F_f) = M_e \frac{dv}{dt}$	v>0	dv/dt<0	T=0 I>0 R ≠ 0 Ff≠ 0



Caratteristiche Geometriche dei Sistemi di Trasporto

Sistema	Pendenza Massima	Raggio Minimo di Curvatura	Distanza Media tra Stazioni
Bus	12-20%	12-15 m	200-500 m
Tram	6-10%	18-30 m	300-600 m
Metropolitana	3-6%	120-150 m	500-3600 m

Le caratteristiche geometriche determinano la flessibilità di ciascun sistema rispetto al contesto urbano e alla morfologia del territorio. I sistemi su gomma offrono maggiore adattabilità, mentre i sistemi su rotaia garantiscono maggiore capacità ma richiedono infrastrutture più rigide.

La scelta del sistema più adatto deve considerare non solo la domanda di trasporto, ma anche le caratteristiche urbanistiche dell'area servita.

Il Concetto Base del Distanziamento: Le Sezioni di Blocco

1

Suddivisione della Linea

La linea ferroviaria viene divisa in tratti predefiniti chiamati "**Sezioni di Blocco**", ciascuna con una lunghezza calcolata in base a rigorosi parametri di sicurezza.

2

Sicurezza

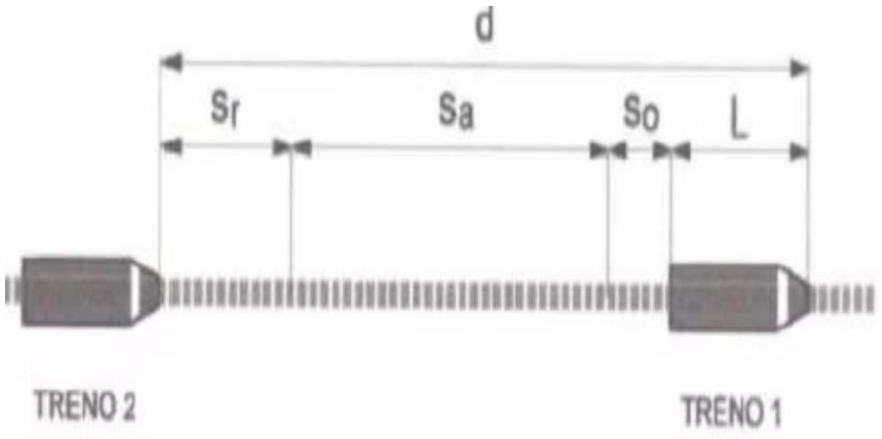
In ogni sezione di blocco può trovarsi un solo treno alla volta. Questa regola fondamentale è il principio cardine su cui si basa la sicurezza del trasporto ferroviario.

3

Distanziamento a Spazio

Questo sistema, conosciuto come "**Distanziamento a Spazio**", garantisce che i veicoli mantengano sempre una distanza minima di sicurezza tra loro, prevenendo potenziali collisioni.

La distanza di sicurezza minima è composta da:



Formula della distanza minima di sicurezza:

$$d = v\ t_r + \frac{v^2}{2a} + S_0 + L$$

- **Sr**: spazio percorso durante il tempo di reazione (dall'istante di percezioneall'efficienza del sistema frenante)
- **Sa**: spazio di frenatura necessario al treno per arrestarsi
- **S0:** ulteriore spazio di sicurezza
- **L:** lunghezza del treno



Limiti e Potenzialità del Blocco Fisso

Sicurezza Garantita

Il sistema è robusto e garantisce elevati standard di sicurezza grazie alla sua tecnologia ormai consolidata

Scarsa Flessibilità

La lunghezza fissa delle sezioni, dimensionata per il treno più veloce, crea inefficienze quando circolano treni con caratteristiche diverse.

Ridotta Capacità

La potenzialità della linea (treni/ora) è inversamente proporzionale alla lunghezza delle sezioni.

Il Blocco Mobile

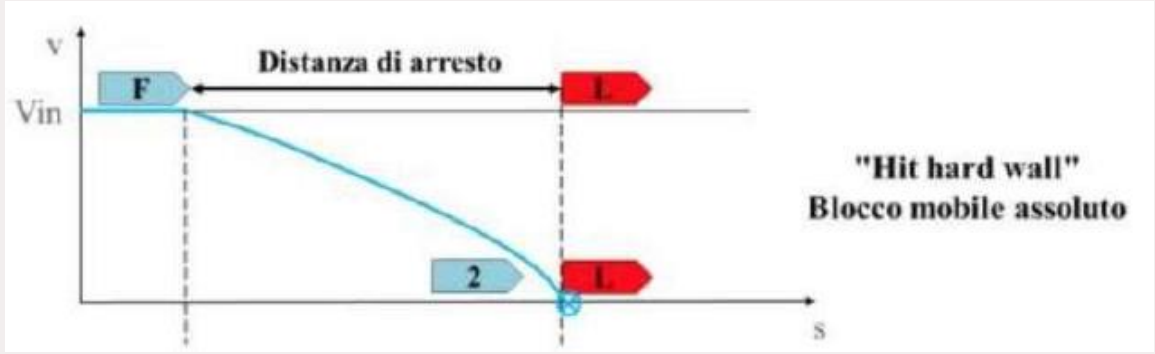
I **Sistemi di Blocco Mobile** rappresentano il superamento del concetto di sezione fissa, introducendo un approccio dinamico alla sicurezza ferroviaria.

Concetto Chiave: non si parla più di "**sezioni di blocco**" fisiche. La distanza di sicurezza viene calcolata dinamicamente in tempo reale:

1. Ogni treno rileva continuamente la propria posizione e velocità
2. L'informazione di Train Location viene inviata dal treno ai sistemi di controllo del distanziamento di terra i quali conoscendo le condizioni della via e la posizione dei treni sono in grado di inviare a ciascun treno la propria autorizzazione.
3. La distanza tra i treni viene ottimizzata in base alle condizioni reali

Blocco Mobile Assoluto vs. Relativo

Blocco Mobile Assoluto (Hard Wall)

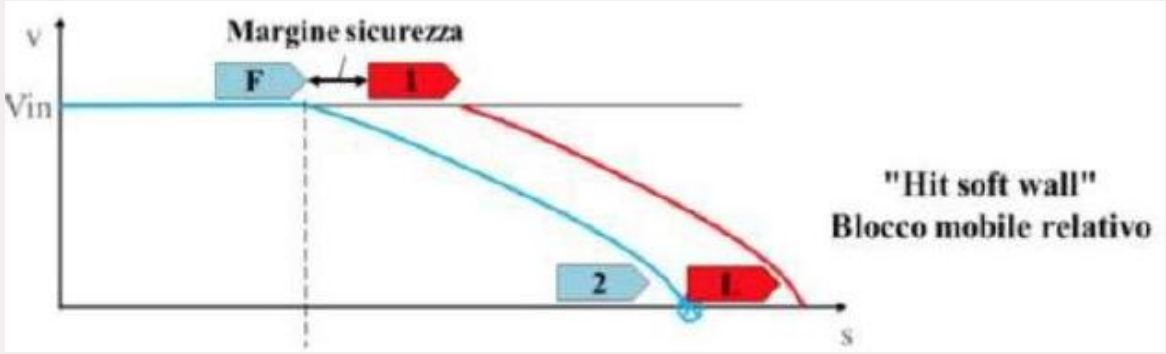


Scenario: Si ipotizza che il treno leader si arresti istantaneamente.

Distanza di Sicurezza: Il follower deve mantenersi a una distanza pari al suo spazio totale di arresto dalla posizione attuale del leader.

Approccio estremamente prudente che massimizza la sicurezza.

Blocco Mobile Relativo (Soft Wall)



Scenario: Si considera che anche il treno leader inizi a frenare secondo una curva di decelerazione nota.

Distanza di Sicurezza: Minore, poiché si tiene conto della frenata del leader, compensando solo il ritardo di reazione e le diverse performance di frenata.

Approccio più efficiente che ottimizza la capacità della linea.

Riepilogo Comparativo: Blocco Fisso vs. Blocco Mobile

Caratteristica	Blocco Fisso	Blocco Mobile
Divisione Linea	Sezioni di lunghezza fissa	"Bolle" di sicurezza dinamiche
Capacità	Limitata dalla lunghezza delle sezioni	Massima, ottimizzata in tempo reale
Flessibilità	Bassa (inefficiente con velocità diverse)	Alta (si adatta a ogni treno)
Sicurezza	Molto alta	Molto alta, con calcoli continui

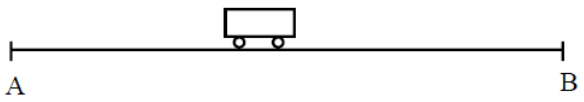
L'evoluzione verso il blocco mobile rappresenta una delle più significative innovazioni nel campo del segnalamento ferroviario.

PARAMETRI DI ESERCIZIO

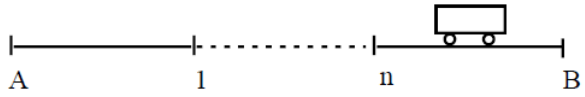
Una “linea” di trasporto è finalizzata a movimentare persone e/o cose lungo un **itinerario** predefinito e secondo un opportuno programma di esercizio:

- L’itinerario composto da almeno due punti del territorio
- In genere si effettua servizio anche in punti intermedi dell’itinerario.
- Nei caso di assenza di soste intermedie si parla di “navetta”.

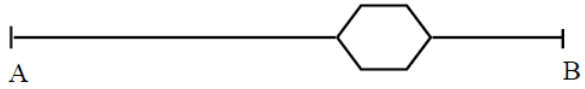
Aspetto caratteristico di una linea di trasporto è il ritorno dal punto di arrivo al punto di partenza.



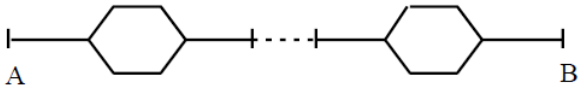
Sistema a navetta semplice



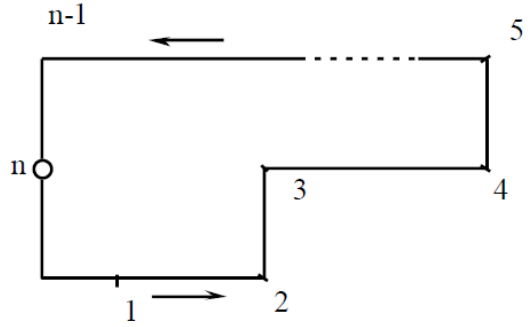
Sistema a navetta semplice
con fermate intermedie



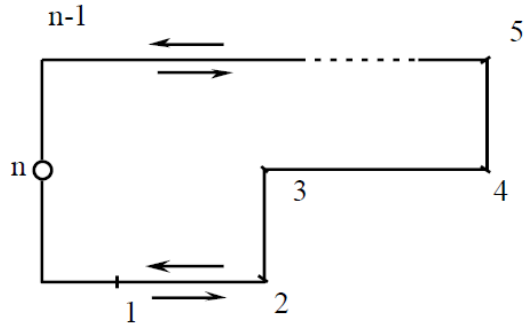
Sistema a navetta doppia



Sistema a navetta multipla



Sistema ad anello unidirezionale



Sistema ad anello bidirezionale

Sedi viarie affiancate ma distinte

PARAMETRI DI ESERCIZIO

I parametri di esercizio costituiscono gli indicatori fondamentali per la pianificazione, il controllo e l'ottimizzazione delle prestazioni di una linea di trasporto una linea di trasporto pubblico.

Velocità Commerciale Media

Rappresenta la velocità media di percorrenza dell'intero tragitto, comprensiva di tutte le fermate

Tempo di Giro

Durata complessiva necessaria per completare un viaggio di andata e ritorno sulla linea, inclusi i tempi tecnici di inversione.

Frequenza e Intertempo

La frequenza indica il numero di corse per unità di tempo, mentre l'intertempo rappresenta l'intervallo tra passaggi successivi

Capacità Oraria

Massimo numero di passeggeri trasportabili in un'ora

Numero di Veicoli Necessari

Flotta minima richiesta per garantire la frequenza programmata

Indicatori di Offerta

Posti-km: prodotto tra capacità dei veicoli e chilometri percorsi;
Veicoli-km: chilometraggio totale effettuato dalla flotta

Parametri di esercizio

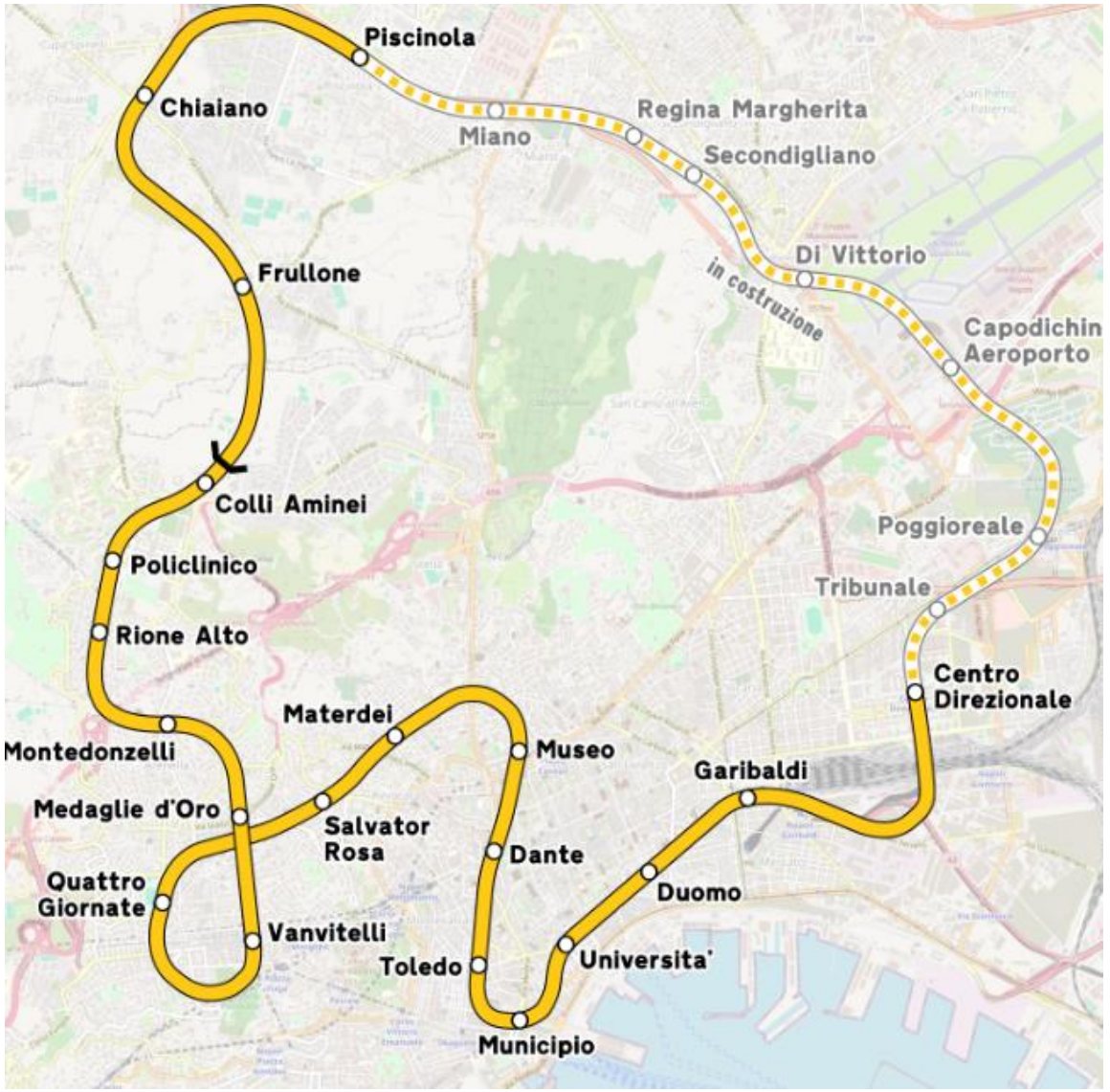
Velocità commerciale media [km/h]:

E' il rapporto tra la **lunghezza della linea** ed il tempo medio di percorrenza della stessa, comprensivo del tempo di sosta alle fermate (**tempo di viaggio**).

$$v_c = \frac{L_{Linea}}{t_{viaggio}}$$

Esempio pratico: calcolo velocità commerciale metropolitana

	Piscinola (A) - Garibaldi (B)	Piscinola (A) - Tribunale (B)	Piscinola (A) - Capodichino (B)
Lunghezza linea (km)	16,5	19,6	21,5
Lunghezza giro (km)	33	39,2	43
Tempo viaggio (h)	0,53	0,62	0,68
Tempo viaggio (min)	32	37	41
Velocità commerciale (km/h)	30,9	31,8	31,5



Parametri di esercizio

<u>Tempo di inversione al capolinea o di servizio</u> [h] o [min]
È il tempo che intercorre tra l'arrivo di un veicolo al capolinea e la partenza dello stesso per la corsa successiva.
Esso tiene conto del tempo necessario all'inversione del veicolo, dei tempi di riposo del personale viaggiante e dei tempi di recupero (fissati per recuperare eventuali ritardi in linea)

<u>Tempo di Giro</u> [h] o [min]
Il tempo di Giro è dato dalla somma del tempo di viaggio e del tempo di inversione/servizio

$$t_g = t_{viaggio} + t_{Inversione}$$

Tempo di Viaggio e Tempo di Servizio/Inversione dipendono dalle caratteristiche della linea:

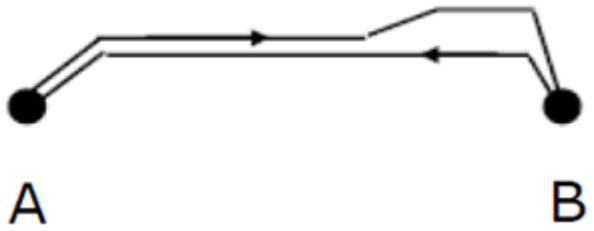
- ***Linea circolare***

$$t_g = t_{viaggio} + t_{Inversione} = \frac{L}{v_c} + t_{Inversione}$$



- ***Linea a navetta*** **(A/R) da A a B**

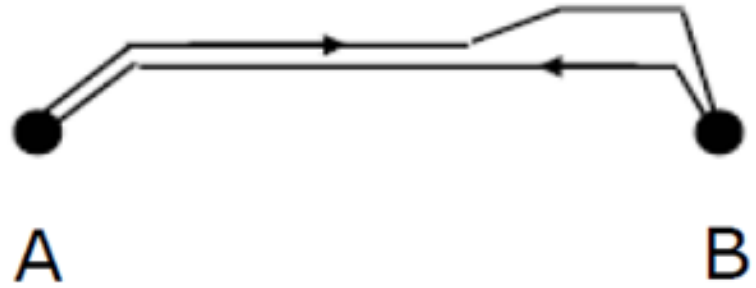
$$t_g = t_{viaggio} + t_{Invers} = \frac{L_{AB}}{v_{c_{AB}}} + t_{Invers_B} + \frac{L_{BA}}{v_{c_{BA}}} + t_{Invers_A}$$



Parametri di esercizio

- ***Linea a navetta*** **(A/R) da A a B**

$$t_g = t_{viaggio} + t_{Invers} = \frac{L_{AB}}{v_{c_{AB}}} + t_{Invers_B} + \frac{L_{BA}}{v_{c_{BA}}} + t_{Invers_A}$$

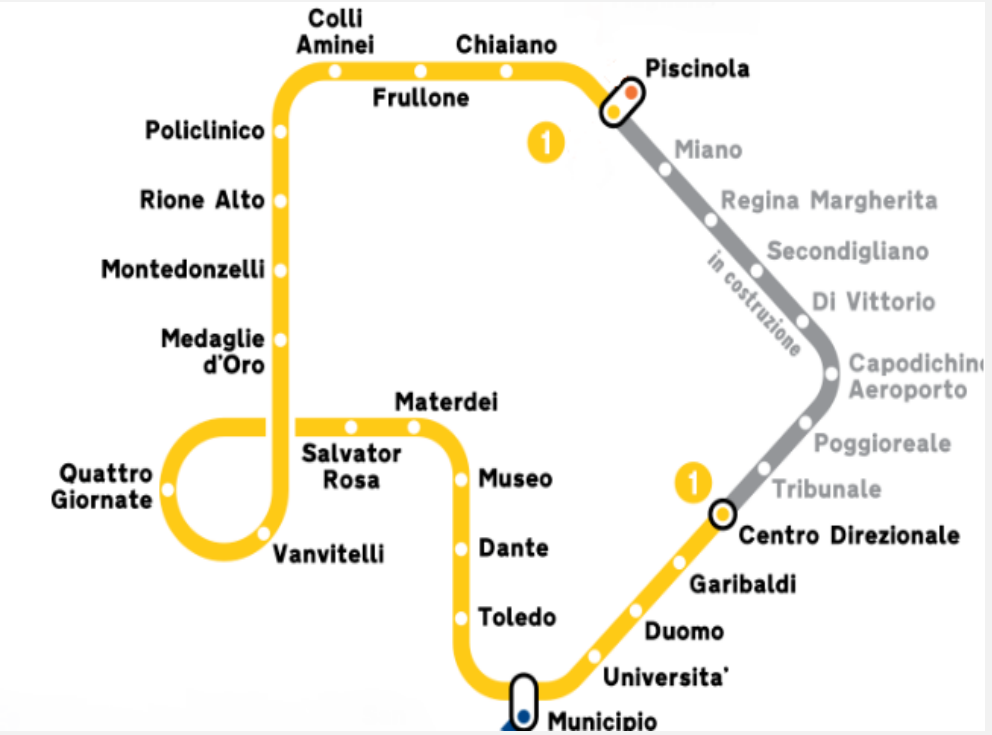


Esempio Linea 1 Metropolitana di Napoli

Si è considerato:

$$L_{AB} = L_{BA}$$

Linea 1 Metropolitana di Napoli	Piscinola (A) - Garibaldi (B)	Piscinola (A) -Tribunale (B)	Piscinola (A) - Capodichino (B)
Lunghezza linea (km)	16,5	19,6	21,5
Lunghezza giro (km)	33	39,2	43
Tempo viaggio (h)	0,53	0,62	0,68
Tempo viaggio (min)	32	37	41
Velocità commerciale (km/h)	30,9	31,8	31,5
Tempo di inversione capolinea A (min)	6	6	6
Tempo di inversione capolinea B (min)	9	3	3
Tempo giro (h)	1,32	1,38	1,52
Tempo giro (min)	79	83	91



Parametri di esercizio

Frequenza del servizio [veicoli/h]
La frequenza **φ** di una linea è il numero di veicoli (autobus, treni, ecc.) di quella linea che passano per una fermata in un'ora.

Intertempo [min]
L'intertempo **IT** di una linea è il distanziamento temporale tra il passaggio successivo di due veicoli della linea per una qualunque fermata.

La relazione che lega l'intertempo con la frequenza è:

$$IT = \frac{60}{\varphi}$$

Esempio

φ = 3 veicoli/ora	IT = 20 minuti
φ = 6 veicoli/ora	IT = 10 minuti
φ = 12 veicoli/ora	IT = 5 minuti

Esempio Linea 1 Metropolitana di Napoli

Linea 1 Metropolitana di Napoli	Piscinola (A) - Garibaldi (B)	Piscinola (A) -Tribunale (B)	Piscinola (A) - Capodichino (B)
Intertempo punta (min)	4	4	4
Intertempo morbida (min)	9	9	9
Frequenza φ punta (veicoli/h)	15	15	15
Frequenza φ morbida (veicoli/h)	7	7	7



Parametri di esercizio

Capacità oraria [passeggeri/h]

La capacità oraria **CAP** di una linea è il flusso massimo di passeggeri trasportabile su una certa tratta.

$$CAP = \varphi * k$$

Dove **k** è la **capacità del veicolo** esercito sulla linea.

Esempio Linea 1 Metropolitana di Napoli

Si considerano veicoli con capacità massima **k = 1200 passeggeri.**

Linea 1 Metropolitana di Napoli	Piscinola (A) - Garibaldi (B)	Piscinola (A) -Tribunale (B)	Piscinola (A) - Capodichino (B)
Frequenza punta (veicoli/h)	15	15	15
Frequenza morbida (veicoli/h)	7	7	7
Capacità oraria punta (passeggeri/h)	18.000	18.000	18.000
Capacità oraria morbida (passeggeri/h)	8.000	8.000	8.000



Parametri di esercizio

Numero di veicoli necessari per il servizio

Il numero di veicoli N necessari per il servizio rispettando la frequenza di esercizio φ si calcola come:

$$N = INT(t_g * \varphi) + 1 \quad \text{Oppure} \quad N = INT\left(60 * \frac{t_g}{IT}\right) + 1$$

La flotta dei veicoli necessaria per esercire la linea deve essere incrementata dei veicoli di riserva/scorta calda (circa il 10 % di N) e di quelli fermi per manutenzione (circa il 15% di N).

Linea 1 Metropolitana di Napoli	Piscinola (A) - Garibaldi (B)	Piscinola (A) -Tribunale (B)	Piscinola (A) - Capodichino (B)
Tempo giro (h)	1,32	1,38	1,52
Tempo giro (min)	79	83	91
Intertempo punta (min)	4	4	4
Intertempo morbida (min)	9	9	9
N. Treni (servizio) punta	20	21	23
N. Treni (servizio) morbida	9	10	11
N. Treni (scorta)	2	3	3
N. Treni (manutenzione)	3	4	4
N. Treni (flotta)	25	28	30

Parametri di esercizio

Posti-km e veicoli-km

Sono indicatori della quantità o della efficacia del servizio prodotto.
Possono riferirsi ad un'ora, un giorno o un anno.
I **veicoli-km** rappresentano i km offerti complessivamente dalla flotta nel periodo di riferimento.

$$\boldsymbol{veicoli - km = vc * hrif * N} \text{ (in un'ora/giorno/anno)}$$

Esempio

Si considera un esercizio di 17 ore di cui 4 ore di «punta» e 13 ore di «morbida».
Si ipotizza di replicare lo stesso servizio per tutto l'anno.

veicoli – km (*giorno*):

$\boldsymbol{vc * nh_{punta} * N_{punta} + vc * nh_{morbida} * N_{morbida}}$

veicoli – km (anno)

$\boldsymbol{veicoli - km\ (giorno) * 365}$

Linea 1 Metropolitana di Napoli	Piscinola (A) - Garibaldi (B)	Piscinola (A) -Tribunale (B)	Piscinola (A) - Capodichino (B)
Velocita commerciale vc (km/h)	30,9	31,8	31,5
N. Treni (servizio) punta	20	21	23
N. Treni (servizio) morbida	9	10	11
Veicoli-Km punta (in un'ora)	618	668	724
Veicoli-Km morbida (in un'ora)	278	318	346
Veicoli-Km (in un giorno)	6.086	6.806	7.394
Veicoli-Km (in un anno)	2.221.390	2.484.190	2.698.810

Parametri di esercizio

I **posti-km** si calcolano in modo analogo, tenendo conto della **capacità dei singoli veicoli k**:

$$posti - km = veicoli - km * k$$

Esempio Linea 1 Metropolitana di Napoli
Si considerano veicoli con carico massimo **k = 1200 passeggeri.**

Linea 1 Metropolitana di Napoli	Piscinola (A) - Garibaldi (B)	Piscinola (A) -Tribunale (B)	Piscinola (A) - Capodichino (B)
Veicoli-Km (in un giorno)	6.086	6.806	7.394
Veicoli-Km (in un anno)	2.221.390	2.484.190	2.698.810
Posti-Km (in un giorno)	7.303.200	8.167.200	8.872.800
Posti-Km (in un anno)	2.665.668.000	2.981.028.000	3.238.572.000

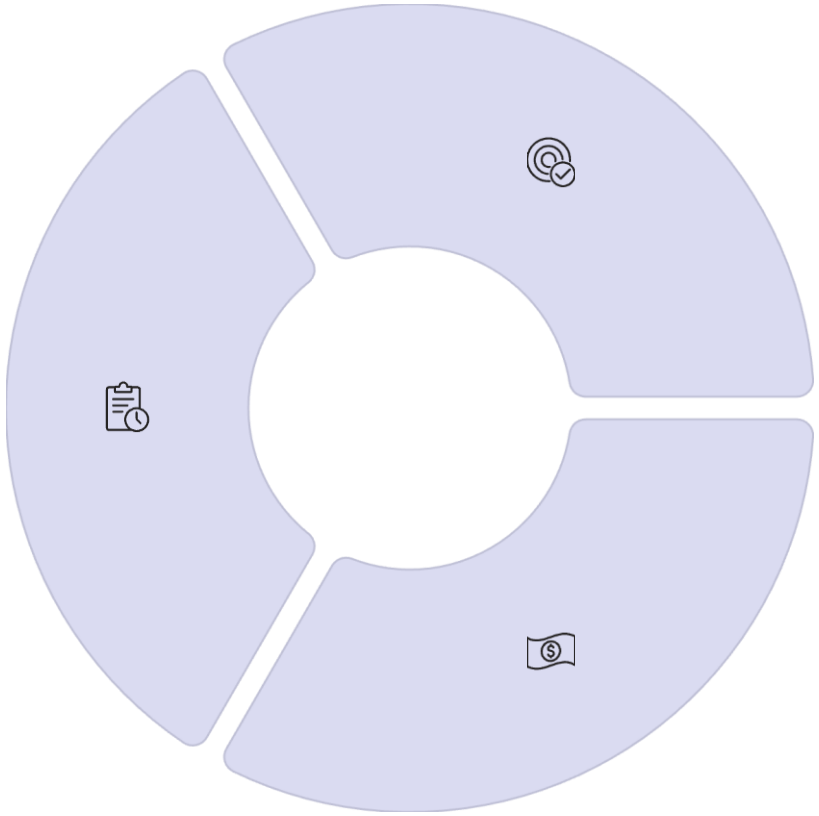


Valutazione delle Aziende di Trasporto Pubblico Locale

Indicatori di Efficienza

- Consumo di energia per posto km
- Fermi treno

Misurano la capacità dell'azienda di ottimizzare le ottimizzare le risorse nella produzione del servizio.



Indicatori di Efficacia

- **Utilizzazione del servizio** (passeggeri-km / posti-km)
- **Offerta media del servizio per abitante**
  posti x km prodotti/n. abitanti territorio servito

Valutano la capacità di soddisfare la domanda e e raggiungere gli obiettivi di servizio.

Indicatori di Economicità

- Indice e Coefficiente di esercizio (ricavi/costi)
- Costo e ricavo per passeggero
- Disavanzo per passeggero/km

Misurano la sostenibilità finanziaria e l'equilibrio economico economico del servizio offerto.

Una valutazione integrata e multicriteriale delle aziende di TPL deve considerare simultaneamente tutte queste dimensioni per ottenere un quadro completo delle performance e identificare le aree di miglioramento, bilanciando qualità del servizio e sostenibilità economica.

Decreto Ministeriale 157/2018

La standardizzazione dei costi, nel contesto dei servizi di trasporto pubblico locale e in particolare per le metropolitane, persegue diverse finalità cruciali:

01

Stimolare e Promuovere l'Efficienza

I costi standard sono definiti come "parametri obiettivo non modificabili, definiti sulla base di di standard produttivi consolidati o sulla base di di elaborazioni statistiche di dati aziendali, determinati allo scopo di stimolare processi di di efficienza nella produzione del servizio".

02

Gestione e pianificazione strategica

Forniscono agli enti affidanti uno strumento per la per la "programmazione dei servizi e di dell'efficienza del settore".

03

Supporto al Riparto delle Risorse Pubbliche

Sono utilizzati nei rapporti interistituzionali tra Stato e Stato e Regioni "ai fini del riparto delle risorse statali statali per il trasporto pubblico locale". Questo assicura una distribuzione più oggettiva e basata su basata su criteri di performance.

La Metodologia di Calcolo dei Costi Standard per i Servizi Metropolitani

La metodologia di calcolo dei costi standard, in particolare per i servizi metropolitani e tranviari, rappresenta un sistema complesso e strutturato per la determinazione degli stessi nel trasporto pubblico urbano.

Art. 7: Costi Standard Unitari con il Metodo Analitico

Questo articolo è interamente dedicato al metodo analitico.

Elenca esplicitamente le variabili che determinano i costi standard unitari per i servizi di trasporto con **modalità metropolitana**, che sono quelle descritte nel documento descritte nel documento "Allegato 3b" che hai precedentemente fornito:

- la quantità di treno-km di servizio offerti al pubblico
- la quantità di treno-km per trasferimento dei convogli da e per deposito/rimessa, per l'inversione marcia e per corse tecniche
- velocità commerciale
- la quantità di posti totali per convoglio
- la quantità di stazioni di linea
- la quantità di ore annue di apertura al pubblico per stazione
- la quantità di impianti di traslazione

DM 157 28/03/2018 all. 3b costo standard treno-km

- **Scopo del Modello:**
  - Individuare e valutare il peso e l'evoluzione dei singoli fattori della produzione.
  - Applicare standard di efficienza per la gestione dei servizi di trasporto metropolitano.
- **Aree Principali di Costo:**
  - Area Esercizio: Costi operativi diretti (personale, energia di trazione, rotabili).
  - Area Infrastruttura: Costi relativi a impianti fissi e loro manutenzione.
  - Area Amministrativa: Costi generali e di gestione.
  - Costo del Capitale: Costo dell'investimento netto.
- **Tipologie di Dati Considerati:**
  - **Dati Variabili:** Dipendono dal contesto specifico (es. percorrenze, frequenze, tipologia impianto).
  - **Dati Standard:** Parametri obiettivo non modificabili, basati su standard consolidati o analisi statistiche.

Classificazione dei Servizi Metropolitani

La diversificazione tecnologica e operativa dei sistemi metropolitani richiede una **classificazione accurata** per garantire l'applicazione corretta dei parametri di costo standard.
Le differenze significative tra le tipologie impiantistiche, gli aspetti normativi e le configurazioni organizzative necessitano di approcci metodologici differenziati.



Metro Pesante con Macchinista

Sistema caratterizzato da **portata oraria elevata** (superiore a 25.000 passeggeri/ora/direzione) con presenza obbligatoria di personale di guida qualificato. qualificato. Tecnologia consolidata con elevati standard di standard di sicurezza e capacità di trasporto.

Esempio: Metropolitana di Napoli - Linea 1, con caratteristiche tecniche avanzate e integrazione urbana urbana completa.



Metro Leggera con Macchinista

Sistema con **portata oraria ridotta** (fino a 15.000 passeggeri/ora/direzione) mantenendo la presenza di presenza di personale di guida. Configurazione ottimale ottimale per contesti urbani a media densità con costi costi operativi contenuti.

Flessibilità operativa elevata con possibilità di adattamento a diverse configurazioni di tracciato e stazioni.



Metro Leggera Automatica (Driverless)

Sistema completamente automatizzato con **portata oraria ridotta** ma senza necessità di macchinista. Tecnologia all'avanguardia che garantisce efficienza operativa e riduzione dei costi del personale.

Controllo centralizzato avanzato con sistemi di sicurezza sicurezza ridondanti e monitoraggio continuo delle delle operazioni.

DM 157 28/03/2018 all. 3b costo standard treno-km

Il **Costo Standard per treno-km** (CStkms) rappresenta l'indicatore economico fondamentale per la valutazione dell'efficienza operativa dei servizi metropolitani. Questa metrica sintetizza tutti I fattori di costo in un valore per il servizio offerto al pubblico.

$$CS_{tkms} = \frac{Ce + Cm.inf + Cene.sta + Ci.inf + Cgen.alt + Ccap}{Treno{-}km}$$

01

Ce - Costo Esercizio

Raggruppa le principali attività operative: personale, energia di trazione, rotabili e manutenzioni

02

Cm.inf - Manutenzione Impianti infrastruttura

Costi per manutenzione, pulizia, vigilanza e sicurezza degli impianti fissi infrastrutturali

03

Cene.sta - Energia Stazioni

Consumo energetico per illuminazione, climatizzazione e funzionamento delle stazioni

04

Ci.inf - Utilizzo Infrastruttura

Ammortamenti e canoni per l'utilizzo degli impianti infrastrutturali

05

Cgen.alt - Costi Generali

Costi amministrativi, generali e altri costi industriali non classificati

06

Ccap - Costo del Capitale

Costo del capitale investito netto basato su parametri WACC standardizzati

Il denominatore **Treno-kms** rappresenta la quantità totale di treno-chilometri di servizio erogati, includendo anche i servizi di invio e ritorno dal/al deposito, garantendo una misurazione completa una misurazione completa dell'attività produttiva.

Componente Ce: Costo di Esercizio

$$Ce = Cpg + Cpm + Cene.tra + Crot + Cman$$

La scomposizione analitica permette di identificare con precisione l'incidenza di ciascun fattore produttivo, facilitando il controllo gestionale e l'identificazione di aree di l'identificazione di aree di ottimizzazione economica.



Cpg - Personale di Guida

Costo del personale direttamente coinvolto nella conduzione dei treni, inclusi stipendi, contributi e benefit



Cpm - Personale Movimento

Personale addetto al movimento, circolazione e gestione delle stazioni durante le ore di apertura



Cene.tra - Energia Trazione

Consumo energetico per la trazione elettrica dei convogli in base ai posto-km prodotti



Crot - Costo Rotabili

Ammortamenti e canoni di affitto/leasing dei convogli e relative attrezzature tecniche



Cman - Manutenzione

Manutenzione, pulizia, vigilanza e sicurezza dei rotabili

Calcolo del costo annuo del personale di guida (Cpg)

Il **Costo del Personale di Guida** rappresenta un elemento cruciale nella struttura dei costi operativi, particolarmente rilevante per i sistemi con macchinista. La metodologia adotta un approccio parametrico che correla il fabbisogno di personale alle caratteristiche operative del servizio.

$$Cpg = NPG \times CMG$$

NPG - Numero Personale Guida

Formula: NPG = Treno-kmp / (HGA × V × IPS)

- **Treno-kmp:** Treno-km prodotti annualmente (dato variabile specifico dell'esercizio)
- **HGA:** Ore di guida annue prodotte per macchinista (standard di produttività)
- **V:** Velocità commerciale media (km/h, dato variabile del servizio)
- **IPS**: il coefficiente di conversione della velocità commerciale in velocità di servizio espresso come incidenza % della produzione del servizio (compresi quindi gli invii e i tempi di inversione al capolinea) sulla velocità commerciale (dato standard).

tipologia metro	metro pesante con macchinista	metro leggera con macchinista	metro leggera automatica
IPS	0,8629	0,6494	0,9896
HGA	928,81	1.234,67	0,00
CMG	53.791,15	54.569,47	0,00

CMG - Costo Medio Guida annuo (dato standard)

Rappresenta il **costo annuo complessivo per unità di personale** di guida, includendo:

- Stipendio base e indennità operative
- Contributi previdenziali e assistenziali
- Costi per formazione e aggiornamento professionale
- Altri benefit e costi accessori del personale

Questo parametro è definito come *dato standard* per promuovere l'efficienza retributiva. retributiva.

Esempio :

- $NPG = \frac{Treno-km}{HGA * V * IPS} = \frac{2.224.561\ Km}{928{,}81\ ore/\ unità\ /anno\ X\ 30{,}9\frac{km}{h}\ X\ 0{,}8629} = 90$
- Cpg = NPG X CMG = 90 * 53.791,15 = 4.841.203 Euro

Calcolo del Costo Personale Movimento (Cpm)

Il Personale di Movimento e Circolazione include tutto il personale operativo non direttamente coinvolto nella guida dei treni, ma essenziale per garantire la sicurezza e la qualità del servizio nelle stazioni e negli impianti fissi.

NPM: Numero di Addetti al Movimento e Agenti di Stazione

Formula: $NPM = NSt \times Hstaz \times StH$

- NSt è il numero complessivo di stazioni di linea (dato variabile).
- $Hstaz$ è il numero di ore annue di apertura al pubblico per stazione (dato variabile).
- StH è il numero di unità di addetti al movimento/circolazione per stazione e per ora di apertura della stazione (dato standard).
- CMM : **costo medio annuo di movimento,** è il costo annuo (in euro) per unità di personale di movimento/circolazione (dato standard).

$$Cpm = NPM \times CMM$$

	metro pesante con macchinista	metro leggera con macchinista	metro leggera automatica
StH	0,000993	0,000389	0,000389
CMM	49.834,02	49.292,32	49.292,32

Esempio:

- **Calcolo NPM (Numero di addetti al movimento e agenti di stazione):**
  - $NPM = NSt \times Hstaz \times StH$
  - $NPM = 19 \text{ stazioni} \times 6.205 \text{ ore/stazione/anno} \times 0,000993 \text{ unità/stazione/ora} \approx 117,89 \text{ unità}$
- **Calcolo C_{pm}:**
  - $C_{pm} = NPM \times CMM$
  - $C_{pm} = 117,89 \times 49.834,02 \text{ €} \approx \mathbf{5.875.023,55 \text{ €}}$

Calcolo del Costo annuo dell’ energia di Trazione (Cene.tra)

L'**Energia di Trazione** rappresenta uno dei costi variabili più significativi nell'esercizio metropolitano. La metodologia adotta un approccio basato sui posto-km prodotti per garantire una correlazione precisa tra consumo energetico e servizio offerto.

$$Cene.tra = Posto\text{-}kmp \times CETPKmp$$

	metro pesante con macchinista	metro leggera con macchinista	metro leggera automatica
CETPKmp	0,00225	0,00225	0,00225

- **Posti-chilometro prodotti (dato variabile)**

Formula*: veicoli km * k (capacità di ciascun treno)*

Rappresenta il **volume totale del servizio offerto** in un anno. Si calcola moltiplicando il numero di posti totali disponibili su un treno (seduti + in piedi) per il totale dei chilometri percorsi da tutti i treni in servizio durante l'anno.

- **CETPKmp - Costo dell'Energia Elettrica per Posto-chilometro**

Rappresenta quanto costa, in euro, produrre un singolo "posto-chilometro".
È un coefficiente di efficienza energetica: un valore più basso indica che il sistema è più efficiente nel convertire l'energia elettrica in servizio di trasporto.
Tipo di dato: d**ato Standard**. È un valore fisso, un benchmark definito dal modello che non cambia in base all'azienda.
Questo permette di confrontare i costi energetici di diverse aziende in modo equo, senza essere influenzati dalle fluttuazioni del prezzo dell'energia o da contratti di fornitura specifici.

Esempio pratico L1 tratta Piscinola - Garbialdi

$C_{ene.tra} = Posto - kmp\ X\ CETPKmp$

$C_{ene.tra}$ =2.669.473.125 X 0,0225=6.006.314 Euro

Costo annuo degli ammortamenti e dei canoni di affitto/leasing dei rotabili

Questo è il metodo principale per determinare il **costo standard**. Si basa su parametri di efficienza e valori di ammortamento standard, anziché sui costi storici specifici dell'azienda.

$$Crot = NT \times NPostirot \times AMMSposto$$

1 ***NT (Numero di rotabili)***

Cos'è: È il numero totale di veicoli (treni) necessari per erogare il servizio compreso gli invii.

Come si calcola: NT = Treno-kmp / KAT

- **Treno-kmp (dato variabile)**: I chilometri totali percorsi da tutti i treni in un anno.
- **KAT (dato variabile)**: La produttività media di un singolo veicolo, cioè i km medi che percorre in un anno. Un KAT basso significa che servono più veicoli (magari per avere una scorta tecnica più alta o per gestire picchi di domanda), aumentando il costo totale.

2 **NPostirot (Numero di posti per singola corsa)**

Cos'è: È la capienza di un treno, includendo sia i posti a sedere sia quelli in piedi (calcolati a circa 6 persone per metro quadrato).

Tipo di dato: **Dato Variabile**, perché dipende dalla tipologia di treni utilizzati.

3 **AMMSposto (Ammortamento standard annuale per posto)**

Rappresenta il costo di ammortamento standard per un singolo "posto" in un anno.

Tipo di dato: Dato Standard. È un valore fisso di riferimento (Allegato 4)

Esempio:

Calcolo NT (Numero di rotabili):

- $NT = \frac{Treno-kmp}{KAT}$
- $NT = \frac{2.224.561\,km}{90.000\,km/rotabile/anno} \approx 25\,rotabili$

Calcolo crot:

- $C_{rot} = NT \times NPosti_{rot} \times AMMS_{posto}$
- $C_{rot} = 25\,rotabili \times 1.200\,posti/treno \times 53\,€/posto/anno$

Crot= 16.590.000,00 €

Calcolo del Costo Manutenzione Rotabili (Cman)

La **Manutenzione dei Rotabili** comprende tutte le attività necessarie per garantire l'efficienza operativa, la sicurezza e il comfort dei convogli. Questa componente esclude la manutenzione straordinaria capitalizzata, concentrandosi sui costi operativi ricorrenti.

$$\text{Cman} = \text{Posto-kmp} \times \text{CMT}$$

L'utilizzo dei posto-km prodotti come base di calcolo garantisce una correlazione diretta tra intensità d'uso del materiale rotabile e necessità manutentive, riflettendo il principio che maggiore utilizzo comporta maggiore usura e fabbisogno di manutenzione.

Costi di esercizio

$$Ce = Cpg + Cpm + Cene.tra + Crot + Cman$$

$$C_e = 4.841.203{,}00 + 5.875.023{,}55 + 6.006.314{,}00 + 16.590.000{,}00 + 5.045.304{,}26 \approx \mathbf{38.357.844{,}8}\ €$$

pulizia, vigilanza e sicurezza dei rotabili per posto-km prodotto (dato standard):

	metro con macchinista	metro leggera con macchinista	metro leggera automatica
CMT	0,00189	0,00391	0,00391

Esempio :

C_{man} =*Posto−kmp* × *CMT*

$C_{man} = 2.669.473.125\ \textit{posto−km} \times 0{,}00189\ €/\textit{posto−km} \approx 5.045.304,\mathbf{75}\ €$

Tabella Riassuntiva

Caratteristica	Manutenzione NON Capitalizzata (Cman)	Manutenzione Capitalizzata (Crot)
Scopo	Mantenere il bene in funzione (ordinaria)	Aumentare il valore o la vita utile (straordinaria)
Esempi sui Treni	Riparazione di un sedile, sostituzione freni, pulizia	Revisione generale di metà vita, revamping, sostituzione dei motori
Trattamento Contabile	**Costo** dell'anno corrente	**Investimento** aggiunto al valore del bene
Impatto sul Bilancio	Riduce l'utile dell'anno in cui si sostiene	Aumenta il valore dell'asset e viene ammortizzato negli anni futuri

Costo annuo per la manutenzione degli impianti fissi

La **Manutenzione degli Impianti Fissi** riguarda tutti gli elementi infrastrutturali permanenti del sistema metropolitano: binari, sistemi di segnalamento, impianti elettrici, stazioni, depositi e officine. Questa componente è essenziale per garantire sicurezza, affidabilità e qualità del servizio.

$$Cm.inf = Hstaz \times NIT \times CMesIFHT$$

Hstaz - Ore di Apertura Annue

Numero di ore annue di apertura al pubblico per stazione, parametro variabile che riflette l'intensità del servizio offerto. Maggiori ore di apertura comportano maggiore usura degli impianti e necessità manutentive.

NIT - Impianti di Traslazione

Numero complessivo di impianti di traslazione (scale mobili, ascensori, tapis roulant) presenti nel sistema. Questi impianti richiedono manutenzione specializzata e continua per garantire accessibilità e sicurezza.

CMesIFHT - Costo Standard

Costo per ora di apertura per impianto di traslazione, parametro standard che include manutenzione ordinaria, pulizia, vigilanza e tutti i servizi necessari per il funzionamento degli impianti fissi.

	metro con macchinista	metro leggera con macchinista	metro leggera automatica
CMesIFHT	11,00	6,38	6,38

Esempio:

Cm.inf= Hstaz×NIT×CMesIFHT

Cm.Inf = 6.205 ore/stazione/anno × **57 impianti** × 11,00 €/ora/impianto

Cm. Inf = 3.889.335,00 €

Costo annuo di energia stazioni

Il costo annuo di energia delle stazioni, è molto simile al precedente, ma si focalizza unicamente sul **consumo di energia elettrica** delle stazioni (distinto da quello per la trazione dei treni).

$$Cene.sta = Hstaz \times NIT \times CESHT$$

- **Hstaz e NIT**: Sono gli stessi dati variabili visti sopra.

- **CESHT (Costo Energia Stazioni per ora e per impianto):**
  È il **parametro standard di efficienza energetica**. Rappresenta il costo dell'energia elettrica (in euro) necessaria per alimentare **un singolo impianto** (es. una scala mobile) per **una singola ora**. Ovviamente include implicitamente anche i consumi di illuminazione, biglietterie automatiche, ecc., rapportati per convenzione al numero di impianti.

	metro con macchinista	metro leggera con macchinista	metro leggera automatica
CESHT	1,6218	2,0482	2,0482

Costo annuo di energia stazioni

$$C_{ene.sta} = Hstaz \times NIT \times CESHT$$

$$C_{ene.sta} = 6.205\ ore/stazione/anno \times 57\ impianti \times 1{,}6218\ €/ora/impianto \approx \mathbf{574.689{,}84}\ €$$

Costo utilizzo (ammortamenti/canoni) impianti infrastruttura

È così determinato:

$$C_{i.inf} = NIT \times CIInfMs \times Dms + NIT \times CIInf \times (1 - Dms)$$

- ***NIT*** è il numero complessivo di impianti di traslazione (**dato variabile**).
- ***Dms*** è una variabile binaria che vale 1 se il costo della manutenzione straordinaria è incluso nel servizio, 0 altrimenti (**dato variabile**).
- ***CIInfMs*** è il costo di utilizzazione degli impianti dell'infrastruttura (per impianto di traslazione (**dato standard**).
  È stato determinato assumendo per gli impianti dell'infrastruttura una vita utile pari a 30 anni e una anzianità media pari a 15 anni
- ***CIInf*** è il costo di utilizzazione degli impianti dell'infrastruttura per impianto di traslazione se il costo della manutenzione straordinaria non è incluso nel servizio (**dato standard**).

	metro con macchinista	metro leggera con macchinista	metro leggera automatica
$CIInfMs$	34.324,44	34.324,44	34.324,44
$CIInf$	2.736,26	2.736,26	2.736,26

Esempio :

$$C_{i.inf} = NIT \times CIInf \times (1 - Dms)$$

$Dms = 0$ (manutenzione straordinaria non inclusa) usiamo

$$\boldsymbol{C_{i.inf} = 57\ impianti \times 2.736,26\ €/impianto \times (1 - 0) \approx 155.966,82\ €}$$

Costo comprensivo di tutti i costi generali e altri costi industriali

È così determinato:

$$C_{gen.alt} = Treno - kmp \times CGCI$$

- *Treno-kmp* è il numero di treno-km prodotti nell'anno, cioè la somma della percorrenza annua compresi gli invii (**dato variabile**).
- *CGCI* rappresenta il costo comprensivo di tutti i costi generali e di altri costi industriali per treno-km prodotto (**dato standard**).

	metro con macchinista	metro leggera con macchinista	metro leggera automatica
CGCI	4,81	2,11	2,11

Esempio:

Cgen.alt=Treno−kmp×CGCI*Cgen.alt=Treno−kmp×CGCI*

Cgen.alt=2.224.561 km × 4,81 €/treno-km ≈ 10.700.138,41 €

Costo del capitale investito netto

Il costo del capitale investito netto è così determinato:

$$Ccap = WACC \times (NT \times NPostirot \times AMMSposto \times (30/2 + 1))$$

- *WACC è il costo medio ponderato del capitale investito netto indicato nell'Allegato n. 2*
- *NT è il numero di rotabili.*
- *NPosti è il numero di posti (tra seduti e in piedi a sei persone circa al mq) per singola corsa*
- *AMMSposto:è il valore (in euro) dell'ammortamento standard annuale per posto, comprensivo del valore attuale della manutenzione programmata capitalizzata*

Esempio:

Ccap=WACC×(NT × Npostirot × AMMSposto ×(30/2+1))

$$C_{cap} = 0{,}06 \times (25, \ rotabili \times 1.200 \ posti/treno \times 53 \ €/posto/anno \times (15 + 1)) = \ 15.926.400{,}00 \ €$$

DM 157 28/03/2018 all. 3b costo standard treno-km

Il **Costo Standard per treno-km** (CStkms) rappresenta l'indicatore economico fondamentale per la valutazione dell'efficienza operativa dei servizi metropolitani. Questa metrica sintetizza tutti i fattori di costo in un valore unitario di riferimento per il servizio offerto al pubblico.

$$CS_{tkms} = \frac{Ce + Cm.inf + Cene.sta + Ci.inf + Cgen.alt + Ccap}{Treno{-}km} = \frac{38.357.844{,}8 + 3.889.335{,}00 + 574.689{,}84 + 155.966{,}82 + 10.700.138{,}41 + 15.926.400{,}00}{2250000} = 30{,}93\ €/\text{treno-km}$$

01

Ce - Costo Esercizio

Raggruppa le principali attività operative: personale, energia di trazione, rotabili e manutenzioni

02

Cm.inf - Manutenzione Impianti infrastruttura

Costi per manutenzione, pulizia, vigilanza e sicurezza degli impianti fissi infrastrutturali

03

Cene.sta - Energia Stazioni

Consumo energetico per illuminazione, climatizzazione e funzionamento delle stazioni

04

Ci.inf - Utilizzo Infrastruttura

Ammortamenti e canoni per l'utilizzo degli impianti infrastrutturali

05

Cgen.alt - Costi Generali

Costi amministrativi, generali e altri costi industriali non classificati

06

Ccap - Costo del Capitale

Costo del capitale investito netto basato su parametri WACC standardizzati

Il denominatore **Treno-kms** rappresenta la quantità totale di treno-chilometri di servizio erogati, includendo anche i servizi di invio e ritorno dal/al deposito, garantendo una misurazione completa una misurazione completa dell'attività produttiva.

Gestione del trasporto pubblico a guida vincolata

Gestione dell'Infrastruttura

Gestione Ordinaria

Attività: Esercizio e manutenzione ordinaria delle stazioni e delle linee

Modello: Contratto di Servizio con un operatore esterno (Gestore Infrastruttura)

Caratteristiche: Simile a un appalto di servizi dove l'Ente paga un corrispettivo per le attività svolte. Criticità nella definizione di costi standard a causa delle specificità di ciascuna linea.

Interventi Straordinari

Attività: Manutenzione straordinaria, rinnovi, adeguamenti e potenziamenti

Modello: Concessione e Contratto di Programma con risorse

Opzione 1: Affidamento al Gestore Infrastruttura in concessione, che che assume maggiori rischi operativi in cambio dello sfruttamento sfruttamento economico dell'infrastruttura

Opzione 2: Gestione diretta da parte dell'Ente locale proprietario, proprietario, mantenendo il controllo sugli interventi strategici

Gestione del Servizio di Trasporto

Esercizio e Manutenzione Ordinaria

Per la gestione quotidiana del servizio, l'approccio più diffuso è il Contratto di Servizio con un operatore specializzato (Gestore del Servizio di Trasporto).

Questo soggetto, che può essere diverso o coincidere con il Gestore dell'Infrastruttura, si occupa di:

- Conduzione dei mezzi
- Gestione del personale
- Programmazione del servizio
- Manutenzione ordinaria della flotta

Interventi Straordinari sui Veicoli

Per la manutenzione straordinaria e il rinnovo della flotta, emerge un modello innovativo: il innovativo: il Contratto di Leasing o Noleggio dei veicoli.

In questo scenario:

- L'Ente Locale evita l'acquisto diretto dei mezzi
- Gli oneri di manutenzione straordinaria vengono trasferiti al Gestore
- Il rischio tecnologico e finanziario viene efficacemente redistribuito
- I costi vengono incorporati nel canone del contratto di servizio

Il Modello Gross Cost: Semplicità e Controllo

Meccanismo Finanziario

L'Ente Locale definisce dettagliatamente il servizio richiesto e paga all'operatore un corrispettivo predeterminato che copre tutti i costi operativi più un margine di profitto. **Tutti i ricavi da traffico** (biglietti e abbonamenti) sono incassati direttamente dall'Ente Locale.

Incentivi e Benefici

L'incentivo principale per l'operatore è l'**efficienza dei costi**. Non avendo interesse economico diretto sul numero di passeggeri, si concentra sul controllo delle spese per massimizzare il profitto.

L'Ente mantiene il pieno controllo sulle politiche tariffarie e beneficia beneficia direttamente di eventuali aumenti della domanda di trasporto. trasporto.

Allocazione del Rischio

L'operatore si assume solo il **Rischio Industriale/Operativo**, dovendo gestire efficacemente i propri costi (personale, manutenzione, energia) per mantenerli entro il budget concordato.

L'Ente Locale si assume interamente il **Rischio Commerciale/di Domanda** - **Domanda** - se i passeggeri diminuiscono, i ricavi calano mentre il pagamento all'operatore resta fisso.

Il Modello Net Cost: Imprenditorialità e Incentivi

Nel modello Net Cost, l'Ente Locale paga all'operatore una cifra forfettaria calcolata come **differenza tra i costi e i ricavi previsti**. È l'operatore che incassa direttamente i ricavi dalla vendita dei biglietti.

Questo contratto è fortemente incentivante perché spinge l'operatore a essere efficiente su due fronti: contenere i costi operativi e simultaneamente aumentare i ricavi attraverso:

- Miglioramento della qualità del servizio
- Lotta all'evasione tariffaria
- Sviluppo dei ricavi "extra-traffico" (es. pubblicità)

La scelta tra i due modelli dipende dagli obiettivi strategici dell'Ente Locale: **controllo diretto** (Gross Cost) vs **impegno finanziario predefinito** (Net Cost).

Rischi per l'Operatore

Rischio Industriale

Deve gestire con efficienza efficienza i propri costi come nel modello Gross Gross Cost

Rischio Commerciale

È esposto alle fluttuazioni della domanda - se i passeggeri sono meno del previsto, i suoi incassi diminuiscono

Vantaggi per l'Ente: L'onere finanziario è certo e definito a priori, trasferendo gran parte del rischio imprenditoriale all'operatore.