



Università
Ca' Foscari
Venezia

Corso di Laurea magistrale in
Lingue, Economie e Istituzioni dell'Asia e dell'Africa Mediterranea
Language and Management to China

Tesi di laurea

**I treni a levitazione magnetica (Maglev),
con repertorio terminografico italiano-cinese**

Relatore

Ch. Prof. Franco Gatti

Correlatore

Ch. Prof. Livio Zanini

Laureanda

Paola Rinaldi

Matricola 861678

Anno Accademico

2020/2021

INDICE GENERALE

前言.....	5
PREFAZIONE.....	7
SEZIONE I.....	10
1. Le origini dei treni a levitazione magnetica.....	11
1.1 Definizione di levitazione magnetica e di treno a levitazione magnetica	14
1.2 Analisi dei primi sviluppi tecnologici e brevetti.....	16
1.3 I treni Maglev nel mondo.....	23
2. La tecnologia alla base del funzionamento dei treni a levitazione magnetica	36
2.1 Magnetismo ed elettromagnetismo.....	38
2.1.1 Elettromagneti	45
2.1.2 Magneti permanenti.....	46
2.1.3 Magneti superconduttori.....	50
2.2 La levitazione.....	52
2.2.1 EMS: sospensione elettromagnetica.....	52
2.2.2 EDS: sospensione elettrodinamica.....	54
2.3 La propulsione.....	59
2.3.1 LIM: Motore lineare ad induzione.....	60
2.3.2 LSM: Motore sincrono lineare	61
2.4 La guida laterale: forze magnetiche attrattive e forze magnetiche repulsive	62
2.5 Il rifornimento di energia elettrica	66
2.6 Treni a levitazione magnetica e treni convenzionali a confronto: vantaggi e svantaggi	68
3. La Repubblica Popolare Cinese e la prima linea commerciale Maglev ad alta velocità: lo Shanghai Transrapid.....	73
3.1 La costruzione della linea e gli aspetti economici e prestazionali	76
3.2 La tecnologia utilizzata.....	80
SEZIONE II	83
Schede terminografiche	84
Schede bibliografiche	226
SEZIONE III.....	237
Tabella di consultazione rapida italiano-cinese.....	238
Tabella di consultazione rapida cinese-italiano.....	242
BIBLIOGRAFIA.....	246
SITOGRAFIA.....	249
ILLUSTRAZIONI.....	252

前言

自 1825 年以来，随着世界上第一条商业铁路线的开通，火车和铁路运输在社会、经济和环境领域都发挥着至关重要的作用。据估计，铁路运输覆盖了全球 8%的客运活动和约 9%的货运活动，并且消耗了整个运输部门所需总能源中 3%的能源。

多年来，铁路行业都是相关专家与政治家特别关注的重点领域。其中，他们尤其在意如何不断提高火车的运行速度。

按照主要历史时期划分，列车运行速度的演变过程可分为以下四个主要阶段。第一阶段为第一次工业革命时期（18 世纪下半叶）。这一阶段的特点是蒸汽机的出现，火车最高时速约为 80 公里。第二阶段为第二次工业革命时期（1920 年至 1960 年）。在此期间，得益于电力、化学品和石油的使用，火车的平均时速达到 200 公里。第三阶段对应第三次工业革命和工业自动化时期。传统铁路系统的时速已达到了 300 公里左右，而磁悬浮列车的时速已达到了 400 公里。最后，列车运行速度发展的第四阶段对应于现在和即将到来的后工业时代。该阶段的主要研究目标集中在磁悬浮列车和高速真空管道磁悬浮系统上。该系统目前正处于研发和测试阶段，所以尚无法确定最高速度会达到多少。正如我们所看到的，磁悬浮列车不仅代表了铁路运输的现在，也代表着铁路运输的未来。在这种情况下，磁悬浮列车将成为未来最具有竞争力的一种交通工具。

磁悬浮技术是一项高科技集成的技术。从铁路交通角度来看，磁悬浮技术是通过磁场的原理使列车悬浮在空中。该技术利用磁力克服重力，实现了车辆与轨道的无接触运行。因此，磁悬浮列车是一种现代高科技轨道交通工具，它通过电磁力实现列车与轨道之间的无接触悬浮和导向，再利用直线电机产生的电磁力牵引列车运行。使用磁悬浮技术的列车通常被称为“Maglev”列车。“Maglev”这个词来源于英语 magnetic 和 levitation 单词的缩写。

磁悬浮列车系统极其复杂。该系统的技术涉及了物理学、电子学、力学和数学等众多学科，最终整合运用于磁悬浮列车上。尽管如此，整个系统的基本原理实则为一个非常简单的物理原理，即磁铁间同极相斥，异极相吸。

如前所述，磁悬浮技术在铁路运输部门中仍然是一项前瞻性技术，并且世界范围内运用此技术的商业线路还很少。但其实早在 1842 年，英国物理学家塞缪尔·恩肖（Samuel Earnshaw）就已提出了磁悬浮的概念。自那一年至今，磁悬浮技术的探索和研究已跨越 3 个世纪。德国工程师阿尔弗雷德·泽登（Alfred Zehden）对磁悬浮技术的发展做出了另一项重要贡献，在火车上使用直线电机的想法就是由他提出来的。他还分别于 1905 年和 1907 年

获得了两项关于直线电机的专利。针对高速磁悬浮轨道交通，1922年，德国工程师赫尔曼·肯珀（Hermann Kemper）发明了电磁悬浮原理，并于1934年获得了世界上第一项有关磁悬浮技术的专利。从那一年开始至2003年，全球范围内相关专利数量迅速增长，磁悬浮技术取得了惊人的发展成果。在德国，工程师建造了足足八代磁悬浮列车（Transrapid 01号 - Transrapid 08号）。与此同时，日本工程师着重探索超导磁体。另外，2003年中国建成了至今世界上唯一一条商用高速磁悬浮铁路。最后，北京的S1磁悬浮线路于2017年正式通车运营，这标志着磁悬浮技术进入工业化阶段。

对解决交通部门将面临的各种问题，比如交通拥堵和污染，磁悬浮技术具有重大而深远的意义。磁悬浮列车不仅是零排放的绿色交通工具，而且还能减少噪音污染以及节约土壤和能源。与传统铁路相比，高环境兼容性正是磁悬浮列车的主要优势之一。

磁悬浮列车是新时代下交通运输行业的技术挑战，因此本篇论文以磁悬浮列车为主题。

本篇论文的第一部分由三个章节组成。第一章介绍了磁悬浮列车从起源到现在的历史，分析了磁悬浮技术的发展和相关专利。第一章的最后还描述了世界范围内过去、现在和正在设计阶段中的磁悬浮线路。第二章以磁学和电磁学这两个主要概念为引，主要讨论磁悬浮技术。关于磁学和电磁学，第二章中重点涵盖了对电磁铁、永磁体和超导磁体的解释。然后，说明了磁悬浮技术的四个关键要素：悬浮、推进、导向和电力供应。关于磁悬浮列车的悬浮，研究了最常用的两种悬浮方式：常导电磁悬浮和电动磁悬浮。接着，探索了磁悬浮列车的推进和导向。磁悬浮系统可以使用两种不同类型的电机，即直线感应电机或者直线同步电机。第二章提供了针对这两种电机的操作和特性的解释。此外，第二章还说明了磁悬浮列车导向系统的技术原理，即吸引磁力或排斥磁力。在解释了磁悬浮列车的电力供应以后，本论文继续列出了磁悬浮列车和轮轨交通系统的优势和劣势。第三章的重点研究世界上首条采用高速磁悬浮技术的商用线路：上海磁浮示范运营线。该章中介绍了上海磁浮示范运营线的性能、历史、成本和技术。

第二个部分提供了术语汇编，其中包括物理学、电子学、力学和磁悬浮列车技术原则所依据的其他学科术语。

最后，第三个部分提供了意大利语-汉语和汉语-意大利语速查表。

PREFAZIONE

Fin dal 1825, con l'apertura della prima linea ferroviaria commerciale al mondo, i treni e il trasporto ferroviario hanno svolto un ruolo cruciale in ambito sociale, economico ed ambientale. Secondo le stime, le ferrovie coprono, a livello globale, l'8% del trasporto passeggeri e circa il 9% delle attività di trasporto merci consumando il 3% dell'energia necessaria per l'intero settore dei trasporti.

Nel corso degli anni il tema che ha sempre riscosso particolare interesse in ambito ferroviario, sia tra gli esperti del settore che tra le classi politiche, è quello dell'aumento ininterrotto della velocità.

Il processo evolutivo della velocità operativa dei treni può essere descritto, in funzione alle principali epoche storiche, attraverso quattro fasi principali. La prima rivoluzione industriale, della seconda metà del XVIII secolo, caratterizzata dall'avvento delle macchine a vapore e da una velocità massima di circa 80 km/h. La seconda rivoluzione industriale, tra il 1920 e il 1960, coincidente con l'utilizzo estensivo dell'elettricità, dei prodotti chimici e del petrolio grazie ai quali si sono raggiunte velocità pari ai 200 km/h. La terza rivoluzione industriale e l'ascesa dell'automazione industriale con velocità che si aggirano attorno ai 300 km/h nei sistemi ferroviari tradizionali e 400 km/h nei treni a levitazione magnetica. L'era post-industriale, che corrisponde al nostro presente e prossimo futuro, in cui la ricerca risulta incentrata proprio su quest'ultima tipologia di treni e su sistemi di trasporto intubati ed evacuati con veicoli a levitazione magnetica ad altissima velocità per i quali non è ancora possibile confermare quali saranno i limiti massimi di velocità. I treni a levitazione magnetica rappresentano quindi non solo il presente ma anche il futuro del trasporto ferroviario.

In ambito ferroviario, la levitazione magnetica è una tecnologia che consente al veicolo di rimanere sospeso nello spazio in assenza di qualsiasi tipo di contatto. Pertanto, le forze magnetiche sono utilizzate per contrastare gli effetti della forza di gravità agenti sul veicolo stesso. Ciò considerato, il treno a levitazione magnetica può essere definito come un moderno veicolo per il trasporto ferroviario nel quale levitazione, guida e propulsione si ottengono per mezzo della forza elettromagnetica. Per indicare i treni a levitazione magnetica, il vocabolo usato per la maggiore è quello di treni "Maglev" risultato dall'abbreviazione delle parole inglesi *magnetic* e *levitation*.

Il sistema dei treni Maglev è estremamente complesso ed è il risultato della cooperazione tra diverse discipline quali, tra le altre, la fisica, l'elettronica, la meccanica e la matematica. Nonostante ciò, è possibile identificare un principio basilare sul quale l'intero sistema si fonda, ovvero l'attrazione tra poli magnetici opposti e la repulsione tra poli magnetici uguali.

Sebbene questo settore del trasporto ferroviario sia tutt'oggi all'avanguardia, e vi siano solamente poche linee commerciali operative in tutto il mondo, il concetto di levitazione magnetica fu proposto per la prima volta dal fisico inglese Samuel Earnshaw già nel 1842. L'ingegnere tedesco Alfred Zehden diede

un altro contributo importante per lo sviluppo della tecnologia Maglev grazie alla sua idea di utilizzare un motore lineare per ottenere la propulsione nei treni. Quest'ultimo ricevette due brevetti in materia rispettivamente nel 1905 e nel 1907. Nel 1922, l'ingegnere tedesco Hermann Kemper elaborò il principio della levitazione elettromagnetica per il quale gli venne assegnato il primo brevetto al mondo per la tecnologia Maglev nel 1934. A partire da quell'anno fino al 2003 il numero di brevetti crebbe rapidamente e si ebbero risultati sorprendenti in Germania, con la costruzione di ben otto generazioni di treni Maglev (Transrapid 01-Transrapid 08), in Giappone, grazie alle ricerche sull'utilizzo di magneti superconduttori e nella Repubblica Popolare Cinese dove proprio nel 2003 entrò in funzione la prima linea commerciale Maglev ad alta velocità al mondo. Sempre restando all'interno dei confini della Repubblica Popolare Cinese, nel 2017 l'apertura della linea a levitazione magnetica S1 di Pechino decretò l'ingresso della tecnologia Maglev nella fase di industrializzazione.

La tecnologia Maglev è la soluzione potenziale a varie sfide future che il settore dei trasporti è chiamato ad affrontare, quali ad esempio il problema del traffico e dell'inquinamento. I treni Maglev, infatti, non solo rientrano tra i mezzi di trasporto ad emissione zero ma permettono anche di ridurre l'inquinamento acustico e l'utilizzo di suolo e di energia. L'elevata compatibilità ambientale è proprio uno dei principali vantaggi dei treni Maglev rispetto alle ferrovie convenzionali.

Nel presente elaborato, suddiviso in tre sezioni, vengono analizzati i treni a levitazione magnetica in quanto sfida tecnologica in vista di una nuova epoca per i trasporti.

La prima sezione è formata a sua volta da tre capitoli. Il primo capitolo ripercorre la storia dei treni Maglev dalle origini ai giorni nostri per poi analizzare i vari sviluppi tecnologici e brevetti che hanno permesso di arrivare ai risultati odierni. L'ultima parte di questo primo capitolo è dedicata all'esposizione delle linee Maglev del passato, del presente e in fase di progettazione nel mondo. Nel secondo capitolo si entra nel dettaglio della tecnologia Maglev partendo dai due concetti primari, ovvero magnetismo ed elettromagnetismo. Particolare attenzione viene data a elettromagneti, magneti permanenti, e magneti superconduttori. A seguire vengono esposti i quattro elementi chiave della tecnologia Maglev: la levitazione, la propulsione, la guida laterale e il rifornimento di energia elettrica. Per quanto riguarda la levitazione, vengono descritte le due tecnologie maggiormente utilizzate: la sospensione elettromagnetica (EMS) e la sospensione elettrodinamica (EDS). Vengono quindi esaminati altri due aspetti fondamentali: la propulsione e la guida laterale. La propulsione nei sistemi Maglev si può ottenere o attraverso un motore lineare ad induzione oppure utilizzando un motore sincrono lineare. Di entrambi si espongono funzionamento e caratteristiche. In relazione alla guida laterale, il focus è rappresentato dalla tipologia di forze magnetiche grazie alle quali quest'ultima è resa possibile: forze magnetiche attrattive o forze magnetiche repulsive. L'ultimo argomento di natura tecnica è relativo, invece, al rifornimento di energia elettrica. A conclusione di questo capitolo si propone un confronto tra i treni Maglev e i treni convenzionali attraverso i vantaggi e gli svantaggi propri di queste due tipologie di treni. Infine, nell'ultimo

capitolo viene presentata la prima linea commerciale al mondo con tecnologia a levitazione magnetica ad alta velocità: lo Shanghai Transrapid. Di tale linea vengono evidenziati diversi aspetti, tra cui le prestazioni, la storia, i costi per la realizzazione del progetto e la tecnologia utilizzata.

La seconda sezione è composta da un repertorio terminografico in formato SGML, adatto quindi alla elaborazione digitale, che è possibile utilizzare all'interno di software per la traduzione assistita quali il modulo MultiTerm™ per Trados™. I termini inclusi all'interno delle schede terminografiche appartengono a settori specifici sui quali si basa la tecnologia dei treni a levitazione magnetica ovvero la fisica, l'elettronica e la meccanica.

Nella terza e ultima sezione si forniscono le tabelle di consultazione rapida italiano-cinese e cinese-italiano.

SEZIONE I

CAPITOLO 1

Le origini dei treni a levitazione magnetica

Fin dal 1825, con l'apertura della prima linea ferroviaria commerciale al mondo, i treni e il trasporto ferroviario hanno svolto un ruolo cruciale in ambito sociale, economico ed ambientale. Secondo il report dell'agenzia internazionale dell'energia (IEA), le ferrovie coprono, a livello globale, l'8% del trasporto passeggeri e circa il 9% delle attività di trasporto merci consumando il 3% dell'energia necessaria per l'intero settore dei trasporti.¹

Nel corso degli anni gli studi e le ricerche in ambito ferroviario si sono focalizzati su molteplici aspetti, portando a numerosi e rapidi sviluppi, ma il tema che ha sempre riscosso particolare interesse, sia tra gli esperti del settore che tra le classi politiche, è quello dell'aumento ininterrotto della velocità. Per molto tempo, infatti, l'evoluzione prestazionale del sistema di trasporto ferroviario è stata collegata in maniera quasi totalizzante all'esigenza di ottenere velocità operative sempre più elevate.²

L'illustrazione 1 raffigura graficamente il processo evolutivo della velocità operativa dei treni. Quest'ultimo può essere descritto attraverso quattro fasi principali, in funzione alle principali epoche storiche. La prima rivoluzione industriale, a partire dalla seconda metà del XVIII secolo, fu caratterizzata dall'avvento delle macchine a vapore e da una velocità massima di circa 80 km/h. Fu proprio grazie alle velocità raggiungibili e all'elevata capacità di trasporto di merci e passeggeri che il trasporto ferroviario ebbe grande successo e si sviluppò in breve tempo in tutto il mondo. La seconda rivoluzione industriale, collocata tra il 1920 e il 1960, coincide con l'utilizzo estensivo dell'elettricità, dei prodotti chimici e del petrolio grazie ai quali si sono raggiunte velocità pari ai 200 km/h. La terza rivoluzione industriale, che ebbe inizio circa negli anni Sessanta e si protrae fino ai giorni nostri, è il simbolo dell'ascesa dell'automazione industriale raggiunta a seguito dei progressi nell'elettronica, nella meccanica e nei sistemi ICT (*Information and Communication Technology*). Durante questo periodo storico, le velocità registrate dai sistemi ferroviari tradizionali ad alta velocità si aggirano attorno ai 300 km/h mentre i treni a levitazione magnetica si sono spinti fino ai 400 km/h. L'era post-industriale, che corrisponde al nostro presente e prossimo futuro, vede come fulcro della ricerca ferroviaria proprio la tecnologia a levitazione magnetica applicata anche a sistemi di trasporto intubati ed evacuati ad altissima velocità per i quali non è ancora possibile confermare quali saranno i limiti massimi di velocità.³

¹ Jacopo TATTINI, Sarah MCBAIN, *Rail*, in "IEA", 2021, <https://www.iea.org/reports/rail>.

² Giovanni LANZARA, Gino D'OVIDIO, LI Haitao, DENG Zigang, ZHANG Weihua, "Disamina dei sistemi a levitazione magnetica dal punto di vista dell'ingegneria dei trasporti: antefatti e prospettive future", *IF Ingegneria ferroviaria*, 7-8, p. 558, 2021.

³ LANZARA, D'OVIDIO, LI, DENG, ZHANG, "Disamina dei sistemi...", *cit.*, pp. 558-559.

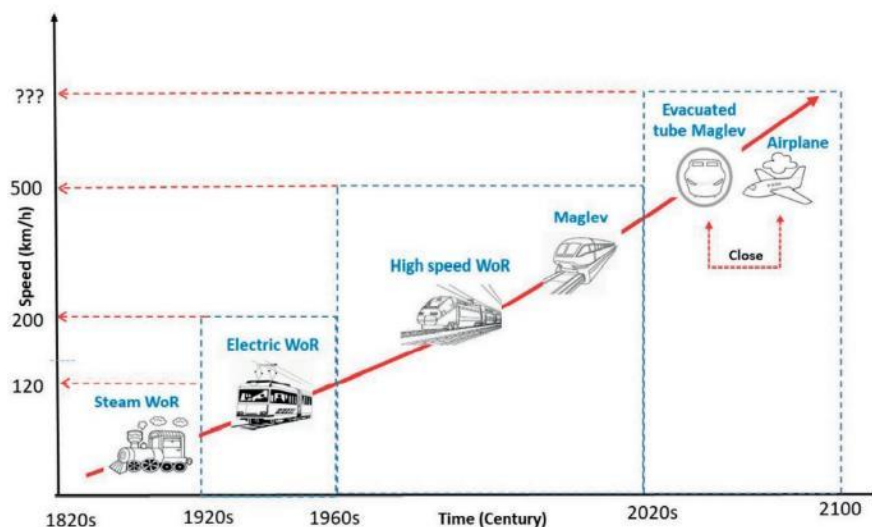


Illustrazione 1: Processo evolutivo della velocità operativa dei treni

Attraverso tale analisi appare evidente che i treni a levitazione magnetica rappresentano non solo il presente ma anche il futuro del settore ferroviario in vista di una nuova epoca per i trasporti.

Per comprendere le motivazioni che si celano dietro alla nascita e allo sviluppo dei treni a levitazione magnetica è necessario soffermarsi ad analizzare quella che era la situazione economica e del trasporto aereo e terrestre nel 1960. L'economia globale all'epoca era in una fase di enorme crescita e sia il traffico aereo che terrestre erano estremamente congestionati. In aggiunta alla già complessa situazione del traffico, i costi del settore aereo erano in continua crescita a causa degli aumenti nel prezzo del carburante ed era pensiero comune che il picco nell'evoluzione del trasporto ferroviario, quanto meno quello convenzionale, fosse già stato raggiunto.⁴ Tale considerazione era dovuta alla consapevolezza degli enormi limiti del sistema ferroviario convenzionale ruota-rotaia, dall'inglese WoR (*Wheel-on-rail*). Questa tipologia di trasporto ferroviario, per spingere il veicolo lungo il binario, si serve della forza di aderenza tra la ruota e la rotaia. Il coefficiente di aderenza diminuisce con l'aumento della velocità mentre l'attrito aumenta in relazione all'aumento della velocità. Il limite massimo di velocità del veicolo corrisponde, quindi, alla velocità operativa nel momento in cui la curva del coefficiente di aderenza e quella di attrito raggiungono il punto di intersezione.⁵ L'impossibilità di aumentare ulteriormente la velocità si univa ad altri ostacoli imposti dai treni convenzionali quali ad esempio la scarsa compatibilità ambientale ed efficienza energetica.

Nonostante a metà del 1980 le nuove tecnologie permettessero ai treni convenzionali ad alta velocità di viaggiare fino ai 300 km/h, per soddisfare la crescente richiesta di velocità ancora più elevate,

⁴ HYUNG-SUK Han, DONG-SUNG Kim, *Magnetic Levitation: Maglev Technology and Applications*, "Springer Tracts on Transportation and Traffic", Dordrecht, Springer, p. 1, 2016.

⁵ CHENG Jianfeng 程建峰, SU Xiaofeng 苏晓峰, "Cixuanfuleiche de fazhan ji yingyong" 磁悬浮列车的发展及应用 (Sviluppo e utilizzo dei treni a levitazione magnetica), in *Tiedao cheliang*, 41, 11, p. 14, 2003.

di un sistema ferroviario efficiente dal punto di vista energetico e che permettesse di ridurre l'inquinamento era necessario sviluppare una nuova generazione di trasporto ferroviario capace di operare tra i 300 e i 500 km/h.⁶

Fu proprio in questo scenario che i treni a levitazione magnetica si candidarono come potenziale alternativa al sistema ferroviario tradizionale.

⁶ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., p. 1.

1.1 Definizione di levitazione magnetica e di treno a levitazione magnetica

Prima di procedere con l'analisi di questa particolare tipologia di trasporto ferroviario è importante fornire una definizione precisa di levitazione magnetica e di treno a levitazione magnetica.

La levitazione è stata associata per secoli ad eventi paranormali studiati dalla parapsicologia sotto forma di telecinesi o psicocinesi. Nella realtà, però, esistono molteplici modi per ottenere la levitazione attraverso le leggi convenzionali della fisica.⁷ In quest'ottica, la levitazione o sospensione è un fenomeno per cui un oggetto occupa una posizione fissa in un campo gravitazionale senza nessun tipo di contatto fisico diretto.⁸ Tra i diversi tipi di levitazione ad oggi a disposizione, tra cui ad esempio quella aerodinamica o elettrica, la levitazione magnetica è sicuramente una delle più importanti. “In termini generali, la levitazione magnetica è una tecnologia che consente ad un oggetto di rimanere sospeso nello spazio in una posizione fissa, in assenza di supporto che non sia diverso da un campo magnetico: pertanto le forze magnetiche sono utilizzate per contrastare gli effetti delle accelerazioni (gravitazionali o di qualsiasi altro tipo) agenti sul corpo stesso.”⁹ Proprio per questo motivo l'interazione tra gli oggetti in stato di sospensione non porterà alla generazione di attrito e calore e permetterà di evitare perdite di energia.¹⁰ Sebbene vi sia una differenza minima di significato tra i termini “levitazione” e “sospensione” questi ultimi vengono utilizzati come sinonimi in gran parte della letteratura dedicata ai treni a levitazione magnetica e di conseguenza anche all'interno del presente elaborato.

Il treno a levitazione magnetica, come indicato dal termine stesso, è un veicolo per il trasporto terrestre che viaggia per mezzo della levitazione magnetica. Per indicare i treni a levitazione magnetica, il vocabolo usato per la maggiore è quello di treni “Maglev”, risultato dall'abbreviazione delle parole inglesi *magnetic* e *levitation*. Quest'ultimo comparve per la prima volta all'interno di un brevetto statunitense denominato “*Magnetic levitation guidance system*”, consegnato a David L. Atherton nel 1975.¹¹ In origine Maglev era un termine generico, equivalente alla traduzione italiana di levitazione magnetica, ma in seguito alla sempre maggiore influenza che i treni a levitazione magnetica esercitano nel futuro del settore dei trasporti quest'ultimo è spesso associato in maniera quasi univoca ai treni a levitazione magnetica.¹² Il significato predominante di Maglev è quindi quello di un sistema di trasporto che permette la sostentazione, la guida e la trazione di un veicolo attraverso la levitazione magnetica senza l'utilizzo di ruote, assi e sistemi di trasmissione. Con Maglev non si fa riferimento al solo veicolo ma anche all'intero

⁷ Eric LAITHWAITE, “Electromagnetic levitation”, *Proceedings of the IEEE*, 112, 12, p. 2361, 1965.

⁸ WANG Jia-Su, WANG Su-Yu, *High temperature superconducting magnetic levitation*, Berlino, De Gruyter, pp. xi, 2016.

⁹ LANZARA, D'OVIDIO, LI, DENG, ZHANG, “Disamina dei sistemi...”, *cit.*, p. 558.

¹⁰ WANG, WANG, *High temperature superconducting...*, *cit.*, p. 59.

¹¹ Fausto INTILLA, *Sistemi di trasporto a levitazione magnetica: dal treno Maglev al futuristico progetto hyperloop*, “Didattica, divulgazione e storia della fisica”, Ariccia (RM), Aracne, p. 16, 2015.

¹² WANG, WANG, *High temperature superconducting...*, *cit.*, p. 59.

sistema ferroviario, il quale viene progettato appositamente per la tecnologia a levitazione magnetica. Questo perché la tecnologia Maglev non è compatibile con l'infrastruttura dei treni convenzionali ed è quindi necessario progettare i sistemi Maglev come sistemi di trasporto completi.¹³

¹³ LIU Zhigang, LONG Zhiqiang, LI Xiaolong, *Maglev Trains: Key Underlying Technologies*, “Springer Tracts in Mechanical Engineering”, Berlino, Springer, p. 1, 2015.

1.2 Analisi dei primi sviluppi tecnologici e brevetti

Il principio basilare sul quale l'intero sistema ferroviario Maglev si fonda, è l'attrazione tra poli magnetici opposti e la repulsione tra poli magnetici uguali. Tenendo ciò in considerazione, il primo passo in assoluto verso la levitazione magnetica risale al lontano 1750 quando John Mitchell, astronomo, geologo e fisico inglese, notò che i poli uguali di due magneti si respingevano.¹⁴

In seguito alla scoperta di Mitchell, gli sviluppi nel campo del magnetismo e dell'elettromagnetismo furono numerosi ma i primi ad essere strettamente collegati all'ambito dei treni Maglev risalgono alla prima metà del 1800. Sebbene questo settore del trasporto ferroviario sia tutt'oggi all'avanguardia, e vi siano solamente poche linee commerciali operative in tutto il mondo, è da lungo tempo che scienziati di tutto il mondo lavorano per la realizzazione di questo innovativo mezzo di trasporto.

Prima di proseguire esaminando le figure riconosciute come inventori della tecnologia Maglev e le loro scoperte, è importante avere una visione generale di quella che è stata l'evoluzione della tecnologia in esame analizzandola attraverso tre fasi principali. La prima fase, definita come "fase delle scoperte scientifiche", va dal 1842 al 1934. Proprio nel 1842 il concetto di levitazione magnetica fu proposto per la prima volta dal fisico inglese Samuel Earnshaw. Nel 1922, l'ingegnere tedesco Hermann Kemper elaborò il principio della levitazione elettromagnetica al quale venne assegnato il primo brevetto per la tecnologia Maglev nel 1934. Durante questi anni la tecnologia Maglev era ancora agli albori e gli sviluppi furono piuttosto lenti. La seconda fase, denominata "fase dell'invenzione tecnologica", si colloca tra il 1934 e il 2003. In questa fase il numero di brevetti crebbe rapidamente e si ebbero risultati sorprendenti su più fronti e in diversi Stati. In Germania, a seguito dell'approvazione dei modelli di laboratorio, furono costruite ben otto generazioni di treni Maglev (Transrapid 01-08). In Giappone, le ricerche sull'utilizzo di magneti superconduttori diedero i primi importanti frutti. Nella Repubblica Popolare Cinese, vennero sviluppati i primi prototipi di treni Maglev e fu costruita la prima linea domestica successivamente testata a Changsha. Infine, nel 2003, entrò in funzione a Shanghai la prima linea commerciale Maglev ad alta velocità al mondo. Nella terza fase, o "fase dell'ingegnerizzazione della tecnologia" (2003-2017), vennero aperte le linee Maglev a bassa e media velocità nella prefettura di Aichi in Giappone e presso l'aeroporto Incheon nella Repubblica di Corea. In Germania, invece, si conclusero i test sull'ultimo modello di treno Maglev, il Transrapid 09. Nel 2017, venne inaugurata a Pechino la linea S1 a levitazione magnetica. Il raggiungimento di questo traguardo fu la prova del livello di maturità della tecnologia Maglev che finalmente poteva essere utilizzata in sicurezza come mezzo trasporto pubblico urbano. Da quel

¹⁴ YADAV Monika, MEHTA Nivritti, GUPTA Aman, CHAUDHARY Akshay, MAHINDRU D. V., "Review of Magnetic Levitation (MAGLEV): A Technology to Propel Vehicles with Magnets", *Global Journal of Researches in Engineering Mechanical & Mechanics*, 13, 7, p. 32, 2013.

momento in poi, la tecnologia Maglev entrò quindi nella fase di industrializzazione.¹⁵ Le linee Maglev sopra citate verranno esaminate nel dettaglio nel paragrafo successivo.

Samuel Earnshaw

Il fisico e matematico Samuel Earnshaw nel 1842 elaborò quello che venne poi chiamato il “teorema di Earnshaw”. Il teorema di Earnshaw afferma che: “una collezione di cariche puntiformi non può essere mantenuta in una configurazione di equilibrio stabile dalla sola interazione elettrostatica delle cariche.” Il teorema in esame viene comunemente associato ai campi magnetici nonostante in origine fosse riferito ai campi elettrostatici. L’applicazione del teorema di Earnshaw è limitata alle forze classiche governate dalla legge del “quadrato dell’inverso della distanza”, ovvero la forza elettrica e la forza gravitazionale, e alle forze magnetiche di magneti permanenti e materiali paramagnetici ma non ai materiali diamagnetici.¹⁶

Secondo quanto affermato dal teorema la levitazione magnetica non risulterebbe possibile ma ciò venne smentito negli anni successivi grazie alla scoperta di una serie di eccezioni applicabili al teorema stesso. L’importanza di quest’ultimo nell’ambito della tecnologia Maglev è collegata proprio alle sue eccezioni.

Alfred Zehden, Franklin S. Smith, Robert Goddard e Emile Bachelet

La propulsione nei sistemi Maglev si può ottenere attraverso due tipologie diverse di motori lineari e l’idea di utilizzare un motore lineare per ottenere la propulsione nei treni fu dell’inventore tedesco Alfred Zehden. Quest’ultimo ottenne due brevetti in materia rispettivamente nel 1905 e nel 1907. Sempre nello stesso anno Franklin S. Smith sviluppò un sistema di trasporto elettromagnetico d’avanguardia e il fisico americano Robert Goddard parlò di un veicolo in grado di muoversi attraverso la levitazione magnetica.¹⁷ Emile Bachelet, allievo di Robert Goddard, ideò e creò un carrello a levitazione magnetica che venne brevettato nel 1912 con il nome di “*levitating transmitting apparatus*”. In quello stesso anno un reporter del *New York Times* scrisse:

Reporters were introduced yesterday afternoon to a puzzling, if not wonderful, new method of rapid transit— gravitationless, frictionless, electrical— the Bachelet method of electro- magnetic levitated transportation, which, if half of what its inventor expects of it is realized, will presently send whole carloads of passengers whizzing on invisible waves of electro- magnetism through space anywhere from 300 to 1,000 miles an hour.¹⁸

¹⁵ GOU Jinsong, “Development Status and Global Competition Trends Analysis of Maglev Transportation Technology Based on Patent Data”, *Urban Rail Transit*, 4, 3, p. 119, 2018.

¹⁶ INTILLA, *Sistemi di trasporto...*, cit., p. 39.

¹⁷ INTILLA, *Sistemi di trasporto...*, cit., p. 15.

¹⁸ James D. LIVINGSTON, *Rising force: the magic of magnetic levitation*, Cambridge (MA), Harvard University Press, p. 188, 2011.

Il carrello di Bachelet scorreva lungo un binario d'alluminio grazie alle forze repulsive prodotte da elettromagneti in rame sospesi sopra al binario. Lo scopo del carrello era quello di trasportare su tragitti brevi posta e piccoli pacchetti, ma la quantità di energia elettrica necessaria per la levitazione magnetica era molta, e ciò influì pesantemente sulla fattibilità economica del prototipo, che non risultò commercialmente sfruttabile.¹⁹ Nonostante ciò, la potenziale applicazione di tale invenzione a veicoli più grandi simili a treni fu evidente e spalancò le porte all'utilizzo della tecnologia Maglev.²⁰ Nel suo brevetto Bachelet spiegò nel dettaglio come posizionare i magneti e i loro poli lungo il percorso e sul carrello e come fornirgli energia periodicamente in modo da generare dei campi magnetici e permettere al veicolo di muoversi attraverso questi campi usando le forze di attrazione e repulsione magnetica. Un primo campo magnetico era progettato per far levitare il veicolo che era costruito con materiale metallico non magnetico e fornito di una propria serie di magneti, i quali reagivano con il campo magnetico presente lungo il percorso. Un altro campo magnetico era utilizzato per far muovere il carrello grazie ad una seconda serie di magneti attivati in modo tale da attrarre i magneti a bordo di quest'ultimo. Un terzo campo magnetico era invece utilizzato per controllare la guida del carrello lungo il percorso.²¹

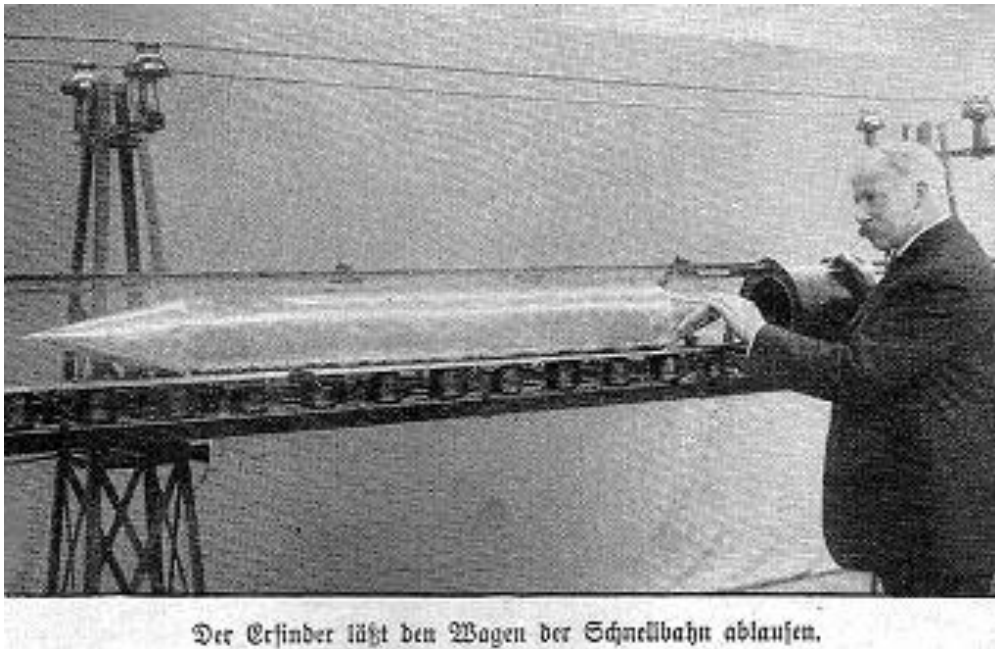


Illustrazione 2: Emile Bachelet e il suo carrello a levitazione magnetica

¹⁹ INTILLA, *Sistemi di trasporto...*, cit., p. 15.

²⁰ WANG, WANG, *High temperature superconducting...*, cit., p. 64.

²¹ *Inventors of maglev technologies*, in "The International Maglev board", <https://www.maglevboard.net/en/facts/17-inventors-of-maglev-technologies>.

Hermann Kemper

Un'altra figura di rilievo nel processo di evoluzione della tecnologia Maglev è quella dell'ingegnere tedesco Hermann Kemper. Nel 1922 egli elaborò il principio della levitazione elettromagnetica e nel 1934 ricevette il brevetto per un "Suspension train without wheels, propelled along iron tracks by a magnetic field". Il principio della levitazione magnetica di Kemper si basa sulla forza di attrazione verso l'alto stabilizzata attraverso un sensore e un circuito di retroazione che controlla la corrente di un elettromagnete. La tecnologia Maglev che utilizza questo tipo di approccio è utilizzata tutt'ora e viene identificata con il termine "sospensione elettromagnetica", spesso sostituito dall'acronimo EMS derivante dalla forma inglese *electromagnetic suspension*.²²

Negli anni successivi Kemper costruì un prototipo in grado di far levitare un peso di 210 chilogrammi consumando solamente 270 Watt di energia. In un suo articolo del 1938, Kemper definì la levitazione magnetica come "fundamental new means of locomotion". Durante il periodo della Germania hitleriana queste sorprendenti scoperte non vennero tenute in considerazione ma negli anni Sessanta le industrie tedesche si ripresero dalla profonda crisi che fece seguito alla Seconda guerra mondiale e le cose iniziarono a cambiare. Nel 1971, infatti, si ebbe la dimostrazione del primo sistema Maglev a grandezza naturale in grado di trasportare dei passeggeri, il "*Magnetmobil*" costruito dalla Messerschmitt-Bölkow-Blohm (MBB). Il "*Magnetmobil*" pesava circa 6 tonnellate e aveva una capienza pari a dieci passeggeri. La velocità operativa massima fu di ben 100 km/h.²³ Le invenzioni di Kemper portarono allo sviluppo del programma tedesco di treni Transrapid a levitazione magnetica che avrà un ruolo cruciale per il settore dei treni Maglev e verrà illustrato nel paragrafo successivo.²⁴

Grazie ai suoi notevoli risultati scientifici, Hermann Kemper, nel 1972, fu insignito dell'Ordine al merito dall'allora Repubblica federale di Germania.²⁵

²² LIVINGSTON, *Rising force...*, cit., p. 194.

²³ LIVINGSTON, *Rising force...*, cit., pp. 194-196.

²⁴ WANG, WANG, *High temperature superconducting...*, cit., p. 65.

²⁵ *Inventors of maglev technologies*, in "The International Maglev board",

<https://www.maglevboard.net/en/facts/17-inventors-of-maglev-technologies>.



Illustrazione 3: Brevetto del 1934 “Suspension train without wheels, propelled along iron tracks by a magnetic field”

James Powell e Gordon Danby

Nel 1961, James Powell, un ricercatore presso il Brookhaven National Laboratory di New York, rimase bloccato nel traffico e fu proprio in quel momento che pensò per la prima volta ad un mezzo di trasporto a levitazione magnetica. Powell iniziò a lavorare, insieme al suo collega Gordon Danby, sulle possibilità di ottenere la levitazione magnetica di un treno raggiungendo elevate velocità grazie all'assenza di attrito tra ruote e binari. Proprio in quell'anno, il tema dei superconduttori ad elevato campo magnetico acquisì grande importanza e vari centri di ricerca erano impegnati nella produzione del primo elettromagnete superconduttore che di lì a poco sarebbe stato in grado di produrre un campo magnetico di intensità molto superiore rispetto a quello generato da magneti permanenti o da elettromagneti convenzionali con nucleo di ferro avvolto in rame.²⁶

Nel 1969 Powell e Danby ricevettero il brevetto denominato “A 300- MPH Magnetically Suspended Train” relativo ad un treno che utilizzava elettromagneti superconduttori ad elevato campo magnetico. Tra i brevetti precedenti citati dai due ricercatori compare, tra gli altri, quello assegnato a Bachelet nel 1912. Anche questo tipo di tecnologia è tutt'ora utilizzata nei treni Maglev con il nome di sospensione elettrodinamica, o *electrodynamic suspension* (EDS), in quanto la levitazione risulta possibile solamente dopo aver raggiunto una determinata velocità e non a veicolo fermo.²⁷

Powell e Danby nel 2000 ricevettero la medaglia “Benjamin Franklin” per l'ingegneria rilasciata dall'istituto Franklin per il loro lavoro sulla sospensione elettrodinamica.²⁸

²⁶ LIVINGSTON, *Rising force...*, cit., p. 200.

²⁷ Ibidem.

²⁸ YADAV, MEHTA, GUPTA, CHAUDHARY, MAHINDRU, “Review of Magnetic Levitation...”, *cit.*, p. 32.

Eric Laithwaite

Dopo Alfred Zehden, la svolta nell'utilizzo dei motori lineari per la propulsione dei treni a levitazione magnetica si ebbe grazie all'ingegnere elettrico britannico Eric Laithwaite. Il suo apporto fu talmente determinante da garantirgli il titolo di "Padre dei treni Maglev".

Alla fine degli anni Quaranta Laithwaite sviluppò il primo prototipo funzionante di motore lineare asincrono e negli anni successivi continuò la ricerca su vari tipi diversi di motore lineare.²⁹ Nel 1962 la rivista "*The Engineer*" riportò i primi tentativi di Laithwaite di dimostrare la sua nuova tecnologia attraverso uno sperimentale carrello ferroviario. Il motore era costituito da un avvolgimento trifase piatto fissato al carrello, che svolgeva la funzione dello statore dei comuni motori ad induzione, e da una piastra metallica continua posizionata su tutta la lunghezza del binario che fungeva da rotore. Nel momento in cui veniva fornita energia all'avvolgimento, la reazione tra la corrente nell'avvolgimento e quella nella piastra metallica generava una forza che permetteva di trasportare il carrello lungo il binario. Il sistema era controllato con la variazione del voltaggio dell'energia fornita e la frenatura era garantita dall'inversione di una delle fasi. La forza centrifuga che limitava la velocità del rotore nei motori ad induzione non si riscontrava nel motore lineare e, al contrario, più elevata era la velocità più i vantaggi del motore lineare in quanto unità di propulsione erano evidenti.³⁰

Gli studi dell'ingegnere britannico continuarono e all'inizio degli anni Settanta identificò una nuova disposizione dei magneti grazie alla quale un unico motore lineare era in grado di produrre sia la levitazione che la spinta in avanti. In questo modo fu sufficiente un solo gruppo di magneti per la costruzione del sistema di propulsione a levitazione magnetica. Nacque così il primo motore lineare ad induzione.³¹ Tale sistema, definito "flusso trasversale", dall'inglese *transverse-flux*, divenne operativo nella prima linea commerciale Maglev al mondo che collegava l'aeroporto di Birmingham con la stazione ferroviaria Internazionale di Birmingham aperta al pubblico nel 1984.³²

Fu così che l'idea di Laithwaite di utilizzare un motore lineare ad induzione, combinata con quella di Powell e Danby di sospendere e stabilizzare un treno senza nessun tipo di contatto fisico tra quest'ultimo e la guidovia, portò allo sviluppo del sistema Maglev con superconduttori di oggi.³³

²⁹ INTILLA, *Sistemi di trasporto...*, cit., p. 17.

³⁰ Jon EXCELL, *November 1962 – the birth of Maglev*, in "The Engineer", 2019, <https://www.theengineer.co.uk/november-1962-laithwaite-maglev/>.

³¹ INTILLA, *Sistemi di trasporto...*, cit., p. 17.

³² EXCELL, *November 1962...*, cit.

³³ *Meet dr. Eric Laithwaite, the "father" of maglev*, in "Northeast Maglev", 2020, <https://northeastmaglev.com/2020/06/19/eric-laithwaite-father-of-maglev/>.

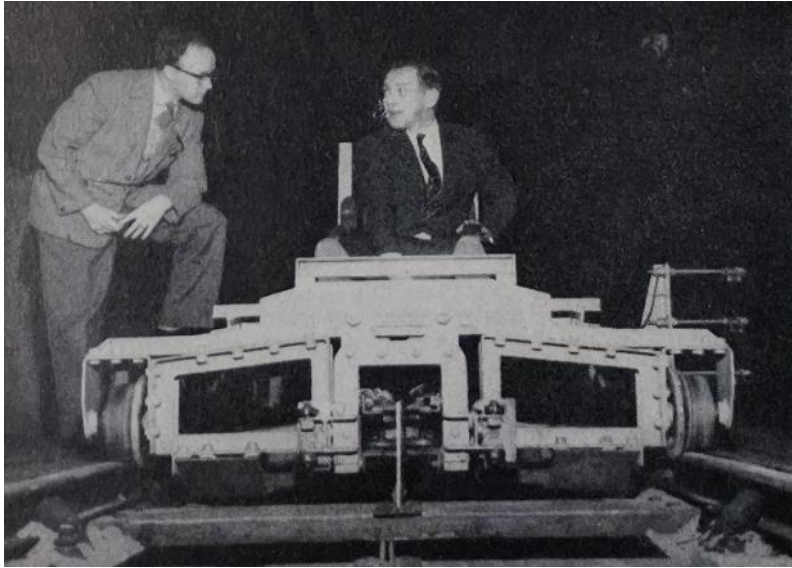


Illustrazione 4: Eric Laithwaite e il suo carrello ferroviario

1.3 I treni Maglev nel mondo

Attraverso l'analisi dei brevetti Maglev registrati nel mondo, è possibile risalire ai cinque Stati leader nella tecnologia in esame, ovvero: Repubblica Popolare Cinese, Giappone, Germania, Stati Uniti d'America e Repubblica di Corea. Il numero di brevetti attribuiti a questi ultimi corrisponde all'87,55% del totale. Ciò rende evidente quanto la tecnologia Maglev sia concentrata e controllata dai cinque Paesi sopra elencati.³⁴

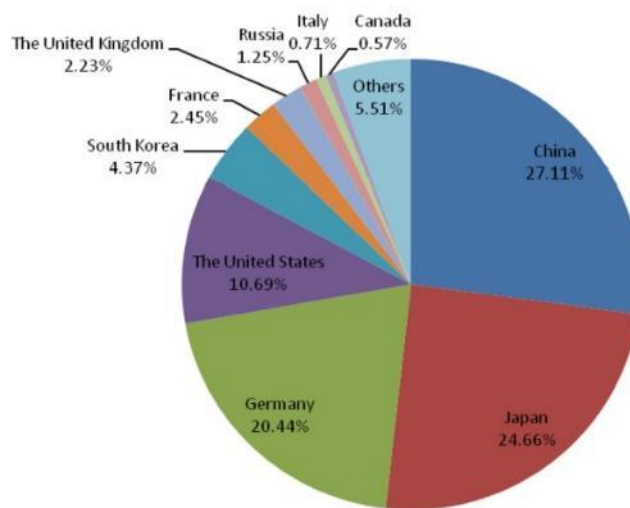


Illustrazione 5: Primi dieci Stati per numero di brevetti Maglev

Tra le venti organizzazioni all'avanguardia nella tecnologia Maglev, anche in questo caso in relazione al numero di brevetti ottenuti, otto sono giapponesi, sei cinesi, quattro tedesche, una statunitense e una della Repubblica di Corea. È rilevante sottolineare che, cinque delle organizzazioni cinesi sono rappresentate da università e istituti di ricerca e solamente una è un'azienda privata. Le restanti organizzazioni, invece, risultano essere tutte imprese.³⁵

³⁴ GOU, "Development Status and Global Competition...", cit., p. 120.

³⁵ GOU, "Development Status and Global Competition...", cit., pp. 123-124.

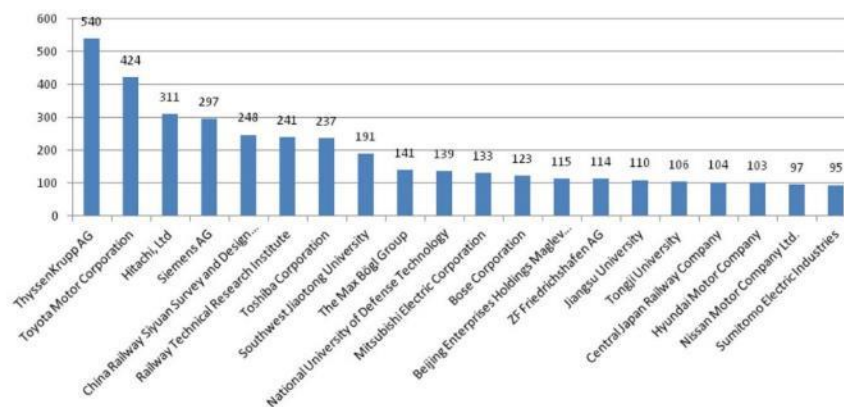


Illustrazione 6: Prime venti organizzazioni per numero di brevetti Maglev

Ad oggi sono presenti sei linee Maglev operative a livello commerciale: una in Giappone, due nella Repubblica di Corea e tre nella Repubblica Popolare Cinese. Di queste sei linee solamente una è una linea Maglev ad alta velocità e si tratta della navetta aeroportuale tra l'aeroporto Internazionale di Shanghai Pudong e il centro della città.³⁶ Proprio per l'importanza di tale linea nel settore del trasporto ferroviario Maglev, a quest'ultima è dedicato il terzo capito e non verrà quindi trattata all'interno del presente paragrafo insieme alle restanti cinque.

Repubblica Popolare Cinese

Nella Repubblica Popolare Cinese gli sviluppi della tecnologia Maglev iniziarono relativamente tardi, circa alla fine degli anni Novanta. Nonostante ciò, il numero di brevetti Maglev di proprietà cinese corrisponde al 27,11% del totale in tutto il mondo. Tra il 1998 e il 2016 si è passati da solo otto brevetti a 663, con una crescita pari all'82,88%.³⁷

Attualmente sul territorio cinese risultano operative tre linee con tecnologia Maglev: la linea ad alta velocità di Shanghai e due linee a bassa e media velocità, una a Changsha e una Pechino. La linea di Shanghai verrà esaminata nel dettaglio nel terzo capitolo.

Come è noto da ormai molti anni, la Repubblica Popolare Cinese sta attraversando un periodo di rapida urbanizzazione e secondo le stime nel 2030 il tasso di urbanizzazione raggiungerà il 70%. Nella maggior parte delle metropoli i problemi relativi al traffico e all'inquinamento hanno raggiunto livelli preoccupanti e sono in continua crescita. Proprio per questo, lo sviluppo del trasporto ferroviario urbano è stato e continua ad essere prioritario. I sistemi Maglev riducono l'inquinamento, hanno un raggio di curvatura minore ed una pendenza maggiore, sono adatti a costruzioni sopraelevate e hanno un costo inferiore del 50-60% rispetto al sistema metropolitano. Sono queste le principali motivazioni per cui il governo cinese pianifica la costruzione di linee Maglev urbane fin dal 2010. Sia la linea di Changsha che

³⁶ Thomas Clark SHEDD, Geoffrey Freeman ALLEN, *Maglev*, in "Britannica", <https://www.britannica.com/technology/railroad/South-Korea-Taiwan-and-China#ref64436>.

³⁷ GOU, "Development Status and Global Competition...", cit., p. 120.

quella di Pechino, infatti, appartengono alla categoria di Maglev urbani caratterizzata da lunghezze medio-corte e velocità medio-basse.³⁸

I lavori per la costruzione del Changsha Maglev Express cominciarono nel 2014. La linea entrò in funzione nel 2016 con una lunghezza di 15,88 km. La velocità massima è di 100 km/h e la capacità dei veicoli di 363 passeggeri. Il percorso prevede solamente tre fermate: la stazione ferroviaria ad alta velocità di Changsha, la stazione Langli ed infine la stazione presso l'aeroporto Huanghua. Grazie al Maglev Express il tempo di percorrenza tra i due estremi della linea è passato da trenta a dieci minuti. Questa linea ha assunto un valore determinante per la Repubblica Popolare Cinese in quanto unica detentrici dei diritti di proprietà intellettuale dell'intero sistema di trasporto in esame, progettato e costruito dalla CRRC Zhuzhou Locomotive Co., Ltd. e dalla National University of Defense Technology.³⁹ Per quanto concerne le caratteristiche tecnologiche, il Changsha Maglev Express utilizza la levitazione elettromagnetica e la propulsione è ottenuta per mezzo di un motore lineare a statore corto.⁴⁰ L'ultimo successo relativo a questa linea risale a pochi mesi fa con l'entrata in servizio di un nuovo treno Maglev capace di raggiungere i 140 km/h e che permette di ridurre i tempi di percorrenza di tre minuti.⁴¹



Illustrazione 7: Changsha Maglev Express

³⁸ LIN Guobin, SHENG Xiongwei, "Application and Further Development of Maglev Transportation in China", *Transportation Systems and Technology*, 4, 3, p. 39, 2018.

³⁹ FU Yu, *Trial Operation of First China-made Medium-low Speed Maglev Train in Changsha*, in "CRRC Zhuzhou Locomotive Co., Ltd.", <https://www.crrcgc.cc/zjcn/g1733/s4283/t274791.aspx>.

⁴⁰ *Maglev in Changsha*, in "Crrc Zelic Europe", <https://crrczelic-europe.com/medium-low-speed-maglev-changsha/>.

⁴¹ FENG Zhiwei, *New maglev train improves service in Hunan*, in "Chinadaily.com.cn", <https://www.chinadaily.com.cn/a/202107/02/WS60deca0da310efa1bd65f702.html>.

La linea Maglev di Pechino fa parte dell'ampia rete metropolitana della città ed è denominata "Linea S1". Il progetto ebbe inizio nel 2013 ed entrò in funzione per il pubblico alla fine del 2017. Il percorso, della lunghezza di 10 km, è composto da 8 fermate che vanno dal distretto di Mentougou a quello di Shijingshan.⁴² I tempi di percorrenza sono pari a sedici minuti circa e l'azienda responsabile della costruzione è la CRRC Tangshan Company Limited. Le due caratteristiche principali di questa linea sono la capacità di affrontare curve ad angolo acuto e pendenze relativamente ripide. Anche la linea S1 è stata progettata con una velocità massima di 100 km/h mentre la capacità dei veicoli è di 1032 passeggeri. La linea riscontrò subito molto successo e nei primi tre giorni dall'apertura il numero giornaliero di passeggeri raggiunse i 12.000. Come nel caso della linea di Changsha, la tecnologia utilizzata è quella della levitazione elettromagnetica.⁴³



Illustrazione 8: Linea Maglev S1 di Pechino

Attualmente la Repubblica Popolare Cinese è impegnata nella costruzione di altre due linee Maglev a media e bassa velocità rispettivamente a Qingyuan e presso la città antica di Fenghuang. Queste due linee sono state pensate come linee turistiche con l'obiettivo di collegare in tempi brevi e nella maniera più agevole possibile le città ai siti di interesse turistico. La lunghezza totale del Maglev di Qingyuan sarà di 38,5 km percorsi ad una velocità massima di 120 km/h. Per la linea di Fenghuang, invece, sono previsti 9 km di lunghezza in una prima fase e una velocità operativa di 100 km/h.⁴⁴

⁴² LIN, SHENG, "Application and Further Development...", *cit.*, p. 39.

⁴³ LI Xia, "Beijing's first Maglev train", *Beijing (English)*, 34, pp. 10-15, 2018.

⁴⁴ *Maglev lines under construction in 2020*, in "Maglev.net", <https://www.maglev.net/maglev-lines-under-construction>.

Giappone

Il Giappone è secondo al mondo per numero di brevetti Maglev con una percentuale pari al 24,66%.⁴⁵ Le ricerche giapponesi sulla tecnologia Maglev iniziarono agli inizi degli anni Sessanta e avevano come obiettivo primario quello di collegare le città di Tokyo e Osaka in meno di un'ora attraverso un mezzo di trasporto in grado di raggiungere velocità elevatissime. Nel 1962 la Japanese National Railways cominciò a lavorare sulla propulsione per mezzo di motori lineari e sulla levitazione magnetica, mentre nel 1969 esordì lo studio su un sistema a superconduzione chiamato SCMaglev. Proprio nell'ambito di questo progetto nel 1972 venne testato il primo prototipo, il LSM200, e poco dopo anche il secondo, ovvero il ML100. La velocità operativa di quest'ultimo era di 60 km/h. Con la costruzione del modello MLU001, nel 1987, i giapponesi ottennero un risultato sorprendente in termini di tecnologia e di velocità raggiungendo i 400 km/h ed entrando di fatto nell'era moderna dei treni Maglev.⁴⁶ Un'ulteriore svolta avvenne nel 1996, quando fu completato il circuito di prova di Yamanashi e fu costruito il primo treno MLX01. Fu proprio grazie al MLX01 che nel 1997 il Giappone conquistò il record mondiale di velocità ferroviaria: 531 km/h con equipaggio e 550 km/h senza equipaggio.⁴⁷ Nel 2012, fu presentato un nuovo treno Maglev, lo *Shinkansen* serie L0, che nel 2015 superò il record precedente arrivando a 603 km/h. Il Giappone ha in programma di utilizzare questo veicolo, ad una velocità operativa di 500 km/h, lungo la tratta Tokyo-Osaka che verrà percorsa in soli 67 minuti. Il primo tratto di questa linea, da Tokyo a Nagoya verrà inaugurato nel 2027 mentre il collegamento con Osaka è in programma per il 2037.⁴⁸

Una parte della futura linea Tokyo-Osaka è attualmente un circuito di prova Maglev, lungo 42,8 km, collocato presso la prefettura di Yamanashi. La costruzione del circuito è stata approvata dal ministero dei Trasporti nel 1990. Al progetto hanno collaborato la Central Japan Railway Company (JR Central), il Railway Technical Research Institute (RTRI) e la Japan Railway Construction Public Corporation. Il primo veicolo testato sulla linea in questione, il MLX01, veniva sospeso attraverso la levitazione elettrodinamica ovvero con la produzione di forze repulsive tra bobine fisse in cortocircuito ed elettromagneti superconduttori in movimento. Per la propulsione, su entrambi i lati del binario era installato un avvolgimento verticale trifase alimentato con corrente trifase che formava, insieme agli elettromagneti sul veicolo, un motore lineare sincrono con nucleo ad aria. Dai test su quel primo veicolo ad oggi, la linea di Yamanashi è stata il simbolo dell'avanguardia giapponese nell'ambito della tecnologia Maglev e l'ultimo traguardo fu raggiunto nel 2020 con l'inizio dei test sulla versione aggiornata dello *Shinkansen* serie L0.⁴⁹

⁴⁵ GOU, "Development Status and Global Competition...", cit., p. 120.

⁴⁶ *Japanese maglev evolution 1972 – 2020*, in "Maglev.net", <https://www.maglev.net/japanese-maglev-evolution>.

⁴⁷ Jacek F. GIERAS, Zbigniew J. PIECH, Bronislaw Z. TOMCZUK, *Linear Synchronous Motors: Transportation and Automation Systems*, "The electric power engineering Series", New York, CRC Press, p. 353, 2012.

⁴⁸ *Japanese maglev evolution 1972 – 2020*, in "Maglev.net", <https://www.maglev.net/japanese-maglev-evolution>.

⁴⁹ *About the Yamanashi Maglev line*, in "SCMaglev", <https://scmaglev.jr-central-global.com/maglevline/about/>.

L'unica linea Maglev operativa su territorio giapponese è la linea Linimo costruita in occasione dell'Expo 2005 presso la prefettura di Aichi. Il successo riscontrato fu tale che la linea venne definita “*moving pavilion*” e durante l'Expo trasportò circa 20 milioni di persone.⁵⁰ La tratta si estende dalla stazione di Fujigaoka a quella di Yakusa ed è gestita dalla Aichi Rapid Transit Company. La velocità operativa è di 100 km/h e il costo approssimativo dell'intera linea fu di 575 milioni di dollari.⁵¹



Illustrazione 9: Linimo Maglev Line

Germania

La nascita e lo sviluppo della ricerca relativa alla tecnologia Maglev in Germania sono strettamente legati all'invenzione della sospensione elettromagnetica di Kemper. Dopo la Seconda guerra mondiale, Kemper tornò ai suoi studi sulla levitazione magnetica e nel 1965 iniziò le collaborazioni con la fabbrica di locomotive Krauss-Maffei e con l'azienda aeronautica Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH (MBB). Proprio grazie a queste collaborazioni fu possibile raggiungere molti dei traguardi tedeschi in materia.⁵²

Nel 1971 la MBB presentò il primo treno della serie Transrapid, il Transrapid 01, spinto da un motore lineare asincrono a statore corto e con velocità massima di 70 km/h. Lo stesso anno la Krauss-Maffei costruì il Transrapid 02, in grado di raggiungere la velocità di 164 km/h. Fu così che ebbe inizio il programma tedesco sui treni Maglev della serie Transrapid basato sulla levitazione elettromagnetica di Kemper. Il Transrapid 03 differiva dai primi due in quanto veicolo a cuscinetto d'aria e fu realizzato per

⁵⁰ *What is the LINIMO?*, in “LINIMO”, <http://www.linimo.jp/language/en/>.

⁵¹ Chris GLENN, *LINIMO: the Maglev train*, in “Japan Travel”, 2011, <https://en.japantravel.com/aichi/linimo-the-mag-lev-train/385>.

⁵² INTILLA, *Sistemi di trasporto...*, cit., p. 18.

metterlo a confronto con la tecnologia Maglev. I risultati dimostrarono che utilizzando la tecnologia Maglev il consumo energetico era minore. Nel 1972, entrarono in campo altre tre aziende tedesche, la AEG-Telefunken, la BBC e la Siemens, che si concentrarono però sull'analisi dei sistemi a levitazione elettrodinamica. La tecnologia a levitazione elettrodinamica venne sospesa nel 1977 quando il Ministro federale della ricerca e della tecnologia decise di limitare l'ambito di ricerca ai sistemi di levitazione elettromagnetica con propulsione a motore lineare a statore lungo. Tornando ai treni Transrapid, nel 1973 venne commissionato il Transrapid 04. Sei anni dopo si tenne ad Amburgo l'Esposizione Internazionale dei Trasporti e per l'occasione furono costruiti il Transrapid 05 e un circuito sul quale viaggiarono circa 50.000 passeggeri ad una velocità di 75 km/h. Quando, nel 1980, finì la costruzione del Transrapid 06, capace di raggiungere i 200 km/h, non era ancora a disposizione un centro di prova su larga scala su cui poterlo testare.⁵³ Fu per questo che nello stesso anno iniziarono i lavori per un centro di prova Maglev ad Emsland. Nel 1987 il centro, con un circuito di prova di 31,8 km, fu pronto.⁵⁴ L'anno successivo non solo il Transrapid 06 arrivò a toccare i 412,6 km/h proprio ad Emsland ma sempre nello stesso anno e nello stesso centro il Transrapid 07 raggiunse i 500 km/h.⁵⁵ Nel 2006 ebbe luogo presso il centro di Emsland un grave incidente, un treno Maglev si scontrò con una motrice di servizio ferma lungo la rotaia e 23 persone persero la vita. A seguito di questo episodio il centro fu chiuso e ne fu autorizzata la demolizione nel 2012.⁵⁶ La demolizione effettiva cominciò solo cinque anni fa ma recentemente il colosso cinese CRRC ha iniziato le trattative con l'ente responsabile del centro, l'Industrial Plant Operating Company (IABG), con l'obiettivo di farlo riaprire ed utilizzarlo per testare i suoi nuovi treni Maglev.⁵⁷

Un altro anno importante per la storia Maglev tedesca fu il 1989, anno dell'apertura ufficiale dell'unica linea di trasporto pubblico a levitazione magnetica: la Magnet-Bahn (M-Bahn). La tratta percorsa era lunga soltanto 1,6 km e prevedeva tre fermate. La M-Bahn era basata su un sistema ibrido in cui l'85% del peso veniva sospeso mentre il rimanente 15% veniva esercitato su ruote per ottenere la stabilità e l'equilibrio necessari. La velocità massima era di 80 km/h. Il servizio divenne regolare nel 1991 ma solo due mesi dopo la linea fu smantellata a causa delle nuove esigenze di viabilità in seguito alla caduta del Muro di Berlino.⁵⁸

Nel 1999 fu prodotto il Transrapid 08. Il Transrapid 08 non fu caratterizzato dall'incremento di velocità operativa rispetto al suo predecessore ma segnò una svolta non soltanto per la Germania ma anche per la Repubblica Popolare Cinese. Fu proprio sulla base del Transrapid 08 che venne sviluppato

⁵³ INTILLA, *Sistemi di trasporto...*, cit., pp. 18-23.

⁵⁴ *Emsland Maglev-Test Facility*, in "Atlas Obscura", <https://www.atlasobscura.com/places/emsland-maglev-test-facility>.

⁵⁵ INTILLA, *Sistemi di trasporto...*, cit., p. 23.

⁵⁶ *Emsland Maglev-Test Facility*, in "Atlas Obscura", <https://www.atlasobscura.com/places/emsland-maglev-test-facility>.

⁵⁷ Keith FENDER, *German maglev test track set for revival?*, in "International Railway Journal", 2021, <https://www.railjournal.com/passenger/high-speed/german-maglev-test-track-set-for-revival/>.

⁵⁸ INTILLA, *Sistemi di trasporto...*, cit., pp. 33-34.

il Transrapid SMT, anche conosciuto come Shanghai Transrapid, ovvero il veicolo scelto per operare sulla prima ed unica linea commerciale ad alta velocità al mondo di Shanghai.⁵⁹

Nel 2006 fu presentato l'ultimo treno della serie Transrapid: il Transrapid 09.⁶⁰ A causa dell'incidente nel centro di Emsland, quest'ultimo modello non ebbe successo e fu costruito un unico veicolo venduto alla famiglia Kemper per €200,000.⁶¹



Illustrazione 10: Treni Maglev tedeschi, serie Transrapid

Stati Uniti d'America

Gli Stati Uniti sono al quarto posto al mondo per numero di brevetti Maglev e hanno contribuito in maniera rilevante agli sviluppi di questa tecnologia a partire dagli anni Sessanta con le scoperte di Powell e Danby. Nonostante questo, però, non sono mai state costruite linee Maglev commerciali su suolo statunitense.

Nel 1971 la Federal Rail Administration (FRA) incaricò la Ford Motor Company e lo Stanford Research Institute di sviluppare e testare sistemi a levitazione elettromagnetica ed elettrodinamica. Nel 1975 i fondi per la ricerca sull'alta velocità Maglev vennero sospesi e da quel momento fino al 1990, con la costituzione della National Maglev Initiative (NMI), lo studio sulla tecnologia Maglev subì un brusco arresto.⁶²

Mentre la FRA si focalizzò sulla tecnologia Maglev ad alta velocità, un'altra divisione del Dipartimento dei Trasporti degli Stati Uniti, la Federal Transit Administration (FTA), annunciò il proprio

⁵⁹ INTILLA, *Sistemi di trasporto...*, cit., p. 24.

⁶⁰ Ibidem.

⁶¹ *Transrapid design history*, in "Maglev.net", 2020, <https://www.maglev.net/transrapid-design-history>.

⁶² National Maglev Initiative (NMI) Staff, "Final Report on the National Maglev Initiative (NMI)", pp. 1-6, 1993.

programma relativo ai sistemi Maglev in ambito urbano. Nel 2000 la FTA diede inizio al programma per la costruzione di una linea di prova Maglev, della lunghezza di 120 m, presso la General Atomics di San Diego in California. La linea fu completata nel 2004 e la General Atomics decise di concentrare i propri studi su un sistema Maglev chiamato Inductrack.⁶³ Il sistema Inductrack fu inventato dal fisico Richard Post presso il Lawrence Livermore Laboratory ed è una tecnologia di tipo elettrodinamico che prevede la sostituzione degli elettromagneti superconduttori con magneti permanenti in neodimio disposti in un dispositivo di Halbach.⁶⁴ I dettagli tecnici del sistema Inductrack verranno forniti nel capitolo successivo. Dopo vari anni di ricerche, la FTA dichiarò, all'interno del proprio report del 2009, che i sistemi Maglev urbani avevano raggiunto un livello di maturità tecnologica sufficiente ma che i fondi iniziali per la costruzione delle infrastrutture erano troppo elevati.⁶⁵

Nel corso degli anni negli Stati Uniti vennero proposte diverse linee Maglev, sia ad alta velocità che urbane ma nessuna di queste venne mai approvata per molteplici ragioni, prima fra tutte quella economica. Al momento sono in corso le procedure di approvazione per la costruzione di una linea Maglev, chiamata “*Northeast Maglev*”, che dovrebbe collegare Washington DC a Baltimora. Nel 2003 la FRA preparò uno studio di impatto ambientale, in collaborazione con la Maryland Transit Administration (MTA), relativo alla proposta di costruire una linea Maglev tra Baltimora, il BWI Marshall Airport e la Union Station di Washington DC. La tecnologia utilizzata sarebbe stata quella tedesca della serie Transrapid. Il progetto venne però sospeso fino al 2015 quando il Dipartimento dei Trasporti del Maryland fece richiesta, a nome della Baltimore-Washington Rapid Rail (BWRR), di procedere con l'analisi preliminare e degli impatti ambientali della linea basandosi non più sulla tecnologia Transrapid ma su quella a superconduzione. Questo progetto è stato portato avanti fino ad oggi e sono in corso le valutazioni della dichiarazione di impatto ambientale stilata dalla FRA e dal Maryland Department of Transportation-Maryland Transit Administration (MDOT-MTA).⁶⁶

Repubblica di Corea

Nel 1989 il Korea Institute of Machinery and Materials (KIMM) diede inizio al progetto di sviluppo di un sistema Maglev a basse e medie velocità, grazie anche ai fondi ricevuti dal ministero della Scienza e della Tecnologia. Il focus del programma era lo sviluppo di un veicolo Maglev a levitazione elettromagnetica con motore lineare ad induzione. Nel 1997 venne costruita una linea di prova presso il KIMM, successivamente estesa nel 2002. Oltre al progetto KIMM, l'azienda Hyundai Precision Co. costruì un veicolo Maglev di piccole dimensioni in occasione dell'EXPO del 1993 a Daejeon. Nel 2003

⁶³ GUROL Husam, BALDI Robert, JETER Phillip, KIM In-Kun, BEVER Daryl, “General Atomics Low Speed Maglev Technology Development Program (Supplemental #3)”, 2005, p. 1-1.

⁶⁴ LIVINGSTON, *Rising force...*, cit., p. 212.

⁶⁵ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., pp. 210-213.

⁶⁶ *Our vision: bring the fastest train in the world to the US*, in “Northeast Maglev”, <https://northeastmaglev.com/project/#1527093463844-a91d0853-f97d>.

l'azienda Hyundai-Rotem sviluppò un nuovo veicolo Maglev, il UTM-02, il quale forniva il servizio di trasporto tra l'EXPO Park e il museo nazionale delle scienze di Daejon.⁶⁷ Tale linea divenne la prima linea Maglev commerciale della Repubblica di Corea nel 2008. La tratta è lunga soltanto 1 km e il veicolo ha una capacità di 40 passeggeri.⁶⁸



Illustrazione 11: Linea Maglev di Daejon

Nel 2006 il Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs (MLTM) inaugurò il Center for Urban Maglev Program (CUMP) che sarebbe stato a capo del relativo progetto di Maglev in ambito urbano. Il budget totale previsto era di 450 milioni di dollari da suddividere sui tre progetti principali: ingegneria dei sistemi, sviluppo dei veicoli e costruzione delle linee. Questi ultimi erano gestiti rispettivamente dal KIMM, dalla Hyundai-Rotem e dalla Korea Rail Network Authority.⁶⁹ Nel 2007 il consorzio formato dalla Incheon International Airport Corporation e dalla città di Incheon venne selezionato per la costruzione di una linea dimostrativa Maglev.⁷⁰

⁶⁷ PARK Doh Young, SHIN Byung Chun, HAN Hyungsuk, "Korea's Urban Maglev Program", *Proceedings of the IEEE*, 97, 11, pp. 1886-1887, 2009.

⁶⁸ *First run of the Maglev*, in "Hankyoreh", 2008, http://english.hani.co.kr/arti/english_edition/e_entertainment/283379.html.

⁶⁹ PARK, SHIN, HAN, "Korea's Urban Maglev...", *cit.*, p. 1887.

⁷⁰ PARK, SHIN, HAN, "Korea's Urban Maglev...", *cit.*, p. 1890.

La seconda linea Maglev della Repubblica di Corea, entrata in servizio nel 2016, venne costruita proprio sulla base della linea dimostrativa Maglev assegnata nel 2007. La linea in questione, lunga 6,1 km, è una linea a bassa velocità e si trova presso l'aeroporto di Incheon. Quest'ultima collega l'Incheon International Airport Transportation Centre con la stazione di Yongyu nell'isola di Yeongjong e prevede in tutto sei fermate. Per quanto riguarda le caratteristiche tecnologiche, la linea si basa su un sistema passivo, che prevede l'installazione sul veicolo degli elettromagneti e delle unità primarie del motore lineare ad induzione mentre le rotaie di reazione vengono posizionate lungo il binario. La velocità massima è di 110 km/h.⁷¹ Per il futuro è previsto l'ampliamento della linea in due fasi con l'aggiunta rispettivamente di 9,7 km e 37,4 km.⁷²



Illustrazione 12: Linea Maglev presso l'aeroporto di Incheon

Regno Unito

Come si può vedere nell'illustrazione 5, il Regno Unito rientra nei primi dieci Paesi al mondo per numero di brevetti Maglev sebbene ad oggi non vi sia nessuna linea operativa sul territorio nazionale. In passato, però, il Regno Unito ha svolto una funzione primaria nello sviluppo della tecnologia Maglev sia grazie a personalità del calibro di Samuel Earnshaw ed Eric Laithwaite sia attraverso la costruzione della prima linea commerciale Maglev al mondo, aperta al pubblico nel 1984, che collegava l'aeroporto di Birmingham con la stazione ferroviaria Internazionale della città.

Il progetto della linea di Birmingham ebbe inizio nel 1974 quando il Dipartimento per l'ambiente affidò al British Rail Research di Derby lo studio di un sistema chiamato "Mini-Tram". L'obiettivo era quello di realizzare un veicolo dalle dimensioni ridotte per il trasporto pubblico all'interno e attorno ai centri abitati. Come prima ipotesi venne valutato un veicolo convenzionale con ruote. Quest'ultimo venne subito scartato per lasciare spazio alla costruzione di un veicolo a levitazione magnetica che sarebbe stato più conveniente dal punto di vista economico, avrebbe avuto una maggiore affidabilità e avrebbe

⁷¹ PARK Doh-Young, GIERAS Jacek F., "Incheon Airport Maglev Line", *Przegląd Elektrotechniczny*, 95, pp. 1-2, 2019.

⁷² *Incheon airport maglev*, in "Maglev.net", 2020, <https://www.maglev.net/incheon-airport-maglev>.

operato senza problemi con qualsiasi tipo di condizione atmosferica. Il consiglio della contea di West Midlands fu molto attratto da questa soluzione e decise di renderla operativa collegando il nuovo terminal dell'aeroporto con la stazione e il centro espositivo nazionale.⁷³

La linea a levitazione magnetica di Birmingham, della lunghezza di 620 metri, era una linea a basse velocità con un sistema di tipo attrattivo. La scelta dei magneti da utilizzare ricadde su elettromagneti a corrente continua sospesi su rotaie in acciaio. I magneti furono realizzati in modo tale da consumare circa 2 kW per ogni tonnellata di peso da sollevare. “Le caratteristiche dei magneti, in termini di carico su traferro, sono tali per cui all'aumentare del traferro il carico che può essere sollevato diminuisce”.⁷⁴ Per superare tale limite, veniva aumentata la corrente fornita agli elettromagneti così da aumentare anche la capacità di carico. Da ciò derivava che, controllando la corrente era possibile controllare i magneti e raggiungere una situazione di stabilità.⁷⁵ Il sistema di controllo della levitazione era gestito da un computer, a bordo del veicolo, il quale monitorava costantemente il traferro e l'accelerazione verticale e modificava la tensione elettrica di conseguenza.⁷⁶

Per quanto riguarda invece la propulsione, fu utilizzato il motore ad induzione lineare ideato da Laithwaite. La rotaia di reazione del motore lineare si trovava al centro del binario ed era costituita da una sezione di forma a T in acciaio con un estruso di alluminio agganciato alla flangia superiore.⁷⁷

La linea in questione operò fino al 1995, con velocità che si aggiravano intorno ai 42 km/h, anno in cui a causa dell'obsolescenza del sistema elettronico venne chiusa. Dopo la chiusura, l'impianto rimase nel dimenticatoio senza essere smantellato e solamente nel 2003 la struttura venne riqualificata e riutilizzata da due nuovi sistemi di trasporto: l'AirRail Link e il Cable Liner. Due delle vetture originali si trovano in mostra rispettivamente al Railworld di Peterborough e al Museo Nazionale Ferroviario di York.⁷⁸ Una terza, invece, fu venduta all'asta per soli 100 pound nel 2011.⁷⁹

⁷³ Maurice G. POLLARD, “Maglev-a British first at Birmingham”, *Physics in Technology*, 15, pp. 61-62, 1984.

⁷⁴ POLLARD, “Maglev-a British...”, *cit.*, pp. 62-63.

⁷⁵ Ibidem.

⁷⁶ B. H. NORTH, “Birmingham Airport Maglev—the development and design of the support structure and guideway”, in Institution of civil engineers (a cura di), *Track Technology*, Londra, Thomas Telford, pp. 69-75, 1985.

⁷⁷ POLLARD, “Maglev-a British...”, *cit.*, p. 64.

⁷⁸ INTILLA, *Sistemi di trasporto...*, *cit.*, pp. 25-26.

⁷⁹ *Birmingham Airport's Maglev carriage resold for £100*, in “BBC News”, 2011, <https://www.bbc.com/news/uk-england-birmingham-13872105>.



Illustrazione 13: Linea Maglev di Birmingham

CAPITOLO 2

La tecnologia alla base del funzionamento dei treni a levitazione magnetica

La tecnologia dei sistemi Maglev è estremamente complessa ed è il risultato della cooperazione tra diverse discipline quali, tra le altre, la fisica, l'elettronica, la meccanica e la matematica. Nonostante ciò, è possibile risalire al principio che ne sta alla base partendo dall'attrazione tra poli magnetici opposti e dalla repulsione tra poli magnetici uguali. Questo principio proviene da una branca della fisica che si occupa dei fenomeni del magnetismo e dell'elettromagnetismo ed è il punto di partenza da cui vennero sviluppate tutte le teorie che ad oggi descrivono non solo questi due fenomeni ma anche il funzionamento dei treni Maglev. Per questa ragione, nel corso del primo paragrafo verranno in primo luogo introdotte le caratteristiche più rilevanti del magnetismo e dell'elettromagnetismo per poi proseguire con l'esposizione delle tre tipologie di magneti utilizzati per la levitazione magnetica dei treni: gli elettromagneti, i magneti permanenti e i magneti superconduttori.

Una volta poste le basi della tecnologia in questione, nel presente capitolo verranno trattati i quattro elementi chiave dei sistemi Maglev: la levitazione, la propulsione, la guida laterale e infine il rifornimento di energia elettrica. La levitazione permette di sollevare il veicolo verso l'alto, mentre la propulsione fa sì che quest'ultimo venga spinto in avanti lungo la guidovia. Con guida laterale, invece, si intende la capacità di bilanciare il possibile spostamento laterale del veicolo facendo in modo che quest'ultimo rimanga sempre al centro della guidovia. Infine, l'ultimo elemento chiave si occupa del trasferimento di energia al sistema stesso.⁸⁰

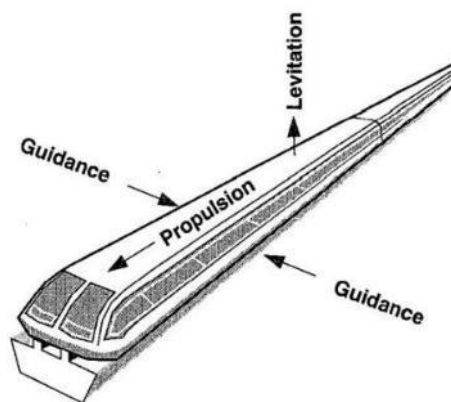


Illustrazione 14: Levitazione, propulsione e guida laterale di un treno Maglev

⁸⁰ Nisha PRASAD, Shailendra JAIN, Sushma GUPTA, "Electrical Components of Maglev Systems: Emerging Trends", *Urban Rail Transit*, 5, 2, p. 69, 2019.

Essendo caratterizzati da una tecnologia avanzata e complessa, i sistemi ferroviari Maglev possono essere classificati in diversi modi a seconda del criterio scelto per la classificazione. Tenendo in considerazione la lunghezza della linea è possibile suddividere le linee Maglev in arterie principali, linee interurbane e linee urbane. Le arterie principali hanno una lunghezza che supera i 500 km e sono utilizzate per collegare grossi centri urbani a lunga distanza. Le linee interurbane vanno dai 50 ai 500 km di lunghezza e permettono di congiungere centri urbani a distanza media e corta. Le linee urbane, per definizione, fanno parte del sistema di trasporto pubblico urbano e generalmente non superano i 50 km di lunghezza fornendo un servizio a velocità medio-basse. Il secondo criterio sulla base del quale vengono raggruppati i sistemi Maglev è proprio la velocità operativa. Le tre categorie che si ottengono sono: sistemi ad alta, media e bassa velocità. I sistemi a bassa velocità non superano i 120 km/h, quelli a velocità media vanno dai 120 km/h ai 350 km/h mentre tutti i sistemi che superano i 350 km/h vengono definiti ad alta velocità. Spesso all'interno della letteratura relativa ai treni a levitazione magnetica, le prime due categorie vengono incorporate in una sola con il nome di sistemi Maglev a basse e medie velocità. La modalità utilizzata maggiormente per la classificazione dei sistemi in questione, invece, si basa sulla tecnologia e sulle relative forze utilizzate per ottenere la levitazione. In questi termini esistono due diversi sistemi Maglev, quelli a sospensione elettromagnetica (EMS⁸¹) e quelli a sospensione elettrodinamica (EDS⁸²). I primi sfruttano le forze attrattive che si generano tra un elettromagnete e un materiale ferromagnetico mentre i secondi derivano dalle forze repulsive esistenti tra un dispositivo magnetico in movimento e un conduttore fisso. Entrambe le tecnologie verranno descritte nel dettaglio nei paragrafi successivi. Un altro metodo di classificazione è relativo al motore responsabile della propulsione. Tutti i sistemi Maglev sono provvisti di un motore definito lineare. I motori lineari possono essere di vari tipi ma sono soltanto due quelli utilizzati nei treni a levitazione magnetica, ovvero i motori lineari ad induzione (LIM⁸³) e i motori lineari sincroni (LSM⁸⁴). Infine, in relazione alla funzione di guida laterale i treni Maglev possono essere classificati in treni a guida laterale con forze attrattive e treni a guida laterale con forze repulsive.⁸⁵

⁸¹ EMS è l'abbreviazione del termine inglese *electromagnetic suspension*.

⁸² EDS è l'abbreviazione del termine inglese *electrodynamic suspension*.

⁸³ LIM è l'abbreviazione del termine inglese *linear induction motor*.

⁸⁴ LSM è l'abbreviazione del termine inglese *linear synchronous motor*.

⁸⁵ WANG Lin 王麟, *Tielu qing qi de zhaoyang* 铁路擎起的朝阳, Taiyuan, Shanxi jiaoyu chubanshe, pp. 68-69, 2015.

2.1 Magnetismo ed elettromagnetismo

Fin dal VII secolo a.C. è nota la proprietà di alcuni minerali ferrosi, in particolare della magnetite, di attirare la limatura di ferro. Tale proprietà venne chiamata magnetismo mentre gli oggetti da essa caratterizzati presero il nome di magneti. La proprietà di attrazione non si presenta in maniera uniforme nel materiale ma si localizza alle due estremità definite poli del magnete. A partire dal sedicesimo secolo, vennero studiate le caratteristiche del magnetismo e le interazioni tra poli magnetici. I principali risultati di tali analisi furono i seguenti:

- I. Avvicinando un magnete libero di ruotare ad un secondo magnete fisso, quest'ultimo esercita una forza sul primo. Questo è dovuto al fatto che il primo magnete genera un campo magnetico che a sua volta esercita un'azione sulla posizione occupata dal secondo magnete. La forza di interazione tra due magneti può essere di due tipologie, attrattiva o repulsiva, sulla base dei poli magnetici che vengono affacciati. Fu scoperto infatti, che esistevano solo due tipologie di polo magnetico ovvero il polo positivo, o polo Nord, e il polo negativo, o polo Sud, e che un magnete è composto sempre da due poli di segno opposto definiti insieme dipolo magnetico. Due poli magnetici dello stesso segno si respingono, dando vita ad una forza repulsiva mentre due poli di segno opposto si attraggono generando una forza di tipo attrattivo.⁸⁶

La forza che si esercita tra due poli magnetici è simile a quella tra due cariche elettriche ma con una differenza sostanziale. La carica elettrica positiva o negativa può essere isolata in forma di protone ed elettrone mentre non è possibile separare un dipolo magnetico ed ottenere un polo singolo.

- II. Avvicinando della magnetite ad una bacchetta di ferro, quest'ultimo sarà in grado di attirare la limatura di ferro. Da ciò ne deriva che una bacchetta di ferro immersa nel campo magnetico prodotto da un magnete diventa a sua volta un magnete attraverso un processo detto magnetizzazione. Una volta magnetizzata, la bacchetta di ferro prende il nome di magnete artificiale o calamita.⁸⁷

Partendo dagli elementi appena esposti, nel corso degli anni sono state elaborate tutte le teorie e le leggi che ad oggi definiscono non solo il magnetismo ma anche l'elettromagnetismo. Proprio grazie a questi due fenomeni è stato possibile sviluppare la tecnologia dei treni Maglev. Nello specifico, il campo magnetico può essere considerato come il mezzo primario grazie al quale si ottiene la levitazione magnetica.

⁸⁶ Paolo MAZZOLI, Massimo NIGRO, Cesare VOICI, Elementi di fisica: Elettromagnetismo, Napoli, EdiSES, pp. 120-121, 2006.

⁸⁷ Ibidem.

I campi magnetici vengono generati dal moto delle cariche elettriche. Esistono due diverse tipologie di campi magnetici: quelli generati dal moto degli elettroni nei gusci atomici di un materiale magnetico, chiamato anche magnete o calamita, e quelli generati dalla corrente elettrica ovvero dal movimento delle cariche elettriche in un conduttore, come può essere una bobina. L'illustrazione 15 raffigura un esempio di queste due tipologie di campi magnetici, rispettivamente il campo magnetico di un magnete permanente (a destra) e il campo magnetico di un solenoide⁸⁸ (a sinistra). In entrambi i casi, il campo magnetico è costituito da un dipolo magnetico a sua volta formato da due estremità nelle quali si trovano il polo Nord (N) e il polo Sud (S). Le linee azzurre vengono definite linee di campo e sono utilizzate per rappresentare il campo magnetico. Le linee di campo di un campo magnetico sono sempre linee chiuse che escono dal polo Nord ed entrano dal polo Sud senza mai incontrarsi tra di loro. Dalla raffigurazione grafica delle linee di campo è possibile estrapolare un'ulteriore informazione, l'intensità del campo magnetico. Infatti, più le linee sono vicine più l'intensità del campo è maggiore e viceversa. Ciò considerato, si può notare come il campo magnetico sia più intenso nell'area vicina ai poli mentre diminuisce all'aumentare della distanza da questi ultimi. L'insieme di una serie di linee di campo corrisponde ad un flusso che avrà come valore proprio il numero di linee di campo da cui è composto. Maggiore è il numero delle linee di campo, maggiore sarà la forza del campo magnetico in questione, di conseguenza il valore del flusso è la misura della forza di un campo magnetico. L'unità di misura con il quale è indicato il flusso è il Weber (Wb)⁸⁹. La densità del flusso viene calcolata, quindi, dividendo il valore del flusso per le unità di area espresse in m². Il Tesla (T)⁹⁰ è l'unità di misura della densità del flusso.⁹¹

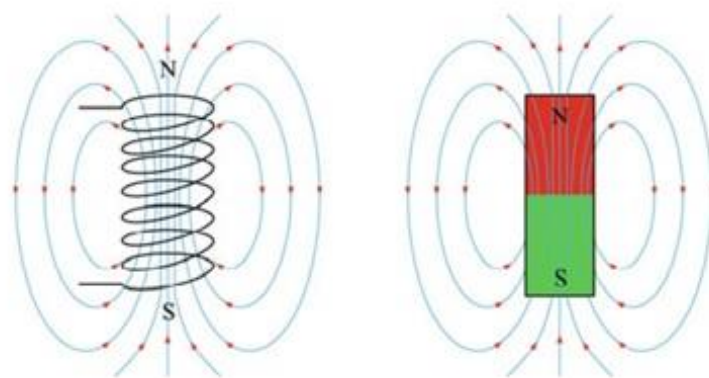


Illustrazione 15: Il campo magnetico di un solenoide (sinistra) e di un magnete permanente (destra)

⁸⁸ Un solenoide è una bobina costituita da un conduttore filiforme, avvolto a spire serrate su un supporto tubolare.

⁸⁹ 1 Weber corrisponde a 10⁸ linee di campo.

⁹⁰ 1 Tesla equivale a 1 Weber/m².

⁹¹ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., pp. 10-11.

La proprietà fondamentale dei campi magnetici è la loro capacità di generare forze di attrazione o repulsione a seconda del posizionamento dei loro poli magnetici. L'interazione tra due poli uguali di due campi magnetici produce una forza di repulsione mentre quando due poli opposti entrano in contatto la forza prodotta è di tipo attrattivo. Come si può vedere nell'Illustrazione 16, nel caso delle forze attrattive le linee di campo dei due campi magnetici si uniscono passando da un campo all'altro mentre nel caso delle forze repulsive le linee di campo si respingono a vicenda. Queste due forze sono le forze responsabili della sospensione e della propulsione nei sistemi Maglev.⁹²

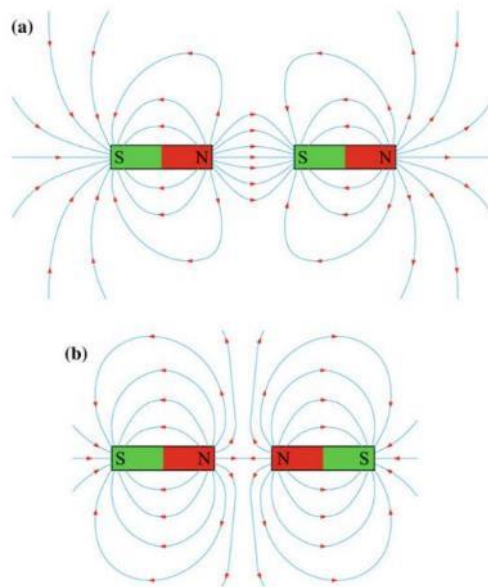


Illustrazione 16: Forze attrattive (a), forze repulsive (b)

Una volta definite le caratteristiche generali dei campi magnetici, è importante analizzare le proprietà magnetiche della materia sulla base delle quali è possibile classificare le diverse sostanze in tre gruppi: sostanze diamagnetiche, sostanze paramagnetiche e sostanze ferromagnetiche. Grazie ad uno studio di Faraday si può affermare che non esistono corpi neutri ad un fenomeno magnetico ma che tutti i corpi sono o paramagnetici o diamagnetici. Anche nei materiali ferromagnetici, infatti, è presente il fenomeno del diamagnetismo, al quale però si aggiungono altri effetti predominanti tali per cui questi ultimi vengono classificati separatamente come sostanze ferromagnetiche. Questi tre gruppi di sostanze magnetiche sono caratterizzate da un diverso grado di permeabilità e riluttanza magnetica.⁹³

⁹² HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., p. 11.

⁹³ Marco PANAREO, *Proprietà magnetiche dei materiali*, Dispense di elettromagnetismo, Università del Salento, pp. 12-13, 2021.

La permeabilità magnetica o suscettibilità magnetica, indica l'attitudine di un determinato materiale a magnetizzarsi quando si trova in presenza di un campo magnetico. La permeabilità magnetica dei metalli è generalmente molto alta, di conseguenza se un corpo con nucleo in ferro viene avvolto con bobine attraversate da corrente quasi la totalità del flusso magnetico prodotto passerà attraverso di esso. Grazie a tale proprietà i metalli, in particolare il ferro, vengono spesso utilizzati per concentrare il flusso magnetico e aumentare la forza del campo.⁹⁴

La riluttanza magnetica è il fenomeno opposto alla permeabilità magnetica ed è anche il corrispettivo della resistenza elettrica. Come dice il nome stesso, questo fenomeno indica l'opposizione esercitata da un materiale al transito di un flusso magnetico.⁹⁵

Oltre ad avere diversa permeabilità e riluttanza magnetica le tre diverse tipologie di sostanze magnetiche reagiscono in maniera diversa a contatto con un campo magnetico esterno. "L'applicazione di un campo magnetico esterno ad una sostanza diamagnetica determina l'induzione nel materiale di un debole momento magnetico di verso opposto a quello del campo, tale momento si annulla alla rimozione del campo esterno."⁹⁶ Di questa categoria fanno parte anche i materiali superconduttori utilizzati nei sistemi Maglev di cui si parlerà nei paragrafi successivi. Per quanto riguarda invece i materiali paramagnetici, questi ultimi sono caratterizzati da permeabilità magnetica assoluta costante e poco maggiore di quella del vuoto. Quando questi materiali vengono sottoposti ad un campo magnetico esterno si genera un momento magnetico anche in questo caso di piccola intensità ma questa volta concorde al campo esterno. Come per i materiali diamagnetici, una volta che il campo magnetico esterno viene annullato anche la magnetizzazione del materiale paramagnetico si annulla.⁹⁷ I materiali ferromagnetici, invece, sono gli unici in cui è possibile riscontrare la magnetizzazione anche senza che questi interagiscano con un campo magnetico esterno. Questo fenomeno è definito magnetizzazione spontanea. Nel 1895 Pierre Curie descrisse il comportamento della magnetizzazione spontanea in relazione alla temperatura arrivando a concludere che al di sopra di una determinata temperatura, definita appunto di Curie, la magnetizzazione spontanea si annulla e per riuscire a magnetizzare il materiale è necessario ricorrere ad un campo magnetico esterno come per le sostanze degli altri due gruppi.⁹⁸ Al di sopra della temperatura di Curie avviene quindi il passaggio dei materiali ferromagnetici allo stato paramagnetico. La caratteristica dei materiali ferromagnetici, una volta applicato un campo magnetico esterno, è quella di avere permeabilità magnetica variabile e proporzionale al campo stesso che viene descritta attraverso il ciclo di isteresi di cui si parlerà successivamente. Una volta annullato il campo magnetico esterno, nelle sostanze ferromagnetiche si presenta un campo magnetico residuo che permette

⁹⁴ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., p. 12.

⁹⁵ *Ibidem*.

⁹⁶ PANAREO, *Proprietà magnetiche...*, cit., p. 13.

⁹⁷ Mariangela USAI, *Circuiti magnetici*, Università di Catania, p. 13, 2013.

⁹⁸ PANAREO, *Proprietà magnetiche...*, cit., p. 14.

ad alcuni di essi di trasformarsi in magneti permanenti. Sono sostanze ferromagnetiche numerose leghe principalmente a base di ferro, il ferro stesso, il cobalto e il nichel.⁹⁹ Sia le sostanze ferromagnetiche che i magneti permanenti sono ampiamente utilizzati nella tecnologia Maglev e il loro ruolo verrà illustrato successivamente.

Uno dei modi per ottenere un campo magnetico è quello di far scorrere della corrente in un conduttore. Le cariche elettriche in movimento, infatti, generano allo stesso tempo un campo elettrico e un campo magnetico che insieme vengono definiti campo elettromagnetico. Da ciò si può dedurre che elettricità e magnetismo sono due fenomeni strettamente correlati, alla base dei quali vi è la medesima entità fisica: la carica elettrica. La nascita dell'elettromagnetismo risale al 1820 quando il fisico danese Oersted, professore all'università di Copenhagen, notò che un filo percorso da corrente continua posizionato al di sopra di un ago magnetico in direzione ad esso parallela veniva deviato in un verso mentre invertendo il senso della corrente quest'ultimo veniva deviato nel verso opposto. Ciò dimostrava che il circuito elettrico era in grado di generare un campo magnetico. Negli anni successivi a questa scoperta vari scienziati tra cui Ampere e Faraday furono in grado di descrivere in maniera esaustiva l'azione magnetica prodotta dalle correnti elettriche.¹⁰⁰

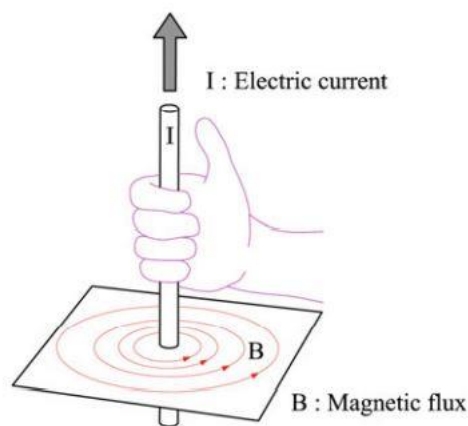


Illustrazione 17: Il campo magnetico generato da un conduttore percorso da corrente

La correlazione tra elettricità e magnetismo è cruciale per il funzionamento dei sistemi a levitazione magnetica in quanto la tipologia di magnete utilizzata per la maggiore in questi sistemi è proprio l'elettromagnete. Con elettromagnete si intende un magnete nel quale il campo magnetico risulta prodotto da una corrente elettrica. Generalmente l'elettromagnete è composto da un nucleo in materiale ferromagnetico attorno al quale viene avvolta una bobina di filo conduttore. Secondo le proprietà dei

⁹⁹ USAI, Circuiti..., cit., pp. 17-18.

¹⁰⁰ Edward M. PURCELL, *Elettricità e magnetismo*, "La fisica di Berkeley", Bologna, Zanichelli, p. 172, 1972.

materiali ferromagnetici, quasi la totalità del flusso magnetico attraversa il nucleo ferromagnetico dell'elettromagnete e questo permette di aumentare la potenza del magnete stesso. Un grande vantaggio dell'elettromagnete è che il campo magnetico ad esso associato è dipendente dalla corrente elettrica. Questo permette non solo di poter modificare il campo magnetico variando l'intensità della corrente nel conduttore ma anche di cambiare la direzione del campo cambiando quella della corrente.¹⁰¹

Prima di procedere con la descrizione del campo magnetico di un elettromagnete, è necessario introdurre un fenomeno fondamentale nell'elettromagnetismo e per i sistemi a levitazione magnetica: l'induzione elettromagnetica. Questo fenomeno, descritto dalla legge di Faraday, è tale per cui un circuito soggetto ad un campo magnetico variabile dà origine a una corrente elettrica chiamata corrente indotta. Le caratteristiche principali di tale fenomeno sono le seguenti:

- I. Un magnete fisso in presenza di un circuito formato da una bobina e da un amperometro¹⁰² non produce corrente mentre muovendo il magnete all'interno del circuito viene registrata la presenza di corrente indotta. Il verso della corrente indotta dipende dalla direzione del moto del magnete; infatti, invertendo quest'ultima anche il verso della corrente indotta verrà invertito.
- II. Aumentando l'intensità del moto del magnete, anche l'intensità della corrente indotta da esso generata aumenterà.
- III. Anche mantenendo fermo il magnete e muovendo la bobina all'interno di quest'ultima verrà generata corrente indotta. Da ciò si deduce che l'effetto in questione sia dovuto al moto relativo tra magnete e avvolgimento.
- IV. Se il magnete viene sostituito da un secondo circuito percorso da corrente costante ed in movimento oppure da un secondo circuito fermo ma con variazione nell'intensità della corrente, il risultato sarà lo stesso dei casi precedenti: l'amperometro registrerà la presenza di corrente indotta nel primo circuito.

La condizione indispensabile per ottenere un'induzione elettromagnetica è quindi la presenza di un campo magnetico variabile indipendentemente da quale sia la causa di tale variazione.¹⁰³ In termini di flusso, la variazione di un campo magnetico non è altro che la variazione nel tempo del flusso presente nel campo in esame.¹⁰⁴

Come affermato nell'enunciato della legge di Faraday, il risultato finale dell'induzione elettromagnetica è la generazione di corrente elettrica indotta. Ma per poter produrre corrente elettrica all'interno di un circuito è necessario che agli estremi di quest'ultimo si verifichi una differenza di potenziale, ovvero una forza elettromotrice (f.e.m.). La f.e.m. prodotta attraverso l'induzione

¹⁰¹ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., p. 13.

¹⁰² L'amperometro è lo strumento utilizzato per la misurazione dell'intensità di correnti elettriche.

¹⁰³ Mirella ENRIOTTI, *Elettromagnetismo, ottica e fisica moderna*, "Fisica", Milano, Pearson, pp. 531-532, 2008.

¹⁰⁴ *La f.e.m. indotta*, in "Sapere.it", <https://www.sapere.it/sapere/strumenti/studifacile/fisica/L-elettromagnetismo/L-induzione-elettromagnetica-e-le-equazioni-di-Maxwell/La-f-e-m--indotta.html>.

elettromagnetica viene definita f.e.m. indotta.¹⁰⁵ Sempre Faraday dimostrò che “la f.e.m. indotta in un circuito è proporzionale alla rapidità di variazione del flusso magnetico attraverso una qualunque superficie delimitata dal circuito”.¹⁰⁶ Il concetto di f.e.m. indotta viene utilizzato per calcolare l'intensità della corrente indotta, che si può ricavare dal rapporto tra la f.e.m. indotta e la resistenza del circuito in questione applicando la legge di Ohm¹⁰⁷.

L'ultimo tassello della legge dell'induzione elettromagnetica riguarda il verso delle correnti indotte ed è chiamata legge di Lenz in onore del fisico a cui si deve tale scoperta. La legge di Lenz afferma che “il verso di una corrente indotta è tale che il campo magnetico della corrente indotta si oppone alla variazione del flusso magnetico che l'ha generata.”¹⁰⁸

Le correnti indotte non si formano solamente nelle bobine oppure nei circuiti ma anche in blocchi metallici in presenza di variazioni di un campo magnetico. Le correnti indotte in questi casi vengono chiamate correnti parassite o correnti di Foucault. I blocchi metallici hanno una resistenza bassa e per questo le correnti indotte possono essere molto intense e portare ad una dissipazione di potenza molto elevata. Di conseguenza, muovere un blocco metallico per portarlo dentro o fuori ad un campo magnetico può essere difficile a causa della variazione del flusso e ciò risulta in una sorta di attrito magnetico.¹⁰⁹ Questo fenomeno viene utilizzato in diversi modi: come alternativa ai freni basati sull'attrito meccanico, nei sistemi di sicurezza come i metal detector e nei sistemi Maglev a sospensione elettrodinamica (EDS) di tipo repulsivo.

Vi sono diversi modi per ottenere la variazione di un flusso magnetico ed indurre f.e.m. e correnti indotte. Uno di questi modi è quello di cambiare la corrente all'interno di un circuito facendo così cambiare anche il campo magnetico da essa prodotto. Questo fenomeno viene definito induttanza.¹¹⁰ Nell'elettromagnetismo e nell'elettronica, l'induttanza è la proprietà di un conduttore secondo la quale una variazione nella corrente da cui è attraversato genera una f.e.m. sia nel conduttore stesso che nei conduttori vicini. Questi due fenomeni vengono definiti rispettivamente autoinduttanza e mutua induttanza.¹¹¹ Facendo scorrere corrente alternata nella prima bobina si genererà un campo magnetico che a sua volta creerà un flusso magnetico variabile nella seconda. All'interno di quest'ultima si avrà quindi una f.e.m. indotta e nel caso in cui venga collegata ad un circuito chiuso si avrà anche una corrente indotta. Tale effetto viene definito mutua induttanza: la variazione di corrente di una bobina produce variazione di flusso e f.e.m. indotta in una bobina vicina. Avvolgendo le bobine in un nucleo di ferro è

¹⁰⁵ Ibidem.

¹⁰⁶ Mirella ENRIOTTI (a cura di), *Elettromagnetismo, ottica e fisica moderna*, “Fisica”, Milano, Pearson, 2008, p. 534.

¹⁰⁷ La legge di Ohm esprime la relazione di proporzionalità fra la differenza di potenziale continua, ΔV , applicata ai capi di un conduttore, e l'intensità i di corrente che vi fluisce: $\Delta V = Ri$, in cui la costante R è detta resistenza elettrica.

¹⁰⁸ ENRIOTTI, *Elettromagnetismo...*, cit., p. 537.

¹⁰⁹ ENRIOTTI, *Elettromagnetismo...*, cit., p. 540.

¹¹⁰ ENRIOTTI, *Elettromagnetismo...*, cit., p. 541.

¹¹¹ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., p. 19.

possibile concentrare il flusso e aumentare la mutua induttanza.¹¹² L'induttanza si presenta anche nel caso di un singolo conduttore. Se la corrente all'interno di quest'ultimo varia allora varierà anche il flusso inducendo una f.e.m. indotta che si oppone alla variazione da cui si è generata. Se si aumenta la corrente in una bobina, il verso della f.e.m. indotta sarà tale da opporsi all'aumento della corrente. Se la corrente invece viene diminuita, la f.e.m. indotta tenderà a far aumentare la corrente in modo tale da contrastarne la diminuzione. In entrambe le situazioni, la f.e.m. indotta si oppone alla variazione di corrente. Questa proprietà viene chiamata autoinduttanza. Maggiore è la velocità di variazione della corrente, maggiore sarà la variazione del flusso e della f.e.m. indotta generata dall'autoinduttanza.¹¹³ Questa capacità di opporsi alla variazione di corrente dei conduttori influenza le prestazioni di controllo dei sistemi a levitazione magnetica basati sugli elettromagneti.¹¹⁴

2.1.1 Elettromagneti

L'elettromagnete è l'unità base dell'elettromagnetismo e consiste in un nucleo ferromagnetico sul quale viene avvolta una bobina percorsa da corrente. La forza del campo magnetico generato da un elettromagnete è proporzionale alla corrente e al numero di spire della bobina.

Le caratteristiche del campo elettromagnetico, che verranno espone qui di seguito, si ritrovano fondamentalmente invariate nei treni Maglev a sospensione elettromagnetica.

L'Illustrazione 18 raffigura il campo magnetico di un elettromagnete con forma ad U e nucleo in ferro (C). Quest'ultimo si trova posizionato nelle vicinanze di un secondo pezzo di materiale ferromagnetico e lo spazio che li separa viene definito, traferro (G). Le linee di campo del flusso magnetico sono degli anelli chiusi e la maggior parte del campo (B) da esse formato è racchiuso all'interno del nucleo. Soltanto alcune linee di campo (B_L) non percorrono tutto il circuito nel nucleo e per questo non contribuiscono alla forza complessiva del magnete. Questo fenomeno viene chiamato flusso di dispersione ed include anche le linee di campo che circondano i fili della bobina senza mai entrare nel nucleo dell'elettromagnete. Come si può vedere, le linee di campo escono dal nucleo in ferro per entrare nel pezzo di materiale ferromagnetico vicino, attraversando il traferro, e allargandosi verso l'esterno in corrispondenza delle estremità (B_F). Queste sporgenze delle linee di campo vengono chiamate campi marginali e sono responsabili della diminuzione della potenza del campo magnetico in quell'area. La linea azzurra, indicata con la lettera L, è la lunghezza media del circuito magnetico utilizzata per calcolare il campo magnetico generato.¹¹⁵

¹¹² ENRIOTTI, *Elettromagnetismo...*, cit., p. 541.

¹¹³ ENRIOTTI, *Elettromagnetismo...*, cit., p. 542.

¹¹⁴ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., p. 19.

¹¹⁵ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., pp. 13-14.

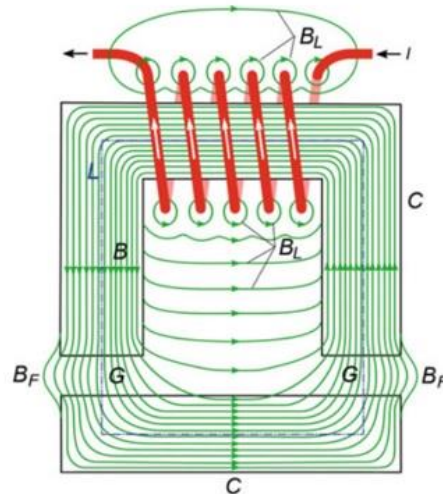


Illustrazione 18: Il campo magnetico di un elettromagnete

I due corpi, indicati con la lettera C, sono attraversati entrambi da un flusso magnetico circolare chiuso e questo genera una forza di attrazione tra i due che è responsabile della levitazione nei sistemi Maglev EMS.¹¹⁶ Tale forza dipende sia dalla geometria del magnete che da quella dell'oggetto ferromagnetico.¹¹⁷

2.1.2 Magnet permanenti

I magneti permanenti, insieme agli elettromagneti e ai magneti superconduttori, sono uno degli strumenti che è possibile utilizzare per ottenere la levitazione magnetica. Questa tipologia di magneti si ottiene partendo dalle sostanze ferromagnetiche.

Le proprietà delle sostanze ferromagnetiche possono essere rappresentate attraverso un ciclo di isteresi¹¹⁸ e vengono suddivise in due gruppi, materiali ferromagnetici duri e materiali ferromagnetici dolci, proprio a seconda della tipologia di ciclo di isteresi che generano. In relazione alla magnetizzazione di un materiale ferromagnetico sottoposto ad un campo magnetico esterno per la prima volta, il ciclo di isteresi magnetica è la relazione che si ottiene tra l'induzione magnetica (B), ovvero il grado di magnetizzazione del materiale, e l'intensità del campo magnetizzante (I). Aumentando l'intensità del campo magnetico in cui il materiale ferromagnetico si trova anche l'induzione magnetica aumenta ma solo fino al raggiungimento del punto di saturazione. Al di sopra del punto di saturazione, l'induzione magnetica rimane costante nonostante l'aumento dell'intensità del campo. La curva risultante viene detta curva di

¹¹⁶ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., p. 77.

¹¹⁷ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., p. 91.

¹¹⁸ L'isteresi, in fisica, è un fenomeno consistente in un ritardo della risposta d'un sistema a uno stimolo esterno, per cui la grandezza fisica che rappresenta la risposta è funzione sia della grandezza fisica che rappresenta lo stimolo sia di tutta la storia delle precedenti risposte del sistema a tale stimolo.

prima magnetizzazione o curva vergine (Illustrazione 19, A). A questo punto, diminuendo l'intensità del campo, si manifesta il fenomeno dell'isteresi in quanto la diminuzione della magnetizzazione è inferiore all'aumento registrato in precedenza e quando il campo magnetico risulta nullo all'interno del materiale persiste una certa induzione magnetica che viene definita magnetizzazione residua e trasforma il materiale in magnete permanente. Il magnete permanente risulta, quindi, magnetizzato anche in assenza di corrente (Illustrazione 19, B). Per annullare la magnetizzazione residua è necessario applicare un campo avente una specifica intensità e verso opposto rispetto a quello utilizzato per la magnetizzazione. Tale campo prende il nome di campo coercitivo (Illustrazione 19, C). Aumentando ulteriormente l'intensità del campo coercitivo il risultato sarà la creazione di una magnetizzazione di verso opposto alla prima e il raggiungimento di una saturazione magnetica anch'essa di verso opposto alla prima (Illustrazione 19, D). Infine, per annullare l'effetto appena descritto verrà fatta scorrere della corrente nel verso iniziale. In questo modo la curva si chiuderà e il ciclo di isteresi magnetica sarà completato (Illustrazione 20).¹¹⁹ La chiave nello sviluppo dei magneti permanenti è la capacità di controllare il ciclo di isteresi magnetica.¹²⁰

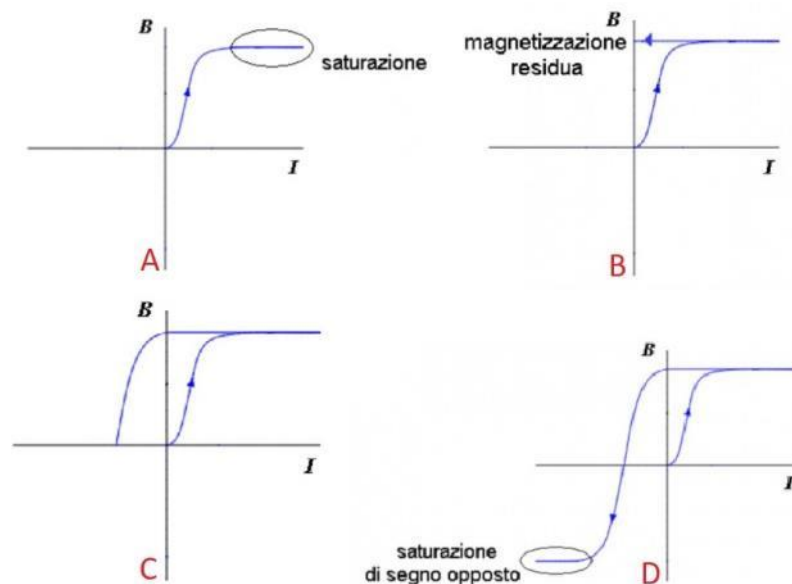


Illustrazione 19: Il ciclo di isteresi magnetica

¹¹⁹ *Ferromagnetismo*, in "Sapere.it", <https://www.sapere.it/enciclopedia/ferromagnetismo.html>.

¹²⁰ Ralph SKOMSKI, J. M. D. COEY, *Permanent Magnetism*, "Studies in Condensed Matter Physics", Londra, Institute of Physics Publishing, p. ix, 1999.

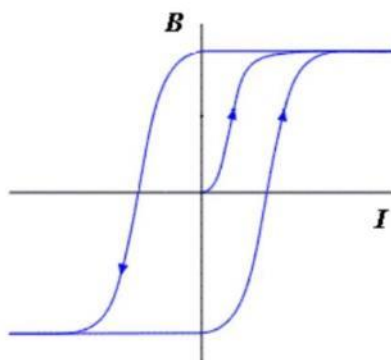


Illustrazione 20: Ciclo di isteresi magnetica completo

I materiali ferromagnetici duri sono caratterizzati da un ciclo di isteresi largo, in cui sia il valore della magnetizzazione residua (B_r) che quello dell'intensità del campo coercitivo (H_c) sono elevati. Questi due elementi rendono i materiali ferromagnetici duri i più adatti per la costruzione di magneti permanenti.¹²¹

Material	B_r (tesla)	H_c (tesla)	Specific density
Nd-Fe	1.25	1.11	7.4
$\text{Sm}_2\text{CO}_{17}$	1.12	0.69	6.4
Ferrite	0.44	0.29	5.0
Alinco	1.15	0.16	7.3

Illustrazione 21: I quattro materiali ferromagnetici duri più utilizzati e le loro proprietà

Al contrario, nei materiali ferromagnetici dolci il ciclo di isteresi è molto stretto e il valore dell'intensità del campo coercitivo è basso. Di conseguenza, il processo di smagnetizzazione di queste sostanze risulta molto facile. Gli elettromagneti vengono spesso prodotti con sostanze ferromagnetiche dolci, questo perché interrompendo l'afflusso di corrente il campo magnetico equivarrà quasi a zero.¹²²

Alla luce di quanto sopra, il magnete permanente è un magnete in grado di generare un proprio campo magnetico persistente nel tempo in seguito alla magnetizzazione subita da un campo magnetico esterno. Proprio per questo, il vantaggio principale di questi magneti consiste nel non dipendere da un rifornimento continuo di energia e di conseguenza i sistemi Maglev che utilizzano i magneti permanenti hanno una configurazione più elementare e i costi di manutenzione sono minori.

¹²¹ MAZZOLI, NIGRO, VOCI, *Elementi di fisica...*, cit., p. 158.

¹²² Ibidem.

La levitazione magnetica con magneti permanenti è possibile sia in modalità statica che dinamica. La prima permette di avere un sistema dalla configurazione molto semplice basato o su forze di repulsione o su forze di attrazione. In entrambi il sistema sarà instabile e sarà necessaria la presenza di ruote in modo tale da limitare i movimenti verticali e controllare la direzione laterale del treno. La linea Maglev tedesca M-Bahn, di cui si è parlato nel primo capitolo, era una linea a magneti permanenti con forze di tipo attrattivo e questo spiega perché solo l'85% del peso veniva sollevato grazie alla levitazione magnetica mentre il restante era gestito dal tradizionale sistema con ruote.¹²³ Attualmente non è in funzione o in costruzione nessun sistema di treni Maglev appartenente a questa categoria. Questo è dovuto, in buona parte, alle limitazioni in termini di densità del flusso magnetico proprie dei magneti permanenti e alla difficoltà nel produrli per via dell'attrazione che esercitano sui materiali ferromagnetici. Nel tentativo di superare le suddette limitazioni è stata costruita una configurazione sperimentale di magneti permanenti, detta configurazione di Halbach. Quest'ultima è utilizzata nel sistema statunitense Inductrack che verrà trattato in seguito.

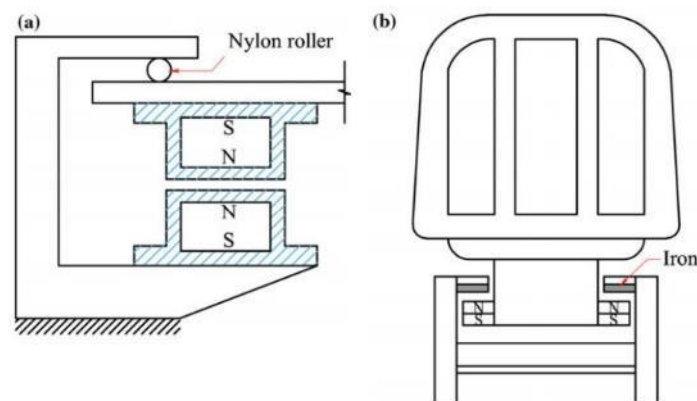


Illustrazione 22: Levitazione magnetica a magneti permanenti statici con forze repulsive (a) e forze attrattive (b)

Per quanto riguarda la modalità dinamica sono stati proposti sistemi di tipo repulsivo generati da magneti permanenti in movimento su una piastra conduttiva. Il movimento di un magnete permanente nelle vicinanze di una piastra conduttiva fa sì che il suo campo magnetico induca corrente parassita nella piastra. La corrente parassita a sua volta produrrà un campo magnetico che attraverso l'interazione con il campo magnetico del magnete darà vita a delle forze repulsive a cui si deve la levitazione.¹²⁴ Questa tecnologia, essendo appunto dinamica, appartiene alla categoria della sospensione elettrodinamica.

¹²³ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., pp. 36-37.

¹²⁴ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., pp. 40-41.

2.1.3 Magneti superconduttori

I magneti superconduttori rappresentano la terza, e ultima, tipologia di magneti utilizzata nei sistemi ferroviari a levitazione magnetica. Per poter comprendere le caratteristiche e le modalità di utilizzo dei magneti superconduttori è necessario partire esponendo i concetti fondamentali della superconduttività.

Il fenomeno della superconduttività è strettamente correlato alla resistenza elettrica della materia. La resistenza elettrica dei conduttori metallici diminuisce al diminuire della temperatura ma anche a temperature vicine allo zero assoluto questi ultimi conservano una certa resistenza. Fanno eccezione i materiali superconduttori, i quali presentano resistenza elettrica nulla al di sotto di una specifica temperatura definita temperatura critica (T_c). I superconduttori sono gli unici materiali caratterizzati da resistenza elettrica nulla e da diamagnetismo perfetto.¹²⁵ La superconduttività fu scoperta per la prima volta da Onnes nel 1911 mentre il diamagnetismo perfetto fu scoperto nel 1933. Un superconduttore si definisce perfettamente diamagnetico quando il campo magnetico, prodotto in esso da una corrente indotta, annulla totalmente qualsiasi altro campo magnetico applicato. La corrente indotta persiste nel superconduttore con resistenza nulla, di conseguenza il materiale espelle completamente i campi magnetici dal suo interno. Questo fenomeno è noto come effetto Meissner e dimostra l'impossibilità di penetrare un superconduttore con un campo magnetico esterno.¹²⁶

I tre valori critici che definiscono il campo nel quale si manifesta la superconduzione sono: la temperatura, la corrente e il campo magnetico. Una volta superata la temperatura critica, il fenomeno della superconduttività viene meno. I materiali superconduttori vengono suddivisi in due categorie a seconda di come avviene tale processo. Nel caso dei superconduttori di tipo I, se l'intensità del campo supera il valore critico la superconduttività si annulla totalmente. I superconduttori di tipo II, invece, sono caratterizzati da due valori critici relativi al campo: il valore inferiore e il valore superiore. Raggiunto il valore del campo critico inferiore, il flusso magnetico del campo applicato penetra parzialmente all'interno del materiale e si ha uno stato di diamagnetismo non perfetto. Superato il campo critico superiore il materiale perde completamente la superconduttività.¹²⁷ I superconduttori di tipo I sono principalmente superconduttori elementari puri, come ad esempio l'alluminio, mentre quelli impuri e composti appartengono al gruppo dei superconduttori di tipo II tra cui figura la lega niobio-germanio-alluminio.¹²⁸ Entrambe le tipologie di superconduttori appena descritti possono essere utilizzate nei sistemi Maglev. Nel caso di quelli del tipo I, la forza di levitazione magnetica sarà però molto inferiore

¹²⁵ LANZARA, D'OVIDIO, LI, DENG, ZHANG, "Disamina dei sistemi...", *cit.*, p. 572.

¹²⁶ ENRIOTTI, *Elettromagnetismo...*, *cit.*, p. 552.

¹²⁷ LANZARA, D'OVIDIO, LI, DENG, ZHANG, "Disamina dei sistemi...", *cit.*, p. 573.

¹²⁸ WANG, WANG, *High temperature superconducting...*, *cit.*, p. 14.

rispetto a quella ottenuta con i superconduttori di tipo II quando si trovano nello stato di diamagnetismo non perfetto, ovvero tra campo critico inferiore e superiore.¹²⁹

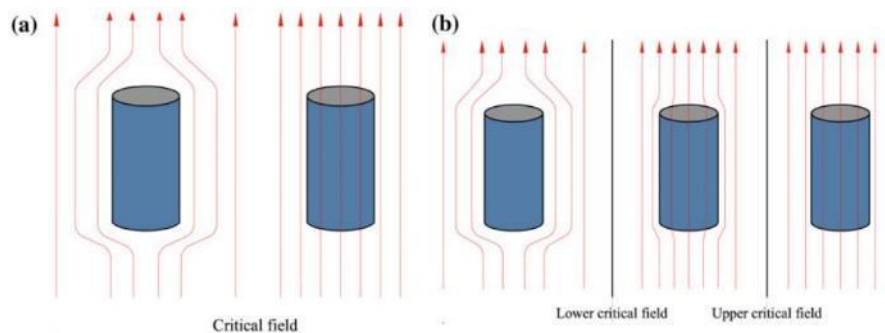


Illustrazione 23: Comportamento dei superconduttori di tipo I (a) e di tipo II (b) all'interno di un campo magnetico

Un altro modo per classificare i superconduttori è quello basato sulla loro temperatura critica, esistono infatti i superconduttori a bassa temperatura critica (LTS) raffreddati con elio liquido e i superconduttori ad alta temperatura¹³⁰ critica (HTS) raffreddati con azoto liquido.¹³¹

La proprietà sopradescritta che permette ai superconduttori di respingere i campi magnetici è alla base dei sistemi Maglev a superconduzione.¹³²

¹²⁹ WANG, WANG, *High temperature superconducting...*, cit., p. 5.

¹³⁰ Per alta temperatura si intende una temperatura maggiore del punto di ebollizione dell'azoto liquido, ovvero -196°C .

¹³¹ LANZARA, D'OVIDIO, LI, DENG, ZHANG, "Disamina dei sistemi...", cit., pp. 572-573.

¹³² HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., p. 53.

2.2 La levitazione

La tecnologia relativa alla levitazione è parte integrante dei sistemi Maglev e consente ai veicoli di rimanere sospesi su un cuscinetto ad aria. Le forze magnetiche responsabili della levitazione possono essere di tipo attrattivo o di tipo repulsivo. Nel primo caso i sistemi vengono definiti EMS mentre nel secondo prendono il nome di sistemi EDS.¹³³ I sistemi EMS si basano sull'utilizzo degli elettromagneti mentre quelli EDS vengono suddivisi ulteriormente in due categorie: i sistemi EDS con magneti superconduttori a bassa temperatura o ad alta temperatura e i sistemi EDS con magneti permanenti.

2.2.1 EMS: sospensione elettromagnetica

La tecnologia EMS si basa sulle forze attrattive che si generano dall'interazione tra un elettromagnete standard e un materiale ferromagnetico. Nei sistemi Maglev di tipo EMS, gli elettromagneti vengono posizionati sul carrello del veicolo mentre il materiale ferromagnetico si trova lungo la guidovia. La tecnologia in questione è utilizzata sia nei sistemi ad alta velocità, come nel caso dei treni Transrapid di origine tedesca, sia nei sistemi a bassa-media velocità, tra cui la linea Linimo in Giappone e la linea S1 di Pechino. Ciò che differenzia i treni a EMS ad alta velocità da quelli a bassa-media velocità è la tipologia di motore che viene utilizzato per la propulsione. Nei primi il motore è un motore LSM mentre nei secondi si è optato per i motori LIM.¹³⁴

Nel paragrafo dedicato agli elettromagneti sono stati esposti il funzionamento e le caratteristiche del campo magnetico di un elettromagnete. La tecnologia EMS non è altro che la loro applicazione all'interno dei sistemi Maglev. Fissando gli elettromagneti sul veicolo e utilizzando del materiale ferromagnetico lungo la guidovia si avrà un flusso magnetico circolare che attraversa i due corpi e genera esattamente le stesse forze attrattive di cui si è parlato in relazione all'Illustrazione 18. Se la corrente fornita agli elettromagneti è costante le forze attrattive aumentano al diminuire del traferro; al contrario se il traferro aumenta le forze diminuiscono. Di conseguenza, in uno stato di corrente costante il sistema risulta intrinsecamente instabile e ciò vuol dire che non sarà in grado di mantenere il traferro inalterato. In altre parole, il sistema non ha la capacità di conservare la propria posizione di equilibrio a contatto con un qualsiasi tipo di forza esterna.¹³⁵ L'unico modo per rendere la tecnologia EMS stabile e sicura è l'utilizzo di un mezzo di controllo attivo capace di modificare il rapporto tra le forze attrattive e il valore del traferro in modo tale da non far spostare il veicolo dalla sua posizione di equilibrio. Tale controllo

¹³³ PRASAD, JAIN, GUPTA, "Electrical Components...", *cit.*, pp. 69-70.

¹³⁴ LANZARA, D'OVIDIO, LI, DENG, ZHANG, "Disamina dei sistemi...", *cit.*, pp. 565-566.

¹³⁵ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, Magnetic Levitation..., *cit.*, p. 79.

viene effettuato costantemente attraverso un anello di retroazione¹³⁶, più comunemente chiamato *feedback loop*, ed è proprio questo l'elemento più critico nelle prestazioni di questa tipologia di veicoli. Il sistema di retroazione svolge il proprio compito attraverso la regolazione della corrente che viene fatta scorrere nelle bobine degli elettromagneti. Nel caso in cui il controllo non funzionasse correttamente la levitazione e la stabilità verrebbero meno causando ingenti danni, anche in considerazione delle elevate velocità, e per questo motivo è necessario non solo avere un sistema di retroazione che sia il più efficiente ed efficace possibile ma anche progettare dei dispositivi di sicurezza pronti ad intervenire in caso di malfunzionamenti.¹³⁷

Un'altra caratteristica dei veicoli a sospensione elettromagnetica è la dipendenza dal rifornimento di energia elettrica. Un elettromagnete senza corrente elettrica non sarebbe tale e non genererebbe un campo magnetico.¹³⁸ Inoltre, a causa del nucleo ferromagnetico degli elettromagneti si ha non solo un aumento del peso del veicolo, per cui è necessaria maggiore forza di levitazione e propulsione, ma è necessario anche mantenere l'intensità del campo magnetico entro certi limiti per evitare la saturazione del ferro.¹³⁹ Questo fa sì che il traferro sia molto ridotto ed equivalga a circa a 10 mm.¹⁴⁰

La tecnologia EMS entra in funzione una volta fatta scorrere la corrente necessaria nelle bobine degli elettromagneti e non è collegata al loro movimento, di conseguenza è possibile ottenere la levitazione del veicolo anche quando quest'ultimo è fermo.

¹³⁶ La retroazione all'interno dei sistemi dinamici è un meccanismo, noto come feedback, per il quale le variabili in ingresso dipendono da quelle in uscita. La retroazione positiva amplifica le deviazioni del sistema dal suo stato, per cui esso tende a un nuovo stato di equilibrio; la retroazione negativa contrasta le deviazioni e stabilizza il sistema, opponendosi ai cambiamenti.

¹³⁷ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., p. 78.

¹³⁸ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., pp. 80-81.

¹³⁹ Augusto MORINI, "Alta Velocità a levitazione magnetica", *Tutto treno: lo spettacolo dei treni*, 93, 1996, p. 14.

¹⁴⁰ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., p. 81.

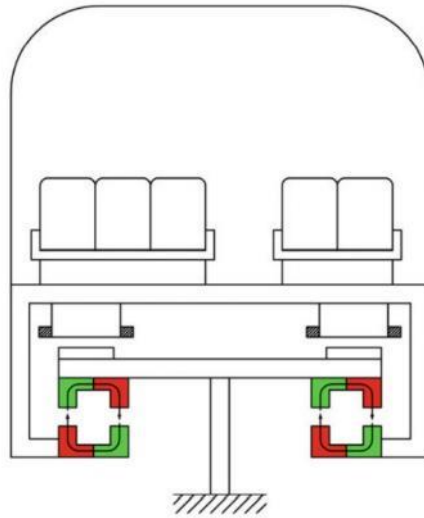


Illustrazione 24: Configurazione di un veicolo Maglev di tipo EMS

2.2.2 EDS: sospensione elettrodinamica

“L’EDS si basa sull’utilizzo di forze repulsive derivanti dall’interazione di un dispositivo magnetico in movimento rispetto ad un conduttore fisso. Il campo magnetico dell’apparato induttore genera delle correnti indotte¹⁴¹ sul conduttore che, a loro volta, per la legge di Lenz, creano un campo magnetico che si oppone alla variazione del campo”.¹⁴² La forza repulsiva prodotta dall’interazione tra i due campi in questione aumenta all’aumentare della velocità e si annulla completamente a valori nulli. Per questo motivo i sistemi che utilizzano la tecnologia EDS necessitano di arrivare ad una determinata velocità critica prima che le correnti indotte siano sufficienti per generare le forze a cui si deve la levitazione del veicolo. Questo spiega perché i sistemi in esame sono provvisti di ruote ausiliarie che entrano in funzione al di sotto della velocità critica in sostituzione alla levitazione magnetica.¹⁴³

In funzione dei dispositivi utilizzati per la levitazione la tecnologia EDS può essere suddivisa in due diverse categorie: levitazione a magneti superconduttori, sia a bassa temperatura che ad alta temperatura, e levitazione a magneti permanenti.

I superconduttori respingono i campi magnetici ad essi applicati al di sopra di una certa temperatura critica, di conseguenza tra il superconduttore e il campo magnetico esterno si genera una forza repulsiva reciproca. Questo principio viene utilizzato per generare le forze di levitazione e di guida dei veicoli Maglev a superconduzione. L’utilizzo dei superconduttori a bassa temperatura per la costruzione dei treni

¹⁴¹ Trattandosi di un conduttore metallico, le correnti in esso indotte vengono chiamate correnti parassite in accordo con quanto affermato in precedenza.

¹⁴² LANZARA, D’OVIDIO, LI, DENG, ZHANG, “Disamina dei sistemi...”, *cit.*, pp. 569-570.

¹⁴³ LANZARA, D’OVIDIO, LI, DENG, ZHANG, “Disamina dei sistemi...”, *cit.*, p. 570.

Maglev fu proposto per la prima volta nel 1973 dal professore italiano Giovanni Lanzara.¹⁴⁴ La tecnologia EDS con questa tipologia di magneti superconduttori è alla base della linea Maglev in costruzione in Giappone tra Tokyo e Osaka.¹⁴⁵ Le implicazioni principali di questa tecnologia riguardano gli elevati campi magnetici che vengono a concentrarsi sul veicolo e la necessità di particolari processi di interazione tra i campi magnetici che fungono da induttori e gli avvolgimenti indotti.¹⁴⁶ Per quanto riguarda invece i superconduttori ad alte temperature, la relativa tecnologia è stata sviluppata a partire dalla fine degli anni Ottanta, grazie alla scoperta dell'ossido di ittrio, bario e rame¹⁴⁷, e ad oggi risulta in fase sperimentale. Questa tecnologia “si basa sull'interazione tra un superconduttore ad alta temperatura (HTS), appartenente a quelli non ideali del II° tipo, ed un campo magnetico statico generato dai magneti permanenti.”¹⁴⁸ L'effetto chiamato *flux pinning*, secondo il quale parte del campo magnetico viene intrappolato all'interno del superconduttore fa sì che l'interazione tra quest'ultimo e il campo magnetico stesso produca sia forze repulsive che attrattive. La combinazione di queste forze determina la sospensione stabile del veicolo che non necessita quindi di nessun tipo di sistema di controllo attivo, come nel caso dei sistemi EMS. Questo perché l'avvicinamento tra superconduttore e magneti permanenti genera forze repulsive mentre l'allontanamento dei due corpi crea forze attrattive.¹⁴⁹ Altro punto a favore della levitazione per mezzo di magneti superconduttori ad alte temperature consiste nella possibilità di utilizzare l'azoto liquido per il raffreddamento, al posto dell'elio liquido necessario per i superconduttori a basse temperature. L'azoto liquido è molto più efficiente dell'elio liquido e permette di semplificare notevolmente i sistemi criogenici e anche di ridurre i costi.¹⁵⁰

¹⁴⁴ LANZARA, D'OVIDIO, LI, DENG, ZHANG, “Disamina dei sistemi...”, *cit.*, p. 573.

¹⁴⁵ WANG, WANG, High temperature superconducting..., *cit.*, p. 87.

¹⁴⁶ LANZARA, D'OVIDIO, LI, DENG, ZHANG, “Disamina dei sistemi...”, *cit.*, p. 572.

¹⁴⁷ La formula chimica di tale composto è $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ e viene comunemente abbreviato con la sigla YBCO.

¹⁴⁸ LANZARA, D'OVIDIO, LI, DENG, ZHANG, “Disamina dei sistemi...”, *cit.*, p. 574.

¹⁴⁹ Ibidem.

¹⁵⁰ LANZARA, D'OVIDIO, LI, DENG, ZHANG, “Disamina dei sistemi...”, *cit.*, p. 575.

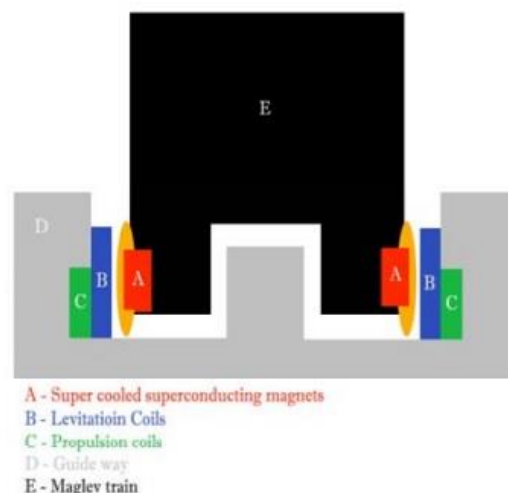


Illustrazione 25: Sistema Maglev con tecnologia EDS a magneti superconduttori

L'ultimo mezzo utilizzato nei sistemi EDS sono i magneti permanenti. La levitazione magnetica con magneti permanenti è possibile in modalità statica e dinamica ma soltanto quella dinamica rientra nella tecnologia EDS. Attualmente l'unico sistema che utilizza la tecnologia EDS con forze repulsive in modalità dinamica è il sistema chiamato Inductrack.¹⁵¹ Tale sistema è stato sviluppato dai ricercatori del Lawrence Livermore National Laboratory e prevede la disposizione dei magneti permanenti in un dispositivo di Halbach, più comunemente identificato con il termine inglese “*array di Halbach*”, che permette di superare i limiti dei magneti permanenti già descritti in precedenza.¹⁵² La tecnologia Inductrack è di tipo *fail-safe*, ovvero “è in grado, in caso di rottura o malfunzionamento, di portare tutti gli elementi elettronici e meccanici danneggiati, in una condizione di sicurezza per il veicolo in questione”.¹⁵³ Gli unici due elementi necessari per la levitazione all'interno di questi sistemi sono degli anelli formati da cavi elettrici non alimentati posti lungo la guidovia e i magneti permanenti, disposti secondo l'*array di Halbach*, fissati sul veicolo. L'*array di Halbach* consente di rafforzare il campo magnetico lungo una faccia del dispositivo e allo stesso tempo di cancellare il campo magnetico nella faccia opposta. Quando l'*array di Halbach* è in movimento e passa sopra i cavi elettrici non alimentati genera corrente all'interno di questi ultimi portando alla formazione di un campo magnetico opposto secondo le leggi di Faraday e Lenz. Raggiunta una certa velocità critica, il campo magnetico indotto sarà abbastanza forte da far levitare il veicolo. Anche in questo caso, quindi, per ottenere la levitazione il treno deve essere in movimento e al di sotto della velocità critica è richiesto l'utilizzo delle ruote. Sopra tale velocità la forza

¹⁵¹ Il termine Inductrack deriva dalla traduzione inglese delle parole induttanza o induttore.

¹⁵² INTILLA, Sistemi di trasporto..., cit., pp. 47-48.

¹⁵³ INTILLA, Sistemi di trasporto..., cit., p. 47.

di sollevamento, pari a circa 50 volte il peso del magnete, lo spazio di levitazione e l'energia elettrica utilizzata rimangono costanti.¹⁵⁴

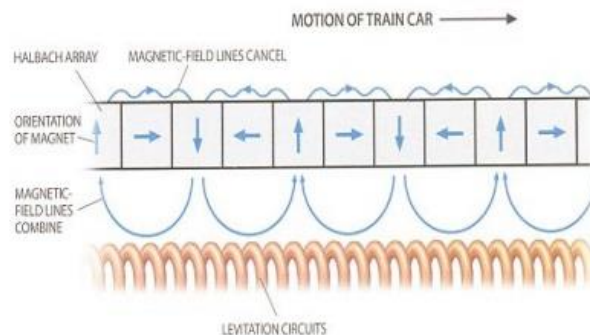


Illustrazione 26: Sistema di levitazione Inductrack

Una volta esaminate le varie tecnologie che permettono la levitazione dei treni Maglev è possibile confrontarle tra loro e ricapitolare quelli che sono i vantaggi e gli svantaggi di ognuna. Nel caso della tecnologia EMS il vantaggio in assoluto più rilevante è quello di garantire la levitazione del veicolo a qualsiasi velocità e quindi anche a veicolo fermo. Questo fa sì che non vi sia la necessità di avere un secondo sistema di sospensione separato con ruote. Di conseguenza, anche la costruzione della guidovia risulterà più semplice. Per contro, i sistemi EMS sono sistemi intrinsecamente instabili che necessitano di un sistema di controllo di altissimo livello e con un elevatissimo grado di precisione che aumenta la complessità del sistema stesso e i costi. Altro punto a sfavore è dato dall'altezza del traferro che è molto esigua per via della poca forza generata dal campo magnetico, di conseguenza la guidovia deve essere costruita con livelli di tolleranza quasi inesistenti. Infine, la tecnologia EMS essendo basata sull'utilizzo degli elettromagneti dipende in maniera totalizzante dal rifornimento di energia elettrica. Passando ai sistemi EDS con magneti superconduttori, il primo punto a favore consiste nel loro essere naturalmente stabili, il che elimina il bisogno di un sistema di controllo. La riduzione della distanza tra guidovia e magneti, rispetto alla posizione di equilibrio, crea delle forze attrattive che riportano il veicolo in posizione. Al contrario, nel caso i due si avvicinino si generano delle forze repulsive che portano il veicolo alla giusta distanza dalla guidovia. I campi magnetici generati in questi sistemi sono molto forti a causa della presenza di magneti superconduttori e questo rappresenta un vantaggio perché permette di avere un'altezza di traferro maggiore ma, allo stesso tempo, porta alla necessità di una schermatura magnetica del veicolo. È importante sottolineare che questa tecnologia è stata sviluppata e sostenuta principalmente dal Giappone perché, essendo un territorio molto colpito da fenomeni sismici, per motivi di sicurezza era fondamentale

¹⁵⁴ INTILLA, Sistemi di trasporto..., cit., pp. 47-48.

avere un traferro maggiore tra veicolo e guidovia. Ultimo vantaggio della tecnologia in esame è l'indipendenza dal rifornimento di energia elettrica. Una volta fornita corrente alle bobine superconduttrici, quest'ultima scorre e induce un campo magnetico che persiste fino a quando non viene superata la temperatura critica e di conseguenza la bobina assume le caratteristiche di un magnete permanente.¹⁵⁵ I due svantaggi invece sono i seguenti: il bisogno di un sistema di levitazione ausiliario con ruote per le basse velocità, dovuto al fatto che se il cambiamento del flusso magnetico rispetto al tempo è troppo lento la corrente indotta nelle bobine non sarà sufficiente a produrre forze repulsive abbastanza forti da sostenere il peso del treno; e infine la presenza di sistemi criogenici complessi ad elio o azoto liquido per il raffreddamento dei materiali superconduttori. Per quanto riguarda invece la tecnologia Inductrack, anch'essa, al di sotto di una determinata velocità, necessita di un sistema di sospensione con ruote e utilizzando magneti permanenti è in grado di garantire la levitazione del veicolo anche senza il rifornimento costante di energia elettrica. Entrambi i vantaggi appena citati risultano in comune con i sistemi EDS a magneti superconduttori ma, rispetto a questi ultimi, la configurazione propria della tecnologia Inductrack è molto più semplice e i costi per la realizzazione sono inferiori.

¹⁵⁵ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., p. 51.

2.3 La propulsione

Con il termine propulsione si intende “l’azione con cui si fornisce a un corpo l’energia necessaria a provocarne e a mantenerne il moto.”¹⁵⁶ I sistemi ferroviari Maglev utilizzano per la propulsione due diverse tipologie di motori lineari: i LIM sulle linee a basse e medie velocità e i LSM per quelle ad alta velocità. I motori in questione sono responsabili non solo della propulsione ma anche della forza frenante in assenza di contatto.¹⁵⁷

Il principio di funzionamento del motore lineare deriva da quello del tradizionale motore elettrico di tipo rotativo di cui è importante esporre le basi. Quest’ultimo è composto principalmente da due elementi: lo statore e il rotore. La parte esterna del motore è fissa e per questo prende il nome di statore. Lo statore contiene gli avvolgimenti primari del motore. Il rotore, invece, è la parte interna del motore che come dice la parola stessa ruota attorno al proprio asse. Gli avvolgimenti secondari del motore si trovano all’interno del rotore.¹⁵⁸ Il motore elettrico è basato sulle forze elettromagnetiche che interagiscono tra la corrente elettrica e un campo magnetico, espone nel paragrafo su magnetismo ed elettromagnetismo. Una volta che la corrente elettrica viene fatta scorrere negli avvolgimenti primari dello statore, si genera un campo magnetico che porta alla formazione di corrente indotta e di un secondo campo magnetico nel rotore permettendogli di ruotare. In questo modo l’energia elettrica si trasforma nell’energia meccanica necessaria per la propulsione.

I motori lineari funzionano esattamente nello stesso modo di quelli tradizionali con l’unica differenza che statore e rotore non hanno più una forma circolare ma vengono distesi su un piano formando due strutture parallele che prendono il nome rispettivamente di primario e secondario.¹⁵⁹ Il primario di un motore lineare invece di generare un campo magnetico rotatorio genera un campo che si propaga orizzontalmente lungo la sua lunghezza. A sua volta, il secondario, non subisce più una forza rotatoria ma una lineare. Di conseguenza il motore lineare produce un movimento lineare da cui prende anche il nome.¹⁶⁰

¹⁵⁶ *Propulsione*, in “Treccani”, <https://www.treccani.it/enciclopedia/propulsione/>.

¹⁵⁷ LANZARA, D’OVIDIO, LI, DENG, ZHANG, “Disamina dei sistemi...”, *cit.*, p. 562.

¹⁵⁸ Marie BALESTREIRE, John HOLLENBERGER, “Maglev: Transportation of the Future?”, Fifth Annual Freshman Conference, Pittsburgh, Paper #101, Session C7, 2005.

¹⁵⁹ LANZARA, D’OVIDIO, LI, DENG, ZHANG, “Disamina dei sistemi...”, *cit.*, p. 562.

¹⁶⁰ Wilson CORNELL, *Maglev: Magnetic Levitating Trains*, in “Electrical and Computer engineering Design Handbook”, <https://sites.tufts.edu/eesenior/designhandbook/2015/maglev-magnetic-levitating-trains/>.

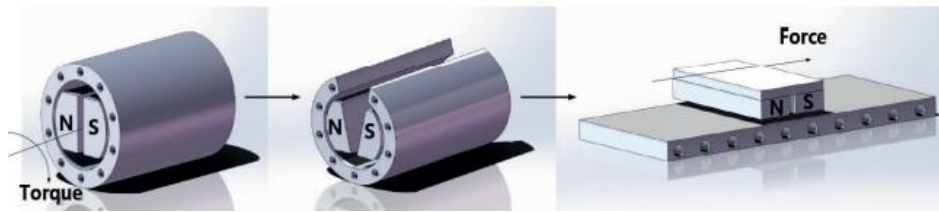


Illustrazione 27: Passaggio da un motore elettrico rotativo ad un motore lineare

2.3.1 LIM: Motore lineare ad induzione

I motori lineari ad induzione vengono utilizzati per i sistemi Maglev a bassa-media velocità delle linee urbane. Primario e secondario possono essere installati o sul veicolo oppure lungo la guidovia e sulla base di questo e sulla lunghezza del primario, che può essere lungo come nella seconda opzione o corto come nelle altre due, esistono tre diverse configurazioni rappresentate nell'illustrazione 28. La scelta della configurazione influenza in maniera rilevante i costi necessari per la costruzione della guidovia.

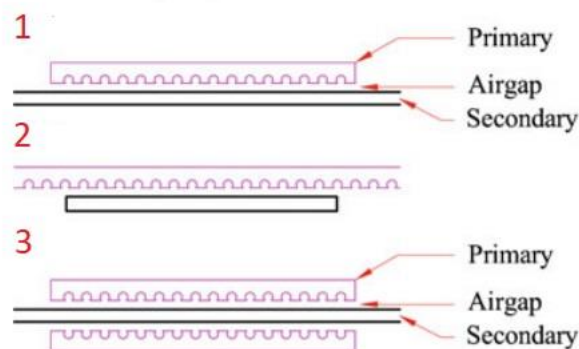


Illustrazione 28: Le tre possibili configurazioni di un motore lineare ad induzione

L'interazione tra il campo magnetico in movimento degli avvolgimenti trifase del primario e il campo magnetico generato dalle correnti indotte del secondario in alluminio presente sulla guidovia fa sì che il veicolo venga spinto in avanti lungo la pista. L'intensità della spinta può essere regolata attraverso la variazione della corrente fornita agli avvolgimenti trifase del primario.¹⁶¹ Questa tipologia di motore si chiama ad induzione proprio perché il campo magnetico del primario induce un campo magnetico nel secondario. I LIM sono relativamente economici e la loro costruzione è semplice ma hanno anche un grande limite, ovvero un'elevata perdita di correnti parassite che causa non solo la riduzione dell'efficienza

¹⁶¹ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, Magnetic Levitation..., cit., pp. 31-32.

energetica ma anche la riduzione della densità della forza di propulsione. Questo spiega perché il limite massimo di velocità che possono raggiungere si aggira attorno ai 300 km/h e rende chiara la scelta di utilizzarli solamente nei sistemi Maglev a bassa e media velocità.¹⁶²

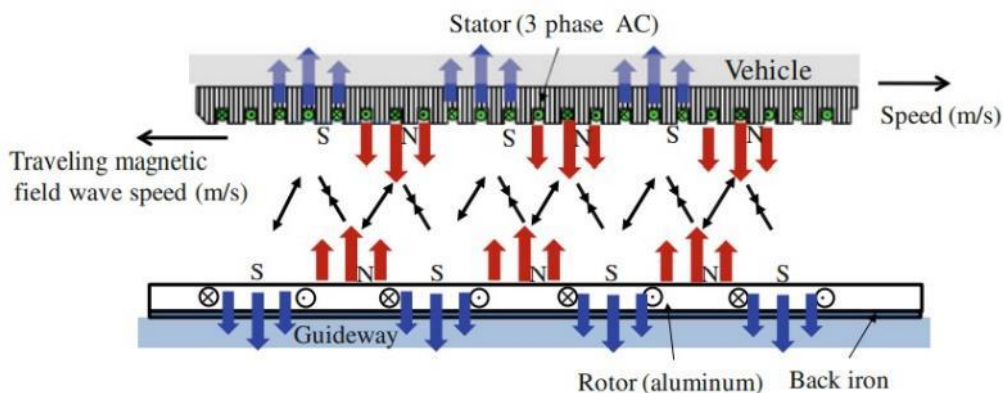


Illustrazione 29: Il motore lineare ad induzione

2.3.2 LSM: Motore sincrono lineare

Per i treni Maglev ad alta velocità, compresi i treni Transrapid, il motore utilizzato è invece il LSM. Il motore in esame è molto simile al LIM ma risulta essere più efficiente in special modo in relazione a velocità elevate. Il principio di funzionamento del LSM è uguale a quello del LIM ma in questo caso il motore si definisce sincrono perché il veicolo viaggia in maniera sincrona con in campo magnetico in movimento.¹⁶³ Ciò non avviene nei veicoli con motore ad induzione nei quali il secondario, e di conseguenza il veicolo, si muove con un leggero ritardo rispetto al campo magnetico.¹⁶⁴ Il secondario del LSM può essere formato o da magneti permanenti o da elettromagneti, standard nel caso dei Transrapid e superconduttori nei treni Maglev giapponesi, posizionati lungo la pista con polarità alternate.

I motori lineari ad induzione e i motori lineari sincroni vengono utilizzati in sistemi Maglev diversi non solo sulla base del loro diverso grado di efficienza energetica e della velocità che riescono a raggiungere ma anche tenendo conto delle differenze economiche relative al loro utilizzo. I LIM sono caratterizzati da minima spesa di investimento e massimo costo di esercizio mentre l'opposto vale per i LSM.¹⁶⁵

¹⁶² PRASAD, JAIN, GUPTA, "Electrical Components...", *cit.*, p. 74.

¹⁶³ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, Magnetic Levitation..., *cit.*, p. 32.

¹⁶⁴ Wilson CORNELL, *Maglev: Magnetic Levitating Trains*, in "Electrical and Computer engineering Design Handbook", <https://sites.tufts.edu/eeseniordesignhandbook/2015/maglev-magnetic-levitating-trains/>.

¹⁶⁵ Franco DI MAJO, "Il motore lineare sincrono. Valutazione delle prestazioni e criteri di dimensionamento", *IF Ingegneria ferroviaria*, 43, 7, 1988, pp. 383-388.

2.4 La guida laterale: forze magnetiche attrattive e forze magnetiche repulsive

Prima di procedere illustrando come funzionano le diverse tipologie di guida laterale, è necessario avere un'idea chiara del concetto di guidovia e del suo ruolo all'interno del sistema. La guidovia è la struttura sulla quale viaggiano i treni Maglev ed è generalmente composta da una sovrastruttura, in cui si trovano la trave maestra e due rotaie di guida e da una sottostruttura formata da colonne e fondamenti in cemento armato. I treni Maglev vengono supportati e guidati dalla guidovia che ha fundamentalmente tre ruoli: indirizzare il movimento del veicolo, supportarne il carico e trasferirlo al terreno. La guidovia può essere di vari tipi in base alla forma con la quale viene costruita, le forme principali sono quella ad "U", quella a "T" e infine quella a "I". I costi per la costruzione della guidovia sono molto elevati e corrispondono a circa il 60-80% del totale dei costi di investimento iniziali.¹⁶⁶ Nonostante i sistemi Maglev vengano spesso associati alla monorotaia, essi possono essere sia a monorotaia che a binario. Inoltre, la guidovia può essere costruita o al livello del suolo oppure sopraelevata attraverso travi singole in ferro o in cemento.¹⁶⁷ Per garantire la massima sicurezza dei sistemi è importante che non ci sia nessuna possibilità di intersezione con altre linee di trasporto di qualsiasi tipo ed è per questo che si preferisce optare per guidovie sopraelevate.¹⁶⁸

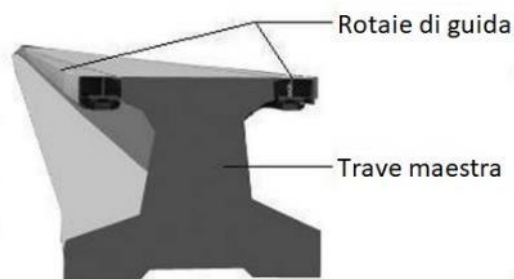


Illustrazione 30: Componenti di una guidovia in un sistema EMS

Dopo aver esaminato come si ottengono levitazione e propulsione, in questo paragrafo viene introdotto il terzo elemento fondante dei sistemi Maglev: la guida laterale. La guida laterale permette di mantenere il veicolo nella sua posizione di equilibrio al centro della guidovia attraverso un meccanismo che controlla con estrema precisione gli spostamenti laterali del veicolo. Anche questo elemento, come i due precedenti, si basa su forze magnetiche o di tipo repulsivo o di tipo attrattivo.¹⁶⁹

¹⁶⁶ Hamid YAGHOUBI, Nariman BARAZI, Mohammad Reza AOLIAEI, "Maglev", in Xavier Perpinya (a cura di), *Infrastructure Design, Signalling and Security in Railway*, InTech, 2012, pp. 130-133.

¹⁶⁷ INTILLA, *Sistemi di trasporto...*, cit., p. 37.

¹⁶⁸ YAGHOUBI, BARAZI, AOLIAEI, "Maglev", cit., p. 130.

¹⁶⁹ PRASAD, JAIN, GUPTA, "Electrical Components...", cit., p. 72.

Nei sistemi in cui la guida laterale è dovuta a forze magnetiche repulsive, le bobine di guida posizionate su entrambi i lati della guidovia sono connesse tra di loro in modo tale che se il veicolo mantiene la posizione di equilibrio prestabilita la forza elettromotrice indotta all'interno di queste corrisponde a zero. Nel caso in cui il treno si sposti lateralmente, invece, si avrà una determinata forza elettromotrice in grado di generare delle forze di tipo repulsivo verso il veicolo che in questo modo tornerà al centro della guidovia. Questo tipo di guida laterale può essere integrato o al sistema di levitazione, come nei treni giapponesi della serie MLX, oppure al sistema di propulsione come avviene per quelli della serie MLU.¹⁷⁰ Anche i veicoli Transrapid utilizzano questa tecnologia per la guida laterale mantenendo però levitazione e guida separate. Questo perché, l'integrazione di levitazione e guida ad elevate velocità porta ad un maggiore grado di interferenza che rende difficile il controllo simultaneo.¹⁷¹

Per quanto riguarda invece la guida con forze attrattive, si utilizza un sensore che monitora la distanza tra gli elettromagneti a bordo del veicolo e la guidovia. Nel momento in cui tale distanza risulta essere maggiore di quella prevista in condizione di equilibrio, si avranno delle forze magnetiche attrattive che porteranno ad un aumento della riluttanza del flusso elettromagnetico e allo stesso tempo ad una diminuzione dell'induttanza di quest'ultimo che spingerà il veicolo a tornare nella posizione di equilibrio.¹⁷² Ciò è dovuto al fatto che la corrente tende a scorrere verso i punti in cui la riluttanza magnetica è minore. Questa tecnologia prevede che levitazione e guida siano integrate tra loro e per le motivazioni esposte sopra risulta quindi maggiormente appropriata per i sistemi a velocità medio-basse.¹⁷³

Una volta esposte tutte le caratteristiche dei sistemi Maglev in termini di levitazione, propulsione e guida laterale vengono fornite qui di seguito le illustrazioni grafiche complete delle tre principali tipologie ad oggi o in funzione o in fase di sperimentazione: i sistemi EMS, EDS a superconduzione ed EDS con magneti permanenti (Inductrack).

¹⁷⁰ PRASAD, JAIN, GUPTA, "Electrical Components...", *cit.*, p. 73.

¹⁷¹ Lee HYUNG-WOO, Kim KI-CHAN, Lee JU, "Review of Maglev Train Technologies", *IEEE Transactions on magnetics*, 42, 7, 2006, p. 1918.

¹⁷² PRASAD, JAIN, GUPTA, "Electrical Components...", *cit.*, p. 73.

¹⁷³ HYUNG-WOO, KI-CHAN, JU, "Review of Maglev...", *cit.*, p. 1920.

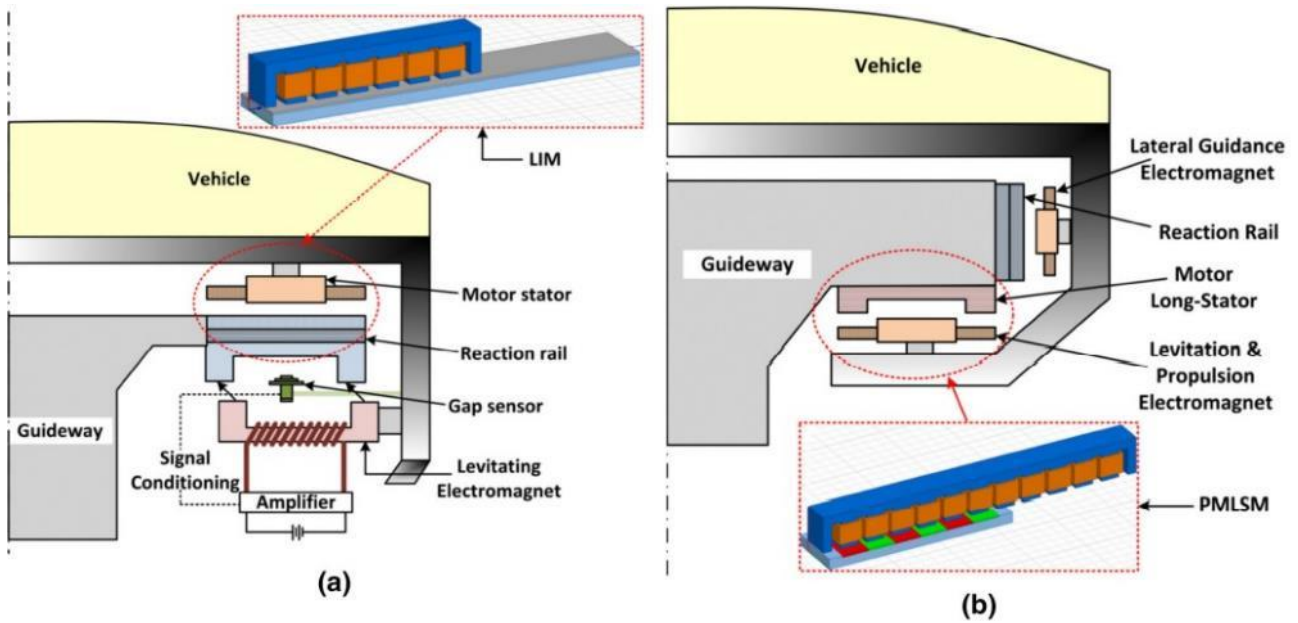


Illustrazione 31: Sistema EMS con levitazione e guida integrate (a) e con levitazione e guida separate (b)

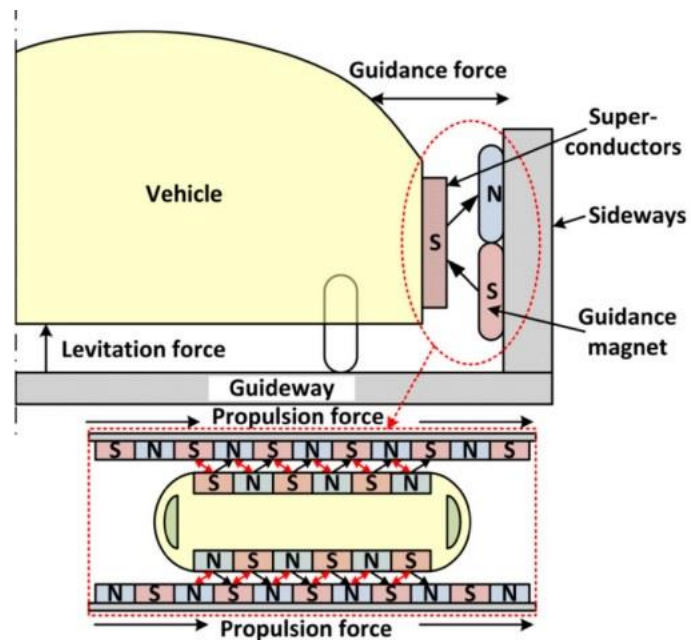


Illustrazione 32: Sistema EDS a superconduzione

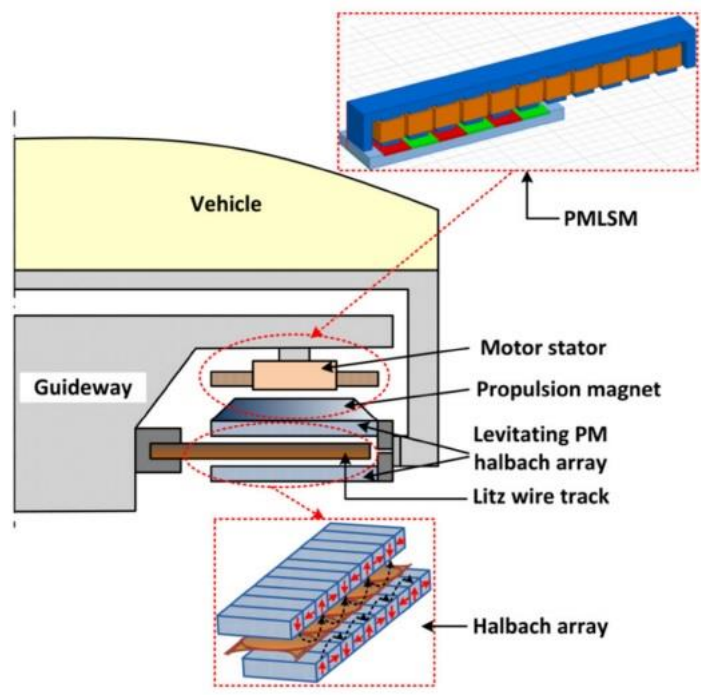


Illustrazione 33: Sistema EDS con magneti permanenti chiamato Inductrack

2.5 Il rifornimento di energia elettrica

Nonostante tutti i treni Maglev siano provvisti di batterie a bordo del veicolo, il rifornimento di energia dal suolo è cruciale non solo per poter ottenere levitazione, propulsione e guida ma anche per il funzionamento di tutti gli apparecchi elettronici a bordo.

Una grande distinzione dei diversi metodi adottati per il rifornimento di energia elettrica è quella tra i sistemi basati sul contatto meccanico e i sistemi senza contatto. Nei sistemi che prevedono contatto meccanico l'energia viene fornita per mezzo di vari strumenti, come ad esempio il pantografo che viene utilizzato anche nei sistemi ferroviari tradizionali. Il contatto meccanico diviene però un'opzione impraticabile nel caso di velocità superiori ai 300 km/h ed è per questo che viene utilizzato soltanto per linee Maglev a velocità media o bassa.¹⁷⁴ Per le linee ad alta velocità è necessario avere un sistema senza contatto. Quest'ultimo è composto principalmente da trasformatori e generatori lineari.¹⁷⁵ I due treni Maglev esistenti ad alta velocità, il Transrapid tedesco e quello a superconduzione giapponese, si basano proprio su questo tipo di rifornimento energetico ma presentano delle differenze a livello di processo.

Sulla linea Maglev di Shanghai, su cui viaggiano veicoli Transrapid, l'energia necessaria al sistema è fornita facendo scorrere corrente negli avvolgimenti dello statore fissati lungo la guidovia. Per prima cosa viene prelevata corrente alternata ad alta tensione dalla rete elettrica pubblica, in cui la potenza è di 110 KV. Tale corrente viene ridotta a 20 KV e poi a 1,5 KV attraverso un trasformatore riduttore e successivamente convertita in corrente continua per mezzo di un raddrizzatore. L'ultimo step prevede la riconversione in corrente alternata con una frequenza variabile tra 0 e 300 Hz. Tutte le apparecchiature necessarie, come raddrizzatori e trasformatori vengono installati sul terreno.¹⁷⁶ I generatori lineari nei treni Transrapid sono inglobati negli elettromagneti per la levitazione e acquistano energia dal campo elettromagnetico in movimento che viaggia insieme al veicolo.¹⁷⁷

Per quanto riguarda invece, l'alta velocità a superconduzione giapponese, e in particolare i treni della serie MLX si hanno un generatore a turbina a gas e due generatori lineari definiti rispettivamente “*concentration-type*” e “*distribution-type*”. Il primo tipo prevede avvolgimenti superconduttori e avvolgimenti del generatore separati e posti uno sopra l'altro solamente in testa e in coda al veicolo, mentre nel secondo tipo gli avvolgimenti del generatore si trovano davanti agli avvolgimenti superconduttori ed entrambi gli avvolgimenti sono distribuiti lungo tutto il veicolo. Il flusso di corrente continua creato dagli avvolgimenti superconduttori viene trasformato in corrente alternata attraverso un trasformatore lineare.¹⁷⁸

¹⁷⁴ PRASAD, JAIN, GUPTA, “Electrical Components...”, *cit.*, p. 73.

¹⁷⁵ Ibidem.

¹⁷⁶ *Maglev technology*, in “Shanghai Maglev Transportation Development Co.,Ltd.”, <http://www.smtdc.com/en/gycf3.html>.

¹⁷⁷ PRASAD, JAIN, GUPTA, “Electrical Components...”, *cit.*, p. 73.

¹⁷⁸ HYUNG-WOO, KI-CHAN, JU, “Review of Maglev...”, *cit.*, pp. 1920-1921.

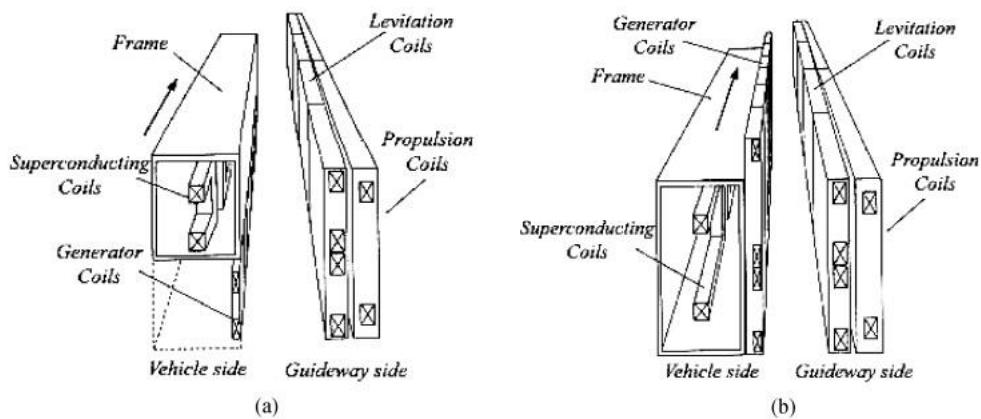


Illustrazione 34: Sistema Maglev con generatore “concentration-type” (a) e con generatore “distribution-type” (b)

Oltre agli strumenti già citati, quali ad esempio trasformatore, generatore e raddrizzatore, un altro elemento importante relativo all’elettronica dei sistemi Maglev è il chopper o frazionatore elettronico. Il chopper è un dispositivo di commutazione che permette di convertire in maniera diretta una corrente continua in ingresso in corrente continua con tensione variabile in uscita.¹⁷⁹

¹⁷⁹ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, Magnetic Levitation..., cit., p. 30.

2.6 Treni a levitazione magnetica e treni convenzionali a confronto: vantaggi e svantaggi

Per riuscire a comprendere quale ruolo potranno svolgere i sistemi Maglev nei prossimi anni nel settore dei trasporti ferroviari ed analizzare la loro concorrenzialità nel mercato è fondamentale tenere in considerazione quelli che sono i vantaggi e gli svantaggi dei sistemi in esame in relazione a quelli convenzionali ed in particolare a quelli convenzionali ad alta velocità. I sistemi tradizionali sono caratterizzati dal contatto tra ruota e rotaia mentre per essere definiti ad alta velocità, secondo la direttiva dell'Unione Europea 96/48/EC, devono raggiungere la velocità minima di 250 km/h nel caso di linee di nuova costruzione e i 200 km/h per le linee già esistenti.¹⁸⁰ Il confronto tra i due sistemi che verrà fornito qui di seguito si basa su diversi elementi, quali quelli tecnologici, prestazionali, ambientali ed economici, racchiusi in cinque categorie: confronto generale, confronto degli standard geometrici, confronto dei costi, del consumo energetico e infine confronto dell'impatto ambientale.

Confronto generale:

Uno dei fattori più rilevanti nella scelta di un mezzo di trasporto è naturalmente la durata del viaggio. In questi termini è possibile definire il primo e il più evidente dei vantaggi dei treni Maglev rispetto alle linee tradizionali: il raggiungimento di velocità molto elevate e la conseguente riduzione dei tempi necessari per gli spostamenti. I sistemi tradizionali si basano sul contatto meccanico tra ruota e rotaia, il quale porta ad avere alcune limitazioni tecniche che non rendono possibile l'aumento della velocità operativa una volta raggiunta una determinata soglia critica. Tali limiti non sussistono nei sistemi Maglev che con la tecnologia ad oggi a disposizione permettono di raggiungere i 600 km/h.¹⁸¹

Se la velocità rappresenta un punto a favore di enorme rilevanza per i sistemi Maglev, uno dei principali ostacoli allo sviluppo di questa tipologia di linee ferroviarie è la loro incompatibilità con le infrastrutture convenzionali e l'impossibilità di collegarsi alle linee già esistenti. Da questo punto di vista l'opzione migliore risulta ovviamente quella delle linee tradizionali ad alta velocità che sono perfettamente integrabili sia a livello di infrastruttura che di linee.¹⁸²

Per quanto riguarda invece sicurezza ed affidabilità, sia i sistemi Maglev che quelli tradizionali ad alta velocità non hanno mostrato nel tempo carenze in questi due ambiti. È chiaro che l'alta velocità viene monitorata da molti più anni, per un maggior numero di linee e in svariati Paesi del mondo mentre per i sistemi Maglev si hanno poche linee in tutto il mondo di cui solamente una ad alta velocità, la quale però

¹⁸⁰ Mehmet Nedim YAVUZ, Zübeyde ÖZTÜRK, "Comparison of conventional high speed railway, maglev and hyperloop transportation systems", *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 5, 01, 2021, p. 114.

¹⁸¹ Alessandro VINCI, Il treno più veloce del mondo presentato in Cina: è a levitazione magnetica e raggiunge i 600 km/h, in "Corriere della Sera", 2021, https://www.corriere.it/tecnologia/21_luglio_23/treno-piu-veloce-mondo-presentato-cina-levitazione-magnetica-raggiunge-600-kmh-84e2c782-eb16-11eb-872f-99e4306190c7.shtml.

¹⁸² Mehmet Nedim YAVUZ, Zübeyde ÖZTÜRK, "Comparison of conventional...", *cit.*, p. 117.

non ha registrato alcun tipo di incidente dalla messa in funzione. È quindi possibile affermare che entrambi i sistemi considerati risultano essere delle buone soluzioni di trasporto sia in termini di sicurezza ed affidabilità sia dal punto di vista del comfort dei passeggeri.¹⁸³

Infine, per concludere con il confronto generale, va segnalato un altro vantaggio delle linee Maglev ovvero la loro capacità di operare con qualsiasi tipo di condizione climatica.

Confronto degli standard geometrici:

La geometria del tracciato ferroviario influenza in maniera significativa le prestazioni di una linea ferroviaria e comprende generalmente fattori quali lo scartamento, la sopraelevazione, il raggio di curvatura e la pendenza percorribile. Tenendo in considerazione questi elementi i sistemi Maglev riescono a operare alla stessa velocità ma con un raggio di curvatura minore e a velocità maggiori con stesso raggio di curvatura rispetto ai treni convenzionali ad alta velocità.

Anche in relazione alla pendenza i treni Maglev risultano essere più vantaggiosi in quanto sono in grado di operare su linee con pendenze maggiori rispetto ai treni ad alta velocità.¹⁸⁴

L'ultimo fattore che favorisce i treni Maglev, relativo agli standard geometrici, è quello della sopraelevazione. La sopraelevazione ferroviaria corrisponde alla pendenza trasversale del binario prevista in curva e mentre per i sistemi convenzionali ad alta velocità il valore massimo è di 180 mm per quelli Maglev si arriva a 410 mm. Anche questo è un altro vantaggio dei treni Maglev in quanto consente di aumentarne la flessibilità di allineamento.¹⁸⁵

Confronto dei costi:

Un altro importante elemento per la valutazione dei diversi sistemi di trasporto sono i costi necessari per la costruzione, la manutenzione e la gestione. Ovviamente i costi per la costruzione sia delle linee tradizionali ad alta velocità che di quelle Maglev variano molto nei diversi Paesi e dipendono da svariati elementi quali ad esempio la tecnologia utilizzata, la velocità massima e la topografia del territorio. Nonostante ciò, è possibile affermare che i costi di costruzione delle linee Maglev sono molto più elevati rispetto a quelli dell'alta velocità convenzionale e questo è dovuto in gran parte al fatto che, data l'incompatibilità con le infrastrutture convenzionali, devono essere costruite partendo da zero.¹⁸⁶

¹⁸³ Ibidem.

¹⁸⁴ Ibidem.

¹⁸⁵ Ibidem.

¹⁸⁶ Mehmet Nedim YAVUZ, Zübeyde ÖZTÜRK, "Comparison of conventional...", *cit.*, p. 118.

Route	Transport Mode	Cost (billion \$)	Length (km)	Cost per km (million \$)
Tokyo-Osaka	HSR	0,92	570	1,6
Paris-Lyon	HSR	2,06	1000	2,06
Madrid-Barcelona	HSR	10,62	620	17,12
Beijing-Shanghai	HSR	35,80	1432	25
Shanghai	Maglev	1,58	30	52,67
Linimo	Maglev	0,92	8,8	104,77

Illustrazione 35: Confronto dei costi di costruzione di linee ad alta velocità e linee Maglev

Per contro, i costi di manutenzione delle linee Maglev risultano essere molto inferiori all'alta velocità, non avendo bisogno di sostituire periodicamente tutti quegli elementi interessati dal contatto meccanico ovvero ruote, cuscinetti, rotaie, etc.¹⁸⁷ Come è possibile vedere nell'illustrazione sottostante la linea Maglev di Shanghai ha ben il 66% in meno dei costi di manutenzione totali se paragonata all'alta velocità tedesca ICE.¹⁸⁸

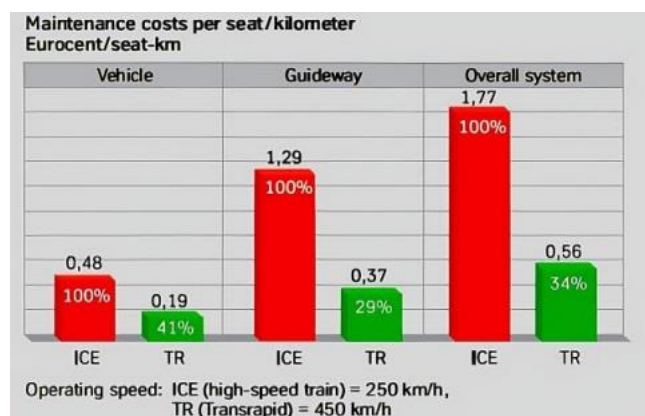


Illustrazione 36: Confronto dei costi di manutenzione dell'alta velocità tedesca (ICE) e della linea Maglev di Shanghai (Transrapid)

Nel caso della linea Maglev ad alta velocità di Shanghai, anche i costi di gestione diminuiscono in quanto si tratta di una linea completamente automatizzata e senza guidatore.¹⁸⁹

¹⁸⁷ LANZARA, D'OVIDIO, LI, DENG, ZHANG, "Disamina dei sistemi...", *cit.*, p. 580.

¹⁸⁸ Mehmet Nedim YAVUZ, Zübeyde ÖZTÜRK, "Comparison of conventional...", *cit.*, p. 119.

¹⁸⁹ Mehmet Nedim YAVUZ, Zübeyde ÖZTÜRK, "Comparison of conventional...", *cit.*, p. 118.

Confronto del consumo energetico:

Uno degli obiettivi primari delle nuove forme di trasporto è quella di consentire la riduzione del consumo energetico. Ciò risulta possibile diminuendo il peso dei veicoli, utilizzando tecniche di guida efficienti dal punto di vista energetico, abbassando la resistenza aerodinamica e optando per sistemi di frenata rigenerativa.¹⁹⁰ In quest'ottica i sistemi Maglev sono un'ottima soluzione e risultano avere grandi vantaggi rispetto all'alta velocità convenzionale. Le linee Maglev consumano in media il 20-30% in meno dell'energia necessaria per l'alta velocità standard, questo perché non prevedono alcun tipo di contatto con la guidovia, la propulsione è ottenuta per mezzo di motori lineari molto efficienti dal punto di vista energetico e godono di una resistenza aerodinamica inferiore.¹⁹¹

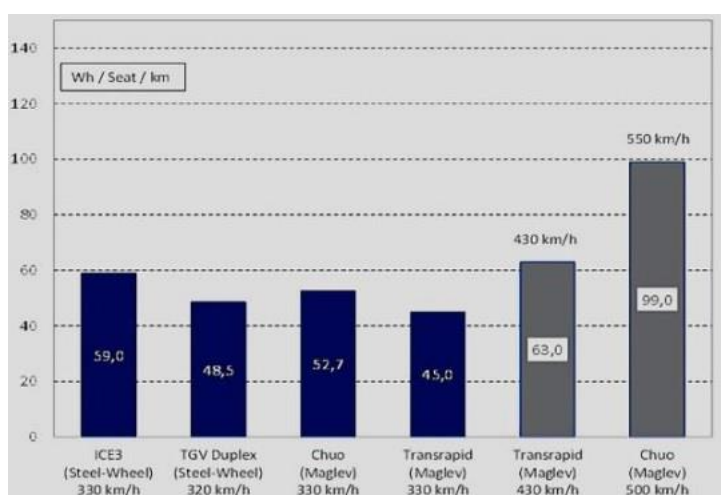


Illustrazione 37: Confronto consumo energetico alta velocità e Maglev

Confronto dell'impatto ambientale:

I trasporti sono essenziali per la società e per l'economia ma allo stesso tempo sono una delle principali fonti di inquinamento ambientale. È stato stimato che, all'interno dell'Unione Europea, il settore dei trasporti consuma un terzo dell'energia finale complessiva. Inoltre, mentre negli anni vari settori hanno ridotto l'inquinamento non si può dire lo stesso per quello dei trasporti che al contrario ha visto crescere l'impatto ambientale nel tempo.¹⁹² Le tipologie di trasporto con minore compatibilità ambientale sono sicuramente quelle terrestri, marittime e aeree, mentre le ferrovie rappresentano fin dall'inizio il mezzo dal minor impatto. Nonostante ciò, i sistemi Maglev consentono di fare un ulteriore passo avanti e di

¹⁹⁰ Mehmet Nedim YAVUZ, Zübeyde ÖZTÜRK, "Comparison of conventional...", *cit.*, p. 119.

¹⁹¹ Ibidem.

¹⁹² *Trasporti*, in "Agenzia europea dell'ambiente, 2020, <https://www.eea.europa.eu/it/themes/transport/intro>.

poter sviluppare una rete ferroviaria caratterizzata dalla riduzione dell'inquinamento sia in termini di utilizzo del suolo che di inquinamento acustico e delle vibrazioni.

Per quanto riguarda l'utilizzo del suolo, le linee Maglev hanno il grande vantaggio di essere sopraelevate e non al livello del suolo. Questo permette di ridurre notevolmente il terreno necessario per la loro costruzione e di limitarlo al solo spazio dei pilastri che sorreggono la guidovia. In questo modo tutto il terreno al di sotto della linea resta a disposizione e può essere utilizzato in molteplici modi.¹⁹³

Anche l'inquinamento acustico, problematico non solo per i passeggeri ma anche per le comunità che vivono nelle vicinanze delle linee ferroviarie, può essere limitato grazie ai sistemi Maglev. L'inquinamento acustico ferroviario deriva principalmente dal sistema di propulsione, dal contatto meccanico e della resistenza aerodinamica. Tenendo ciò in considerazione è evidente che i sistemi Maglev, non avendo contatto meccanico ed essendo caratterizzati da resistenza aerodinamica minore, producono un inquinamento acustico inferiore rispetto alle linee convenzionali.¹⁹⁴

Infine, sempre grazie all'assenza del contatto meccanico, anche in termini di vibrazioni le linee Maglev risultano meno impattanti sull'ambiente.¹⁹⁵

Una volta illustrati i pro e i contro di questo nuovo sistema di trasporto ferroviario occorre sottolineare un ultimo punto cruciale. Le due tecnologie Maglev che ad oggi vengono considerate affidabili e mature, quella EMS e quella EDS, presentano un limite sia tecnico che economico ed ambientale, ovvero la generazione di resistenze magnetiche al moto. Tali resistenze hanno un impatto negativo sui risultati prestazionali delle linee ed è per questo che è necessario continuare la ricerca e sviluppare nuove tecnologie in grado di superare le inefficienze in questione.¹⁹⁶

¹⁹³ Mehmet Nedim YAVUZ, Zübeyde ÖZTÜRK, "Comparison of conventional...", *cit.*, p. 119.

¹⁹⁴ *Ibidem*.

¹⁹⁵ *Ibidem*.

¹⁹⁶ LANZARA, D'OVIDIO, LI, DENG, ZHANG, "Disamina dei sistemi...", *cit.*, pp. 580-581.

CAPITOLO 3

La Repubblica Popolare Cinese e la prima linea commerciale Maglev ad alta velocità: lo Shanghai Transrapid

La linea Maglev di Shanghai è l'unica linea Maglev commerciale ad alta velocità in tutto il mondo e per questo ha una funzione di particolare rilievo non soltanto per la Repubblica Popolare Cinese ma anche per tecnologia sulla quale si basa.

L'intera linea è di proprietà ed è gestita dalla Shanghai Maglev Transportation Development Co., Ltd. (SMTD), società cinese fondata nell'agosto del 2000 con un capitale registrato di tre miliardi di RMB grazie agli investimenti comuni dei seguenti sette azionisti: Shanghai Shentong Holdings Co.,Ltd., Shenergy (Group) Co.,Ltd., Shanghai International Group Co.,Ltd., Shanghai Baosteel Group Co.,Ltd., Shanghai Automotive Industry (Group) Co.,Ltd., Shanghai Electric (Group) Co.,Ltd. e Shanghai Pudong Development (Group) Co.,Ltd.¹⁹⁷ Le operazioni di manutenzione e gestione operativa sono controllate direttamente dalla SMTDC mentre tutte le altre vengono affidate a ditte esterne attraverso contratti di subappalto.¹⁹⁸

I lavori per la costruzione della linea iniziarono nel marzo 2001 mentre il servizio al pubblico fu aperto l'1 gennaio 2004. Nei paragrafi successivi verranno illustrati nel dettaglio il processo di progettazione e costruzione e la tecnologia utilizzata.

La linea in questione collega la stazione della metro di Long Yang con l'aeroporto internazionale di Pudong. La stazione metro di Long Yang è una delle fermate della linea 2 della metro e permette di raggiungere il centro di Shanghai in 14 minuti. La linea Maglev svolge quindi la funzione di navetta tra l'aeroporto e il centro della metropoli. La linea è lunga in totale 30 km e oltre alle due fermate appena citate prevede due sottostazioni, un centro di controllo presso la stazione di Long Yang e un binario indipendente che conduce all'impianto di manutenzione. Entrambe le due stazioni e la struttura coperta atta alla manutenzione furono costruite da compagnie cinesi mentre sia i veicoli che la maggior parte di tutti i componenti della guidovia furono prodotti in Germania per poi essere trasportati a Shanghai.

I treni Transrapid SMT in servizio operano ad una velocità massima di 430 km/h e impiegano meno di 8 minuti per percorrere l'intera tratta. La velocità di accelerazione dei veicoli è molto elevata e permette di raggiungere i 350 km/h in soli 2 minuti mentre la velocità massima si ottiene dopo appena 4 minuti.¹⁹⁹ Il treno viaggia a 430 km/h solamente per 52 secondi, al termine dei quali inizia il processo di

¹⁹⁷ *Company profile*, in "Shanghai Maglev Transportation Development Co.,Ltd", <http://www.smtdc.com/en/gycf.html>.

¹⁹⁸ *Transrapid Maglev Shanghai*, in "The International Maglev board", <https://www.maglevboard.net/en/facts/26-transrapid-maglev-shanghai>.

¹⁹⁹ *Ibidem*.

decelerazione della durata di 3 minuti.²⁰⁰ Nonostante l'elevata velocità, il viaggio risulta estremamente confortevole per i passeggeri in quanto vibrazioni e rumori sono quasi inesistenti e senza l'aiuto di riferimenti esterni risulterebbe difficile perfino notare la partenza e il moto del veicolo.²⁰¹ I treni partono con intervalli di 15 minuti ed operano dalle 6.45 fino alle 21.30 per 7 giorni alla settimana. La manutenzione viene svolta regolarmente durante le ore notturne.

Per viaggiare sui treni Maglev si possono acquistare due tipologie diverse di biglietti, il biglietto standard e quello VIP. Entrambe le opzioni prevedono un biglietto singolo e uno di andata e ritorno valido per sette giorni. I prezzi per i biglietti standard sono rispettivamente di 50 RMB e 80 RMB mentre per quelli VIP di 100 RMB e 160 RMB. È prevista inoltre una tariffa agevolata a 40 RMB per i possessori di un biglietto aereo in partenza lo stesso giorno dell'utilizzo della linea Maglev.²⁰²

Dopo quasi vent'anni di operazioni, è possibile affermare che la linea in questione è una linea con un grado di sicurezza ed affidabilità decisamente elevato e soprattutto paragonabile a tutti gli effetti a quello delle linee ferroviarie ad alta velocità tradizionali. L'unico incidente ad oggi registrato sulla linea risale all'agosto 2006 quando in un veicolo che aveva appena lasciato la stazione dell'aeroporto in direzione di quella di Long Yang si verificò un piccolo incendio. Non ci furono feriti o danni e le indagini successive rivelarono che la causa dell'incidente era da attribuire ad un guasto elettrico.²⁰³



Illustrazione 38: Linea Maglev di Shanghai

Il 16 agosto 2007, presso il piano terra della stazione metropolitana di Long Yang, è stato inaugurato il museo denominato “Shanghai Maglev Transportation Science and Technology Museum”.²⁰⁴ L'obiettivo del museo è quello di promuovere la divulgazione scientifica su temi all'avanguardia e permettere ai visitatori di comprendere il funzionamento e i principi sulla quale la tecnologia ferroviaria Maglev si basa.

²⁰⁰ Kevin C. COATES, “Shanghai’s maglev project – levitating beyond transportation theory”, *Engineering world*, Aprile/Maggio, 2005, p. 28.

²⁰¹ Ibidem.

²⁰² *Train info.*, in “Shanghai Maglev Transportation Development Co.,Ltd”, <http://www.smtdc.com/en/jszl.html>.

²⁰³ *Transrapid Maglev Shanghai*, in “The International Maglev board”, <https://www.maglevboard.net/en/facts/26-transrapid-maglev-shanghai>.

²⁰⁴ *Museum information*, in “Shanghai Maglev Transportation Development Co.,Ltd”, <http://www.smtdc.com/en/xnlv5.html>.

I lavori iniziarono nel 2006, dopo due anni dall'apertura della linea, e coinvolsero un'area di 1.250 metri quadrati. Il percorso all'interno del museo è suddiviso in cinque diverse aree tematiche: la nascita della tecnologia Maglev, la linea Maglev di Shanghai, i vantaggi della tecnologia Maglev ed infine le prospettive e i possibili utilizzi futuri della tecnologia Maglev.²⁰⁵ I visitatori hanno quindi la possibilità di entrare a contatto con la tecnologia in questione partendo dal passato, per poi arrivare al presente e al futuro attraverso diverse installazioni multimediali, modelli e prototipi.

²⁰⁵ *Museum information*, in “Shanghai Maglev Trasportation Development Co.,Ltd”, <http://www.smtdc.com/en/xnlv5.html>.

3.1 La costruzione della linea e gli aspetti economici e prestazionali

Gli interessi cinesi nei confronti dei sistemi di trasporto Maglev affondano le proprie radici alla fine degli anni Novanta e vanno di pari passo con la necessità di trasformare il Paese in una nazione moderna nella quale sia i trasporti che le risorse energetiche avrebbero svolto un ruolo centrale. Era inevitabile, infatti, che la modernizzazione avrebbe portato ad un aumento esponenziale del consumo energetico e fu per questo che i leaders cinesi puntarono su un sistema ferroviario ad alta velocità elettrico e sulla tecnologia Maglev come colonne portanti del nuovo sistema di trasporto nazionale.²⁰⁶ Entrambe queste due soluzioni di trasporto risultavano, infatti, convenienti non soltanto dal punto di vista dei tempi di percorrenza e della capacità di passeggeri ma anche sul piano dell'efficienza energetica.

Per quanto riguarda la tecnologia Maglev, la dirigenza cinese optò per la costruzione di una linea Maglev dimostrativa basata totalmente sul sistema tedesco Transrapid con l'obiettivo di permettere ai propri ingegneri di accumulare esperienza e dati direttamente sul campo.²⁰⁷

Nel maggio 1998 il governo tedesco aveva già investito circa due miliardi di dollari nello sviluppo della tecnologia Maglev e il consorzio tedesco Transrapid International AG (TRI) si preparava alla costruzione della prima linea Maglev commerciale che avrebbe collegato Berlino ad Amburgo. Nel 2000 però, a seguito di alcuni cambiamenti politici, la costruzione della linea in programma ormai da anni venne cancellata. Nello stesso anno il primo ministro cinese Zhu Rongji, molto interessato a questa nuova tecnologia, predispose che un gruppo di ingegneri cinesi conducessero una due diligence presso il centro di prova Maglev di Emsland in Germania. A seguito di ciò, il TRI ottenne il suo primo contratto per la costruzione di una linea Maglev ad alta velocità a Shanghai.²⁰⁸

Il piano di costruzione stilato dal lato cinese era davvero ambizioso, sia in termini tecnologici che temporali, ma le aziende tedesche coinvolte risposero da subito in maniera positiva e il progetto procedette secondo le tempistiche previste. Il progetto Shanghai Maglev è quindi un ottimo esempio di cooperazione internazionale in ambito ingegneristico. Alla sua realizzazione hanno lavorato diverse società quali: la SMTDC di Shanghai, la TRI di Berlino, la CDM Consult AG di Bochum (società sussidiaria della CDM Consult con sede a Cambridge in Massachusetts), la Max Bögl di Neumarkt, la Siemens AG di Monaco e la ThyssenKrupp AG di Düsseldorf.²⁰⁹

I team di ingegneri cinesi selezionati per il progetto vennero divisi in due gruppi, una parte lavorò in Germania a stretto contatto con le aziende tedesche mentre gli altri rimasero in territorio cinese e si occuparono della scelta del tracciato migliore per collegare l'aeroporto internazionale di Pudong con la metropoli. La stazione di Long Yang venne scelta sia in considerazione della sua posizione, a sud-est della

²⁰⁶ COATES, "Shanghai's maglev project...", *cit.*, p. 28.

²⁰⁷ COATES, "Shanghai's maglev project...", *cit.*, p. 29.

²⁰⁸ Ibidem.

²⁰⁹ COATES, "Shanghai's maglev project...", *cit.*, p. 26.

metropoli, sia perché risultò l'opzione con il minor numero di ostacoli da superare durante la costruzione della linea. Altro grande punto a favore era la riduzione sostanziale dei tempi necessari per arrivare da Long Yang all'aeroporto e viceversa che sarebbero passati da 45 minuti di taxi a meno di 8 minuti con il treno Maglev. Fino a quel momento, infatti, la rete stradale era l'unico collegamento esistente tra l'aeroporto e il centro, e risultava essere un'opzione sempre meno efficiente a causa della congestione e dell'elevata incompatibilità ambientale.²¹⁰

Nel 2001, mentre a Shanghai si procedeva con l'inizio della costruzione della linea, in Germania la ThyssenKrupp era impegnata a trasformare la propria struttura, fino ad allora utilizzata solo per lo sviluppo del prototipo del Transrapid 08, in un vero e proprio centro di produzione di massa di veicoli Transrapid.²¹¹ A termine di tale processo di conversione l'azienda fu in grado di produrre una carrozza al mese. Queste ultime, una volta completate venivano trasportate fino al centro di manutenzione di Shanghai per l'assemblaggio finale.

L'inaugurazione istituzionale della linea si tenne il 31 dicembre 2002, a pochi giorni dalla fine del mandato del primo ministro in carica, e furono proprio il primo ministro cinese e il cancelliere tedesco Gerhard Schröder a viaggiare sulla prima corsa.²¹²

L'apertura al pubblico della linea, invece, avvenne in via parziale all'inizio del 2003 con un numero limitato di corse programmate solamente durante il fine settimana. Fu poi nel gennaio 2004 che la linea entrò in funzione a tutti gli effetti operando dalle 8 alle 17.30.²¹³ Ad ottobre 2007 l'orario di servizio fu esteso, in modo tale da coincidere con quello della linea 2 della metro, e la tratta divenne operativa dalle 6.45 alle 21.30.²¹⁴

²¹⁰ Ibidem.

²¹¹ COATES, "Shanghai's maglev project...", *cit.*, p. 32.

²¹² COATES, "Shanghai's maglev project...", *cit.*, p. 29.

²¹³ COATES, "Shanghai's maglev project...", *cit.*, p. 26.

²¹⁴ *Transrapid Maglev Shanghai*, in "The International Maglev board", <https://www.maglevboard.net/en/facts/26-transrapid-maglev-shanghai>.

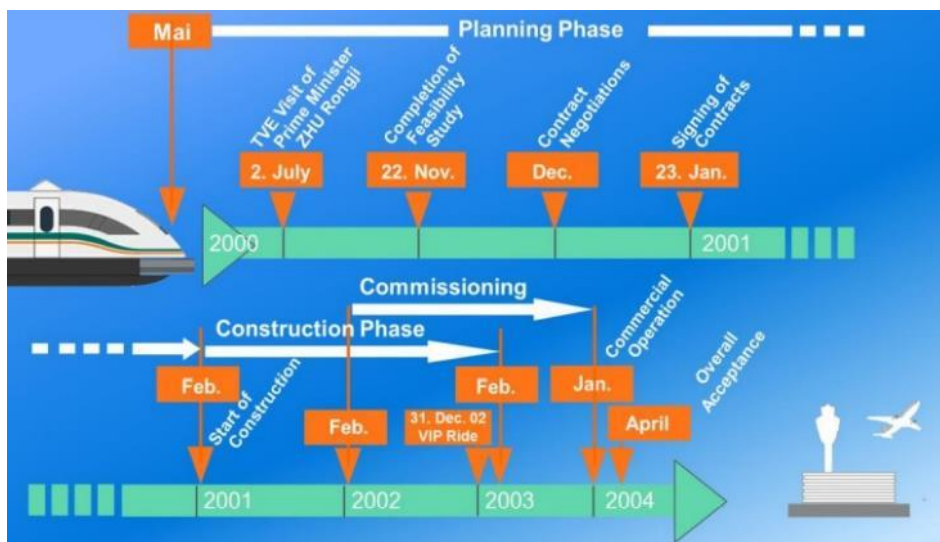


Illustrazione 39: Timeline del progetto Maglev di Shanghai

Secondo i dati rilasciati all'apertura della linea, la forza lavoro necessaria era molto limitata e, oltre al personale del centro di controllo, prevedeva solamente un team di 10 persone addette alla guidovia e di altre 20 che si occupavano della manutenzione dei veicoli.²¹⁵ Il costo del personale rappresentava solo un terzo dei costi operativi totali.²¹⁶ Questa fu un'ulteriore dimostrazione dell'elevato livello tecnologico raggiunto dal sistema il quale è fondato quasi totalmente su meccanismi operativi e di controllo computerizzati.

Il costo totale di tutto il progetto fu di più di un miliardo di dollari incluso di: costi di costruzione della guidovia, 15 carrozze, le sottostazioni, i 3 km di guidovia per la manutenzione, la struttura per la manutenzione stessa, gli scambi pieghevoli in ferro, l'attrezzatura ausiliaria e tutti gli interessi della fase di costruzione.²¹⁷ Le cause degli alti costi di investimento furono principalmente le seguenti: la necessità di rispettare dei tempi di costruzione molto serrati, l'importazione dalla Germania di tutti i componenti primari, la formazione degli ingegneri cinesi e la costruzione della guidovia totalmente sopraelevata in un'area metropolitana con una moderata attività sismica e condizioni del suolo precarie.²¹⁸ Dividendo il costo totale per i 30 km della linea si ottiene il costo medio per chilometro che equivale a quasi quaranta milioni di dollari. Il project manager, Wu Xiangming, paragonò tale costo con quello di altre linee ferroviarie con tecnologia tradizionale sia in territorio cinese che all'estero, come ad esempio la linea che collega Seoul a Pusan o quella tra Francoforte e Colonia, ed appurò come la linea Maglev avesse in realtà un costo per chilometro inferiore a tutte.²¹⁹ Per dimostrare ulteriormente che nonostante l'ingente somma

²¹⁵ COATES, "Shanghai's maglev project...", *cit.*, p. 26.

²¹⁶ *Transrapid Maglev Shanghai*, in "The International Maglev board", <https://www.maglevboard.net/en/facts/26-transrapid-maglev-shanghai>.

²¹⁷ COATES, "Shanghai's maglev project...", *cit.*, p. 33.

²¹⁸ Transrapid International-USA, Inc., "Shanghai Maglev Project Update", 2007, pp. 1-2.

²¹⁹ COATES, "Shanghai's maglev project...", *cit.*, p. 33.

di denaro investita il progetto fosse comunque sostenibile dal punto di vista economico, all'apertura della linea, il project manager affermò inoltre che i costi operativi sarebbero stati coperti con appena 7000 passeggeri giornalieri, numero di gran lunga inferiore alle previsioni.²²⁰ Tali numeri risultarono davvero sorprendenti, soprattutto considerando che pochissimi sistemi di trasporto al mondo riescono a sopravvivere senza sussidi governativi nonostante volumi giornalieri in termini di passeggeri ben superiori ai 7000.

Ad ottobre 2007 il numero di passeggeri giornalieri superò i 20.000 e secondo quanto dichiarato dalla SMTDC nello stesso anno, il 19% dello staff si occupava di amministrazione, della gestione operativa e dei servizi di supporto mentre il restante 81% era responsabile della manutenzione e di tutte le attività ad essa correlate.²²¹

Nel 2014, dopo 10 anni di servizio al pubblico ininterrotto, il numero di passeggeri trasportati raggiunse la quota di 40 milioni mentre 12 milioni erano i chilometri totali percorsi.²²² Inoltre, il sistema era stato in grado di mantenere attivo il servizio con qualsiasi condizione climatica, anche estrema. Proprio in occasione dei 10 anni dall'apertura, venne reso pubblico anche il tasso di puntualità che corrispondeva a ben il 99,93%.²²³ Tutti questi dati mostravano il ruolo significativo svolto dalla linea all'interno della rete del trasporto pubblico della metropoli di Shanghai nonostante fosse stata progettata come linea dimostrativa.

²²⁰ COATES, "Shanghai's maglev project...", *cit.*, p. 32.

²²¹ *Transrapid Maglev Shanghai*, in "The International Maglev board", <https://www.maglevboard.net/en/facts/26-transrapid-maglev-shanghai>.

²²² HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, *cit.*, p. 172.

²²³ *Ibidem*.

3.2 La tecnologia utilizzata

I Transrapid SMT in servizio presso la linea Maglev di Shanghai sono i sistemi a levitazione elettromagnetica più avanzati al mondo. Appartenendo alla tecnologia EMS, questi ultimi sono caratterizzati dall'utilizzo di elettromagneti sia per la levitazione che per la guida mentre per la propulsione si affidano a motori lineari sincroni a statore lungo il che gli permette di arrivare a velocità di 500 km/h.²²⁴ Indipendentemente dalla velocità e dal carico il sistema di controllo mantiene il traferro al valore di 10 mm con una tolleranza di circa 2 mm.²²⁵

Per quanto riguarda la levitazione, gli elettromagneti, montati su entrambi i lati del veicolo e per tutta la sua lunghezza, vengono controllati elettronicamente e sono responsabili del sollevamento di quest'ultimo dalla guidovia sottostante. L'energia necessaria per la levitazione viene fornita da fonti di energia a bordo del veicolo stesso, come batterie e generatori lineari, ed è addirittura minore di quella richiesta per il funzionamento del sistema di aria condizionata.²²⁶

Gli elettromagneti di guida sono posizionati allo stesso modo di quelli di levitazione e mantengono il veicolo in posizione di equilibrio lungo la guidovia.²²⁷

Passando alla propulsione, il LSM a statore lungo provvede sia alla propulsione che alla frenata. La corrente alternata che scorre all'interno degli avvolgimenti del motore genera un campo magnetico in movimento che fa muovere il veicolo senza bisogno di contatto meccanico. Gli elettromagneti di levitazione a bordo svolgono la funzione di rotore. Una caratteristica fondamentale del sistema di propulsione dei Transrapid consiste nella segmentazione di quest'ultimo in diverse sezioni. In questo modo è possibile fornire energia solamente alla sezione in cui si trova il treno e interromperla nelle altre diminuendo in maniera significativa il consumo energetico.²²⁸

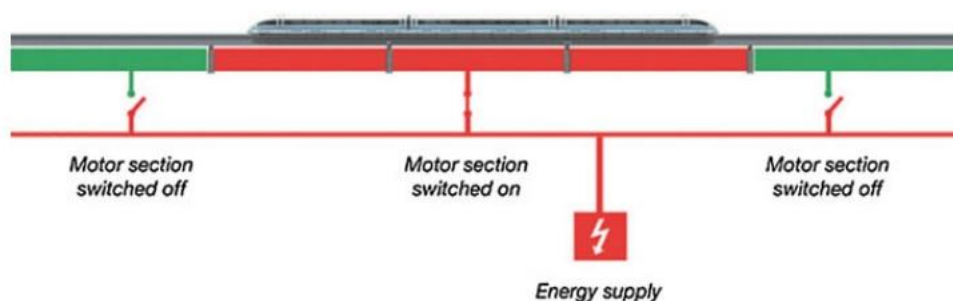


Illustrazione 40: Sistema di propulsione Transrapid diviso in sezioni

²²⁴ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., p. 168.

²²⁵ COATES, "Shanghai's maglev project...", cit., p. 29.

²²⁶ Ibidem.

²²⁷ Ibidem.

²²⁸ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., p. 169.

La velocità dei veicoli viene regolata semplicemente modificando la frequenza della corrente alternata mentre per la frenata si inverte la direzione del campo magnetico trasformando il motore in un generatore. L'energia scaturita per la frenata viene poi immessa nuovamente nella rete elettrica e riutilizzata conferendo al sistema un altro elemento a favore della propria efficienza energetica.²²⁹

La guidovia prevede due binari, uno per senso di marcia, è totalmente sopraelevata ed è composta da travi di cemento lunghe fino a 62 m.²³⁰ Il passaggio da un binario all'altro avviene attraverso travi in ferro pieghevoli lunghe dai 78 m ai 148 m. Dal momento che tutti i 30 km di guidovia sono sopraelevati, non vi sono punti di incrocio con altri mezzi di trasporto e non si ha nessun tipo di interferenza con la rete stradale. Ciò consente un livello di sicurezza e di affidabilità in termini di puntualità molto elevati. Inoltre, nell'area sottostante la guidovia si sviluppa non soltanto il sistema stradale ma si trovano anche attività commerciali di svariata natura.²³¹ Il territorio sulla quale è stata costruita la linea è caratterizzato da attività sismica periodica e da un suolo fragile di natura alluvionale, per questo motivo la struttura della guidovia è stata studiata appositamente per sopperire alle sfide geotecniche emerse. In particolare, furono valutate tre diverse tipologie di travi maestre: travi in cemento, in ferro e ibride. Queste ultime sono travi a forma di "T" in cemento armato bullonate con cantilevers²³² in ferro, lunghe 62 m e alte 2 m. Furono proprio le travi ibride ad essere selezionate dagli ingegneri in quanto caratterizzate sia dai vantaggi del cemento, quali rigidità, assorbimento dei rumori e basso costo, sia dall'elevata precisione nella produzione tipica delle travi in ferro. Inoltre, per aumentare ulteriormente la rigidità delle travi venne cambiata la forma da "T" ad "I".²³³ Altro punto a favore delle travi ibride era quello di poter passare velocemente e in maniera economicamente sostenibile alla fase della produzione di massa. L'azienda incaricata della produzione fu la Max Bögl e quando venne firmato il contratto con la SMTDC nel gennaio 2001 non esisteva nessun'altra azienda al mondo in grado di produrre travi ibride con le caratteristiche descritte sopra. Una volta prodotte ingegneri tedeschi e cinesi procedettero con l'installazione di ben 2.777 travi sia dritte che curve in meno di 18 mesi.²³⁴

In merito al rifornimento di energia, è necessario distinguere le due diverse modalità adottate in relazione alla velocità del veicolo. Fino alla velocità di 80 km/h l'energia viene fornita attraverso il contatto meccanico mentre al di sopra di tale velocità si passa al rifornimento privo di contatto garantito per mezzo di generatori lineari. Inoltre, una serie di batterie è installata a bordo del veicolo in modo tale da fornire l'energia necessaria per la levitazione in caso di guasti al sistema di fornitura energetica.²³⁵ A tal proposito, è importante sottolineare che il sistema Transrapid di Shanghai è progettato in modo tale che

²²⁹ Ibidem.

²³⁰ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, cit., p. 170.

²³¹ COATES, "Shanghai's maglev project...", cit., p. 26.

²³² Nelle costruzioni civili, trave con parti sporgenti a mensola.

²³³ COATES, "Shanghai's maglev project...", cit., pp. 30-31.

²³⁴ COATES, "Shanghai's maglev project...", cit., p. 32.

²³⁵ COATES, "Shanghai's maglev project...", cit., p. 30.

qualsiasi tipo di guasto relativo al veicolo, alla propulsione o al controllo operativo permetta la continuità del servizio per un periodo di tempo predefinito.²³⁶

Sempre in relazione a guasti e malfunzionamenti, un altro importante elemento è il sistema intelligente di diagnosi in grado di identificare con estrema precisione la tipologia e la posizione del guasto in modo tale da ridurre drasticamente i tempi per la manutenzione. La maggior parte delle attività di manutenzione giornaliera del veicolo e la sostituzione di componenti difettose avviene, infatti, in un arco temporale che non supera l'ora.²³⁷ La manutenzione viene svolta all'interno dell'apposita struttura, raggiunta dai veicoli attraverso uno scambio che conduce ad un binario morto della lunghezza di 3 km.²³⁸ Il programma di manutenzione elaborato per i veicoli Transrapid della linea in questione è estremamente complesso e prevede in tutto 400 misure pianificate e 60 non pianificate.²³⁹ Nel caso di malfunzionamenti inaspettati, non contenuti nel programma, si avvia un processo di collaborazione tra la parte cinese proprietaria della linea e quella tedesca produttrice dei veicoli la quale fornisce supporto a lungo termine conducendo ispezioni annuali della linea.²⁴⁰ L'esperienza di questi anni di servizio ha dimostrato che il programma di manutenzione iniziale è tutt'ora valido e sufficiente a garantire la sicurezza e l'affidabilità dell'intero sistema.

L'ultimo elemento chiave relativo alla tecnologia Transrapid è il sistema che ne controlla le operazioni. Tale sistema garantisce la sicurezza attraverso il monitoraggio costante della posizione del veicolo, della velocità e di tutte le altre funzioni operative. Infine, la comunicazione tra il centro di controllo e il veicolo avviene attraverso una trasmissione radio.²⁴¹

²³⁶ R. RAMPPELMANN, R. KÖHLER, "Service Experiences Maglev Vehicles Shanghai", *Transportation Systems and Technology*, 4, 3, 2018, p. 67.

²³⁷ *Ibidem*.

²³⁸ COATES, "Shanghai's maglev project...", *cit.*, p. 33.

²³⁹ RAMPPELMANN, KÖHLER, "Service Experiences...", *cit.*, p. 70.

²⁴⁰ *Ibidem*.

²⁴¹ HYUNG-SUK, DONG-SUNG, *Magnetic Levitation...*, *cit.*, p. 171.

SEZIONE II

SCHEDE TERMINOGRAFICHE

<Subject>Earth Science/Scienze della terra

<Subfield>Inorganic gases/Gas inorganici

<it>azoto liquido

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:575

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Azoto ottenuto in forma liquida a pressione atmosferica alla temperatura di -195° C.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>I superconduttori sono raffreddati con azoto liquido (77 K) al posto del meno efficiente ^elio liquido^ (4 K) che invece è utilizzato nella tecnologia ^EDS^; il tutto con significativi vantaggi sia di semplicità dei sistemi criogenici che di riduzione dei costi.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:575

<Concept field>Azoto

<Related words>Azoto

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “azoto liquido” e “液氮” esiste piena identità concettuale.

<zh>液氮

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王/王 2015^:2

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>在标准大气压下，氮气冷却至-195.8℃，变成无色的液体。

<Source>^汉典^

<Context>与^低温超导体^比较, ^高温超导体^具有较高的^临界温度^、临界电流密度和临界^磁场^, 工作在液氮温区可以大大降低制造和运行成本, 节能环保, 应用前景十分广阔。

<Source>^王/王 2015^:2

<Concept field>氮

<Related words>氮

<Type of relation>super.

**

<Subject>Applied physics/Fisica applicata

<Subfield>Generation, modification, accumulation, transmission of electricity/Generazione, modificazione, accumulazione, trasmissione dell'energia elettrica

<it>accumulatore

<Morphosyntax>f.

<Source>^Intilla 2015^:57

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Apparecchio che serve ad accumulare energia e a renderla disponibile per l'utilizzazione. Si tratta sostanzialmente di una cella elettrolitica, i cui elettrodi con l'elettrolito sono tali da dare luogo, al passaggio della corrente di carica, a reazioni secondarie tra i prodotti dell'elettrolisi e gli elettrodi, la cui natura viene modificata; l'energica polarizzazione elettrolitica causata da tali modificazioni si manifesta in una forza elettromotrice, in virtù della quale la cella diviene atta a erogare correnti all'esterno, diviene cioè una pila. Durante la scarica, la corrente, che scorre nella cella in verso opposto a quello in cui scorre durante la carica, provoca reazioni opposte a quelle verificatesi durante la carica, per cui si ripristina la primitiva natura degli elettrodi: terminato il processo di scarica, l'apparecchio è pronto per subire una nuova carica.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Context>La batteria a volano o FES in inglese, cioè Flywheel Energy Storage, è un dispositivo elettromeccanico atto all'immagazzinamento di energia sotto forma di energia cinetica rotazionale. L'idea di base è accumulare energia ponendo in rapida rotazione un volano, realizzando perciò una batteria inerziale. Quest'idea è molto interessante poiché si possono accumulare grandi quantità di energia in un oggetto “piccolo”, rispetto ad altri tipi di accumulatore (come ad esempio le celle elettrochimiche).

<Source>^Intilla 2015^:57

<Concept field>Modificazione e accumulazione di energia elettrica

<Equivalence it-zh>Tra i termini “accumulatore” e “蓄电池” esiste piena identità concettuale.

<zh>蓄电池

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王 2015^:77

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>一种具有两极及电解质，可将电能转为化学能储存起来的装置。用电时，经化学变化放出电能后，可沿著与放电方向相反的电流，使之充电而再度使用，与一般电池原理不同，为供应直流电的重要装置，用途甚广。

<Source>^汉典^

<Context>但是，即使车辆本身不需要外部电力提供牵引力和悬浮力，车辆内部的照明、空调、压缩机、车辆支撑系统等还需要提供必要的电力维持运行，这时可以采取蓄电池和无接触发电的供电方式。

<Source>^王 2015^:77

<Concept field>电能的转换和储存

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Applied physics/Fisica applicata

<it>avvolgimento

<Morphosyntax>m.

<Source>^Intilla 2015^:17

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>In elettrotecnica, complesso di conduttori isolati (generalmente di rame) che si avvolgono intorno a nuclei ferromagnetici di macchine e apparecchi elettrici e sono sedi di correnti magnetizzanti (avvolgimenti induttori) o indotte (avvolgimenti indotti); gli avvolgimenti sono in genere suddivisi in bobine, ognuna formata da un solo conduttore avvolto in più spire.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Benché normalmente nei motori asincroni l'avvolgimento induttore si trovi sullo statore e l'indotto sul rotore, il motore lineare ad induzione funziona anche se si scambiano le funzioni dei due avvolgimenti.

<Source>^Intilla 2015^:17

<Concept field>Generazione, modificazione, accumulazione, trasmissione dell'energia elettrica

<Equivalence it-zh>Tra i termini “avvolgimento” e “绕组” esiste piena identità concettuale.

<zh>绕组

<Morphosyntax>noun

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>电机或电器中用漆包线等绕成的许多线圈的组合。

<Source>^汉典^

<Context>永磁电动^磁悬浮^采用长定子直线电机驱动, ^定子^沿轨道连续分布, ^转子^采用车载推进^永磁体^(驱动 Halbach 阵列) 安装在车体中央,推力由轨道上定子绕组(驱动绕组)的高频交流电流产生。

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Concept field>电能的生产, 转换, 储存, 传输

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Applied physics/Fisica applicata

<it>bobina

<Morphosyntax>f.

<Source>^Intilla 2015^:28

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition 1>Complesso di spire di un filo, cucirino o no, avvolto ordinatamente sopra un supporto (costituito generalmente da un tubetto) in forme che variano, secondo gli scopi, da quella cilindrica a quella troncoconica semplice o doppia.

<Definition 2>In elettrotecnica, genericamente, rotolo di filo conduttore, avvolto o no su un supporto.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>I magneti superconduttori, sono installati nei carrelli dei treni e le guide contengono due serie di bobine metalliche.

<Source>^Intilla 2015^:28

<Concept field>Generazione, modificazione, accumulazione, trasmissione dell'energia elettrica

<Related words>^avvolgimento^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “bobina” e “线圈” esiste piena identità concettuale.

<zh>线圈

<Morphosyntax>noun

<Source>^熊/邓 2021^:180

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition 1>一串圆环或一条螺线(如由柔软的线或薄片做的)。

<Definition 2>绝缘金属线绕在卷轴上或其他结构上形成的螺线或蜷线,通常用以产生电磁效应或提供电阻。

<Definition 3>以具有绝缘外层的导线,绕成螺管状的零件。当电流通过时即产生磁场,可应用于马达、发电机、变压器、发报机的电路。

<Source>^汉典^

<Context>^低温超导^电动^磁悬浮^技术基于动生电动势原理,依靠车载^磁体^与轨道线圈之间的^磁斥力^平衡重力使车体悬浮。

<Source>^熊/邓 2021^:180

<Concept field>电能的生产,转换,储存,传输

<Related words>^绕组^

<Type of relation>general

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>campo magnetico

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:558

<Lexica>Attestato in ^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Definition>Campo determinato da correnti elettriche o da sostanze magnetizzabili.

<Source>^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Context>Per quanto riguarda le applicazioni trasportistiche, il funzionamento dei sistemi Maglev si basa su forze che nascono dall'interazione di campi magnetici tra veicolo e binario.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:558

<Concept field>Geomagnetismo e fenomeni connessi

<Related words>magnetismo

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “campo magnetico” e “磁场” esiste piena identità concettuale.

<zh>磁场

<Morphosyntax>noun group

<Source>^熊/邓 2021^:181

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>受到^磁性^影响的区域，显示穿越该区域的电荷或置于该区域中的^磁极^会受到机械力的作用。

<Source>^汉典^

<Context>^常导电磁悬浮^利用车辆和^轨道^间^磁场^的吸引力悬浮, 其技术特点如下。

<Source>^熊/邓 2021^:181

<Concept field>地磁及相关现象

<Related words>磁性

<Type of relation>general

**

<Subject>Applied physics/Fisica applicata

<Subfield>Generation, modification, accumulation, transmission of electricity/Generazione, modificazione, accumulazione, trasmissione dell'energia elettrica

<it>convertitore

<Morphosyntax>m.

<Source>^Carotti 2003^:40

<Lexica>Attestato in ^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Definition>In chimica, in fisica e in elettronica, apparecchio o dispositivo con cui si attuano reazioni di conversione o trasformazioni di composti: convertitore termoelettrico, di frequenza, di corrente alternata in continua.

<Source>^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Context>Per permettere al mezzo di accelerare facilmente dal punto di arresto fino alla massima velocità, la forza del sistema di propulsione può essere regolata, con l'aiuto di convertitori, variando la resistenza e la frequenza della corrente alternata.

<Source>^Carotti 2003^:40

<Concept field>Generatori e convertitori

<Equivalence it-zh>Tra i termini “convertitore” e “变流器” esiste piena identità concettuale.

<it>converter

<Morphosyntax>noun

<Usage label>common

<Origin>loan word

<Source>^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<zh>变流器

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王 2015^:76

<Lexica>按 ^辞海之家^

<Definition>一种变压器。主要功能在调节电流流量的大小，将不能直接通入电流计、电压计的大电流，依比例变小，并加以测量。将直流电转成交流电或交流电转成直流电的设施。

<Source>^辞海之家^

<Context>供电设备的核心部件就是变流器，变流器可以将电力公司提供的高压电转换为列车运行所需的电压等级，一般转化方式采用“交流一直流一交流”的模式进行，通过控制电流的大小来实现对直线电机的操控。

<Source>^王 2015^:76

<Concept field>发电机和变流器

**

<Subject>Applied physics/Fisica applicata

<Subfield>Electrotechnical engineering; lighting; superconductivity; magnetic engineering; applied optics; parafotoc technology; electronics; communications engineering; processors/Ingegneria elettrotecnica; illuminazione; superconduttività; ingegneria magnetica; ottica applicata; tecnologia parafotica; elettronica; ingegneria delle comunicazioni; elaboratori

<it>corrente alternata

<Morphosyntax>noun group, f.

<Usage label>main term

<Source>^Carotti 2003^:40

<Lexica>Attestato in ^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Definition>In un circuito, corrente la cui intensità è una funzione sinusoidale del tempo.

<Source>^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Context>Per permettere al mezzo di accelerare facilmente dal punto di arresto fino alla massima velocità, la forza del sistema di propulsione può essere regolata, con l'aiuto di convertitori, variando la resistenza e la frequenza della corrente alternata.

<Source>^Carotti 2003^:40

<Concept field>Generazione, modificazione, accumulazione, trasmissione dell'energia elettrica

<Related words>^corrente elettrica^

<Type of relation>super.

<Related words>^corrente continua^

<Type of relation>ant.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “corrente alternata” e “交流电” esiste piena identità concettuale.

<it>c.a.

<Morphosyntax>noun group, f.

<Category>abbreviation

<Usage label>common

<Source>^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Variant of>corrente alternata

<it>AC

<Morphosyntax>noun group

<Category>initials

<Usage label>common

<Origin>loan word

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Variant of>alternating current

<zh>交流电

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>main term

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Lexica>按^千篇 2021^

<Definition>方向和强度作周期性变化的电流。这种电流的优点是可以用电容器来改变电压。现在工业上和日常生活用的交流电，其变化频率为每秒五十次。

<Source>^千篇 2021^

<Context>永磁电动磁悬浮采用长定子直线电机驱动, ^定子^沿轨道连续分布, ^转子^采用车载推进^永磁体^(驱动 Halbach 阵列)安装在车体中央,推力由轨道上定子^绕组^(驱动绕组)的高频交流电流产生。

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Concept field>电能的生产, 转换, 储存, 传输

<Related words>电流

<Type of relation>super.

<Related words>^直流电^

<Type of relation>ant.

**

<Subject>Applied physics/Fisica applicata

<Subfield>Generation, modification, accumulation, transmission of electricity/Generazione, modificazione, accumulazione, trasmissione dell'energia elettrica

<it>corrente continua

<Morphosyntax>noun group, f.

<Usage label>main term

<Source>^Carotti 2003^:5

<Lexica>Attestato in ^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Definition>Corrente la cui intensità non varia nel tempo.

<Source>^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Context>Un veicolo, all'interno di un sistema MAGLEV di tipo ^EMS^, in condizioni di riposo poggia sulla pista in corrispondenza di due punti di appoggio ; quando gli elettromagneti EM, posti sulla parte inferiore del veicolo e dotati di nucleo in ferro e bobine di rame, vengono alimentati in corrente continua vengono attratti dalla rotaia ferromagnetica posta lungo la pista, sollevando il veicolo stesso.

<Source>Cfr. ^Carotti 2003^:5

<Concept field>Sistemi a corrente continua

<Related words>^corrente elettrica^

<Type of relation>super.

<Related words>^corrente alternata^

<Type of relation>ant.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “corrente continua” e “直流电” esiste piena identità concettuale.

<it>c.c.

<Morphosyntax>noun group, f.

<Category>abbreviation

<Usage label>common

<Source>^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Variant of>corrente continua

<it>DC

<Morphosyntax>noun group

<Category>initials

<Usage label>common

<Origin>loan word

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Variant of>direct current

<Context>La propulsione e la frenatura del veicolo sono assicurate da innovativo motore lineare DC di tipo stepper a magneti permanenti.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:578

<zh>直流电

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王 2015^:73

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>强度不变，而沿著单一方向传导的电流。相对于交流电而言。

<Source>^汉典^

<Context>中低速磁悬浮列车需要外部供电才能让^电磁铁^产生^磁力^，让直线电机产生牵引力。列车直接从^导轨^一侧的直流供电获得 1500v 的直流电，在车辆的底部设置有电刷，在列车运行过程中通过电刷接触供电，就像高铁动车组顶部的受电弓从接触网上受电一样。

<Source>^王 2015^:73

<Concept field>直流系统

<Related words>电流

<Type of relation>super.

<Related words>^交流电^

<Type of relation>ant.

**

<Subject>Applied physics/Fisica applicata

<Subfield>Generation, modification, accumulation, transmission of electricity/Generazione, modificazione, accumulazione, trasmissione dell'energia elettrica

<it>corrente parassita

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Intilla 2015^:52

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>In elettronica e elettrotecnica, si dicono correnti parassite quelle che si generano all'interno di un qualunque oggetto metallico presente in un circuito a corrente alternata, in virtù dell'effetto di induzione elettromagnetica.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Context>La presenza di un ^campo magnetico^ variabile è fonte di attriti elettromagnetici, dato che induce correnti indesiderate sia nello statore ^HTS^ sia nel ^criostato^. Le correnti parassite in questione (^eddy currents^), si presentano come moti vorticosi di elettroni; e la loro origine si deve al campo magnetico variabile del ^rotore^, che agisce sulla superficie conduttrice dello ^statore^ e del criostato.

<Source>^Intilla 2015^:52

<Concept field>Macchine e impianti elettrici

<Related words>^corrente elettrica^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “corrente parassita” e “涡流” esiste piena identità concettuale.

<it>corrente di Foucault

<Morphosyntax>noun group, f.

<Usage label>uncommon

<Source>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<it>eddy currents

<Morphosyntax>noun group, f.

<Usage label>common

<Origin>loan word

<Source>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Context>La presenza di un campo magnetico variabile è fonte di attriti elettromagnetici, dato che induce correnti indesiderate sia nello statore HTS sia nel criostato. Le correnti parassite in questione (eddy currents), si presentano come moti vorticosi di elettroni; e la loro origine si deve al campo magnetico variabile del rotore, che agisce sulla superficie conduttrice dello statore e del criostato.

<Source>^Intilla 2015^:52

<zh>涡流

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王 2015^:79

<Lexica>按 ^辞海之家^

<Definition>电学中，由变化的电场、^磁场^或^电磁波^在导体内感生的电流。

<Source>^辞海之家^

<Context>目前，超高速磁悬浮列车采用的制动方式主要有再生制动、电阻制动、涡流制动和滑橇制动等方式。

<Source>^王 2015^:79

<Concept field>电机和电气设备

<Related words>电流

<Type of relation>general

**

<Subject>Applied physics/Fisica applicata

<Subfield>Pneumatic, vacuum and low temperature technology/Tecnologia pneumatica, del vuoto, delle basse temperature

<it>criostato

<Morphosyntax>m.

<Source>^Intilla 2015^:52

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition 1>Termostato per bassissime temperature.

<Definition 2>Contenitore termicamente isolato in cui un liquido criogenico (^elio liquido^) si mantiene per lungo tempo allo stato liquido grazie alla continua evaporazione.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Context>La presenza di un campo magnetico variabile è fonte di attriti elettromagnetici, date che induce correnti indesiderate sia nello statore ^HTS^ sia nel criostato.

<Source>^Intilla 2015^:52

<Concept field>Tecnologia criogenica

<Equivalence it-zh>Tra i termini “criostato” e “低温容器” esiste piena identità concettuale.

<zh>低温容器

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王 2015^:70

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>低温容器是贮存与运输低温液体的设备的统称。在工业上贮运的液化气体有液化天然气、液氧、^液氮^、液氢、^液氦^以及液氟等。

<Source>^youdao.com^

<Context>超导磁铁一般安装在车辆的两侧，是由放置在低温容器里面的超导^线圈^构成的，通电之后可以产生四个交叉排列的 N、S^磁场^极性。

<Source>^王 2015^:70

<Concept field>低温技术

**

<Subject>Railway and road engineering/Ingegneria ferroviaria e stradale

<Subfield>Rolling stock/Materiale rotabile

<it>cuscinetto magnetico

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Intilla 2015^:42

<Definition>Un cuscinetto magnetico è un cuscinetto che supporta un carico mediante ^levitazione magnetica^ senza contatto fisico. I cuscinetti magnetici sono in grado di levitare un albero rotante e permettere il movimento relativo con basso attrito e bassa usura meccanica. I cuscinetti magnetici sono, inoltre, in grado di sostenere le più alte velocità e non hanno una velocità relativa massima. Il cuscinetto magnetico è composto sia di parti fisse (^statore^) che di parti rotanti (^rotore^).

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>Una caratteristica dei cuscinetti magnetici è la bassa resistenza alla rotazione offerta dall'albero : questo consente di ridurre la potenza del motore e ottenere alti rendimenti.

<Source>^Intilla 2015^:42

<Concept field>Rodiggio

<Related words>cuscinetto magnetico attivo

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “cuscinetto magnetico” e “磁悬浮轴承” esiste piena identità concettuale.

<zh>磁悬浮轴承

<Morphosyntax>noun group

<Source>^熊/孙/刘/许/裴 2021^:2

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>磁悬浮轴承是利用^磁力^作用将^转子^悬浮于空中，使转子与^定子^之间没有机械接触。其原理是磁感应线与磁浮线成垂直，轴芯与磁浮线是平行的，所以转子的重量就固定在运转的轨道上，利用几乎是无负载的轴芯往反磁浮线方向顶撑，形成整个转子悬空，在固定运转轨道上。

<Source>^youdao.com^

<Context>1988 年在瑞士召开的第一届国际磁悬浮轴承会议上，主动磁悬浮电主轴的研究成为了会议的重点论题之一。

<Source>^熊/孙/刘/许/裴 2021^:2

<Concept field>运转的齿轮

<Related words>主动磁轴承

<Type of relation>general

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>diamagnetismo

<Morphosyntax>m.

<Source>^Intilla 2015^:39

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>In fisica, proprietà di sostanze che, permeate da un ^campo magnetico^, acquistano una magnetizzazione indotta (generalmente assai debole), in verso opposto al campo magnetizzante. In termini più precisi si dice diamagnetica una sostanza che presenti suscettività magnetica negativa, quindi permeabilità relativa minore dell'unità e permeabilità assoluta minore di quella del vuoto.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Il teorema di Earnshaw è stato dimostrato anche nel caso di corpi estesi, e questo vale anche qualora essi siano flessibili e conduttori, purché essi non siano diamagnetici, in quanto il diamagnetismo provoca una (piccola) forza repulsiva, ma nessuna attrazione.

<Source>^Intilla 2015^:39

<Concept field>Diamagnetismo

<Related words>^magnetismo^

<Type of relation>general

<Related words>^diamagnetismo perfetto^

<Type of relation>sub.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “diamagnetismo” e “抗磁性” esiste piena identità concettuale.

<zh>抗磁性

<Morphosyntax>noun group

<Source>^刘/李/方 2019 ^:44

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>抗磁性是指一种弱^磁性^。组成物质的原子中，运动的电子在^磁场^中受电磁感应而表现出的属性。外加磁场使电子轨道动量矩绕磁场进动，产生与磁场方向相反的附加磁矩，故磁化率 k 抗为很小的负值（ 10^{-5} — 10^{-6} 量级）。

<Source>^youdao.com^

<Context>高温超导磁悬浮利用高温^超导体^在混合态中的磁通钉扎特性及抗磁性，来实现稳定悬浮。这种自稳定悬浮无需外加能量输入，抗干扰能力强，相比其它悬浮方式具有非常明显的优势。

<Source>^刘/李/方 2019 ^:44

<Concept field>抗磁性

<Related words>^磁性^

<Type of relation>general

<Related words>^完全抗磁性^

<Type of relation>sub.

**

<Subject>Applied physics/Fisica applicata

<Subfield>Electrotechnical engineering; lighting; superconductivity; magnetic engineering; applied optics; parafotic technology; electronics; communications engineering; processors/Ingegneria elettrotecnica; illuminazione; superconduttività; ingegneria magnetica; ottica applicata; tecnologia parafotica; elettronica; ingegneria delle comunicazioni; elaboratori

<it>elettromagnete

<Morphosyntax>m.

<Source>^Carotti 2003^:4

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Dispositivo (detto anche elettrocalamita) costituito da un nucleo di ferro dolce, su cui è avvolta una ^bobina^ di filo conduttore : inviando in questa una corrente elettrica, il nucleo acquista una magnetizzazione che cessa al cessare della corrente.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>La levitazione di un sistema di trasporto MAGLEV ad alta velocità può essere ottenuta attualmente in due modi diversi. Con elettromagneti convenzionali, formati da bobine in rame e ^nucleo ferromagnetico^, posti sul veicolo, che interagiscono con una pista ferromagnetica (^sospensione elettromagnetica^ o di tipo ^EMS^) dando luogo a forze di tipo attrattivo. Oppure con magneti superconduttori, in aria, posti sul veicolo, che, a veicolo in movimento, interagiscono con le correnti indotte in una guida conduttiva o in bobine in rame o alluminio chiuse in corto circuito, poste lungo la pista (^sospensione elettrodinamica^ o di tipo ^EDS^).

<Source>^Carotti 2003^:4

<Concept field>Ingegneria magnetica

<Related words>^elettromagnetismo^

<Type of relation>super.

<Related words>^magnetismo^

<Type of relation>super.

<zh>电磁铁

<Morphosyntax>noun

<Usage label>main term

<Source>^王 2015^:66

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>又称“电磁体”。利用电流磁效应使^{铁芯}产生^{磁性}，实现吸合铁磁材料以作功的一种电器装置。一般由铁芯、衔铁和励磁^{线圈}组成。通电时产生磁性，断电时失去磁性。有起重电磁铁、牵引电磁铁、制动电磁铁及超导电磁铁等。超导电磁铁已应用于高能物理、核聚变研究、磁流体发电和高速悬浮列车等方面。

<Source>^{汉典}

<Context>电磁铁一般分为常导磁铁和超导磁铁，常导磁铁是在常温下给电导体充电，从而产生电磁力。超导磁铁是在一定温度下让导体的电阻变成零的状态下，再充电从而产生电磁力。

<Source>^{王 2015}:66

<Concept field>磁工程

<Related words>^{电磁学}

<Type of relation>super.

<Related words>^{磁性}

<Type of relation>super.

<zh>电磁体

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>common

<Source>按^{汉典}

<Context>走行部左右两侧安装的导向电磁体与导向轨侧面之间保持一定的间隙，当车辆发生横向偏移时，导向电磁体与导向轨相互作用，两侧导向电磁体吸引力的合力使车辆恢复到中心位置。

<Source>^{熊/邓 2021}:179

**

<Subject>Natural sciences and mathematics/Scienze naturali e matematica

<Subfield>Physics/Fisica

<it>elettromagnetismo

<Morphosyntax>m.

<Source>^Intilla 2015^:37

<Lexica>Attestato in ^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Definition>Parte della fisica che studia le relazioni tra fenomeni elettrici e magnetici.

<Source>^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Context>Alcuni sistemi di trasporto ferroviario incorporano motori lineari, ma usano l'elettromagnetismo solo per la propulsione (non per far levitare il veicolo). Tali treni hanno le ruote e non sono di tipo Maglev.

<Source>^Intilla 2015^:37

<Concept field>Elettricità ed elettronica

<Related words>^elettromagnete^

<Type of relation>sub.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “elettromagnetismo” e “电磁学” esiste piena identità concettuale.

<zh>电磁学

<Morphosyntax>noun group

<Source>^熊/邓 2021^:180

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>研究电磁现象的规律和应用的物理学分支学科。研究对象包括静电场和电介质、直流电路、磁场和磁介质、电磁感应、电磁振荡、电磁波等。它的理论基础是麦克斯韦电磁理论。

<Source>^汉典^

<Context>磁悬浮技术是指利用^磁力^克服重力使物体悬浮的一种技术, 属典型的机电一体化技术, 整合了电力电子、电磁学、机械学、动力学、控制工程和信号处理等技术,并集成运用于^磁悬浮列车^上。

<Source>^熊/邓 2021^:180

<Concept field>电力和电子

<Related words>电磁铁

<Type of relation>sub.

**

<Subject>Earth Science/Scienze della terra

<Subfield>Rare gases/Gas rari

<it>elio liquido

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:575

<Definition>Elemento chimico allo stadio liquido ottenuto alla temperatura di $-268,6$ °C.

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>I superconduttori sono raffreddati con ^azoto liquido^ (77 K) al posto del meno efficiente elio liquido (4 K) che invece è utilizzato nella tecnologia ^EDS^; il tutto con significativi vantaggi sia di semplicità dei sistemi criogenici che di riduzione dei costi.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:575

<Concept field>Elio

<Related words>elio

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “elio liquido” e “液氦” esiste piena identità concettuale.

<zh>液氦

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王/王 2015^:2

<Definition>化学元素, 氦在-268,6 °C 温度下由气态氦转变为液态氦。

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>1966 年美国发明的^LTS^ 磁悬浮列车采用工作在液氦温区 (4.2K) Nb-Ti 线超导磁体与轨道相互作用实现悬浮、导向和驱动。

<Source>^王/王 2015^:2

<Concept field>氦

<Related words>氦

<Type of relation>super.

**

<Subject>Magnetism/Magnetismo

<Subfield>Magnetic substances and their characteristic phenomena/Sostanze magnetiche e loro fenomeni caratteristici

<it>ferromagnete

<Morphosyntax>m.

<Source>^Intilla 2012^:39

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition 1>Magnete tratto da una sostanza ferromagnetica.

<Definition 2>Denominazione di una sostanza ferromagnetica.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Context>Questo teorema asserisce anche che non esiste nessuna possibile configurazione statica di ferromagneti in grado di far levitare stabilmente un oggetto contro la gravità, nemmeno quando le forze magnetiche siano più forti di quelle gravitazionali.

<Source>^Intilla 2012^:39

<Concept field>ferromagnetismo

<Related words>^magnetismo^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “ferromagnete” e “铁磁体” esiste piena identità concettuale.

<zh>铁磁体

<Morphosyntax>noun

<Source>^徐/罗/邓 2019^:44

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition 1>由铁磁性材料构成的磁体。

<Definition 2>一种铁磁性物质(例如铁、镍、钴以及多种合金)

<Source>^汉典^

<Context>^电磁悬浮^ (^EMS^) 利用通电导体产生^磁场^， 磁场吸力吸附轨道铁磁体将车辆吸起， 并通过主动控制保持额定的小间隙， 该间隙约为 8-10 mm。

<Source>^徐/罗/邓 2019^:44

<Concept field>铁磁性

<Related words>^磁性^

<Type of relation>super.

**

<Subject>Natural sciences and mathematics/Scienze naturali e matematica

<Subfield>Physics/Fisica

<it>forza elettromagnetica

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Carotti 2003^:51

<Lexica>Attestato in ^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Definition>Nella fisica delle particelle elementari, forza risultante dall'interazione tra elettricità e magnetismo.

<Source>^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Context>L'intensità dei campi magnetici del Transrapid è molto bassa. Si può paragonare alla forza residua del ^campo magnetico^ terrestre ed è anche più bassa di quella prodotta da molti apparecchi domestici. Un asciugacapelli o un TV color sono circondati da forze elettromagnetiche più intense di quelle trovate in uno scompartimento passeggeri del Transrapid.

<Source>^Carotti 2003^:51

<Concept field>Elettricità ed elettronica

<Related words>^elettromagnetismo^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “forza elettromagnetica” e “电磁力” esiste piena identità concettuale.

<zh>电磁力

<Morphosyntax>noun group

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition 1>载流导体在磁场中受的力为电磁力。

<Definition 2>是两个带电粒子或物体之间的相互作用力。

<Source>^youdao.com^

<Context>常导电磁悬浮采用常规导体材料作为电磁铁线圈绕组,产生悬浮力和导向力,优点是结构简单、维护方便,缺点是材料电阻较大,电流损耗大,产生的电磁力小,车辆悬浮高度较小(一般为 8-12 mm)。

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Concept field>电力和电子

<Related words>^电磁学^

<Type of relation>general

**

<Subject>Natural sciences and mathematics/Scienze naturali e matematica

<Subfield>Physics/Fisica

<it>forza magnetica

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:577

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Locuzione, formata sull'inglese magnetic strenght, per indicare il vettore intensità di un campo magnetico, in quanto tale vettore rappresenta la forza che il campo eserciterebbe sul polo nord unitario puntiforme.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Context>Il veicolo del sistema UAQ4 è sospeso e guidato silenziosamente per mezzo di un modulo di ^levitazione magnetica^, unico del suo genere a forma di “V” (o “L”), che permette di scomporre la forza magnetica in una componente verticale (sostentazione) ed una orizzontale (guida) con valori idonei anche per applicazioni ad alta velocità.

<Source>^Lanzara/D’Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:577

<Concept field>magnetismo

<Related words>^magnetismo^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “forza magnetica” e “磁力” esiste piena identità concettuale.

<zh>磁力

<Morphosyntax>noun group

<Source>^熊/邓 2021^:178

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>磁力是^磁场^对放入其中的^磁体^和电流的作用力。

<Source>^youdao.com^

<Context>^磁悬浮^技术是指利用磁力克服重力使物体悬浮的一种技术, 属典型的机电一体化技术, 整合了电力电子、^电磁学^、机械学、动力学、控制工程和信号处理等技术, 并集成运用于^磁悬浮列车^上。

<Source>^熊/邓 2021^:178

<Concept field>磁性

<Related words>^磁性^

<Type of relation>super.

**

<Subject>Natural sciences and mathematics/Scienze naturali e matematica

<Subfield>Physics/Fisica

<it>levitazione magnetica

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:558

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Fenomeno che consiste nel mantenere sospeso in aria o nel vuoto un corpo equilibrandone una forza peso con una forza di origine magnetica. La levitazione magnetica minimizza attrito e usura della sospensione e perciò riveste notevole interesse applicativo. Nel campo dei trasporti sono stati realizzati treni a levitazione magnetica in grado di raggiungere velocità superiori ai 500 km/h.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Context>Le soluzioni ingegneristiche più all'avanguardia in campo ferroviario utilizzano la levitazione magnetica (^Maglev^) per sostituire le forze di contatto con forze magnetiche in grado di sostenere, guidare e spingere il veicolo lungo il binario.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:558

<Concept field>magnetismo

<Related words>^magnetismo^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “levitazione magnetica” e “磁悬浮” esiste piena identità concettuale.

<it>sospensione magnetica

<Morphosyntax>noun group, f.

<Usage label>common

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Context>Uno dei sistemi che può avere ancora margini di utilizzazione è quello guidato terrestre a levitazione o sospensione magnetica, senza ruote cioè, che ha il suo campo d'azione per distanze anche maggiori di 1000 km e con velocità massime di utilizzo di oltre 500 km/h.

<Source>Cfr. ^Piro 2004^:10

<it>Maglev

<Morphosyntax>noun group

<Category>abbreviation

<Usage label>common

<Origin>loan word

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Variant of>magnetic levitation

<Context>Le soluzioni ingegneristiche più all'avanguardia in campo ferroviario utilizzano la levitazione magnetica (Maglev) per sostituire le forze di contatto con forze magnetiche in grado di sostenere, guidare e spingere il veicolo lungo il binario.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:558

<zh>磁悬浮

<Morphosyntax>noun group

<Source>^熊/邓 2021^:178

<Lexica>按 ^youdao.com^

<Definition>是指利用电磁感应原理，通过电流激励电磁线圈产生磁场，从而将铁磁物体悬浮起来的技术。

<Source>^youdao.com^

<Context>磁悬浮是人类科技史上的一项重大发明, 可用于交通运输, 其运行原理完全有别于传统轮轨交通技术。

<Source>^熊/邓 2021^:178

<Concept field>磁性

<Related words>general

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>magnete permanente

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:583

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Magnete esistente in natura (magneti naturali) e costituito da frammenti di magnetite, ovvero quelli (magneti artificiali) ottenuti assoggettando temporaneamente sostanze ferri- o ferromagnetiche a un intenso campo magnetico e nei quali la magnetizzazione persiste al cessare di questo.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Nel 2017, il team di ricerca Virgin Hyperloop One (USA), utilizzando la tecnologia ^EDS^ con magneti permanenti, ha realizzato un sistema che ha raggiunto una velocità di 387 km/h (velocità target di 1200 km/h) su una linea lunga 500 m.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:583

<Concept field>Sostanze magnetiche e loro fenomeni caratteristici

<Related words>^magnete^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “magnete permanente” e “永磁体” esiste piena identità concettuale.

<zh>永磁体

<Morphosyntax>noun group

<Source>^徐/朱 2005^:192

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>永久或长期保存的磁性。

<Source>^汉典^

<Context>据产生^磁力^的方式不同，磁力弹簧可被分为电磁弹簧和永磁弹簧两种。东南大学的朱美玲、袁世峰等研究了一种电磁弹簧模型。在此模型中，静态力基本上由永磁体产生的力支持，外部扰动产生的振动则由通电^线圈^产生的^电磁力^来控制。

<Source>^徐/朱 2005^:192

<Concept field>磁性物质及其特征现象

<Related words>磁体

<Type of relation>super.

<zh>永久磁体

<Morphosyntax>noun group

<Category>full form

<Usage label>common

<Source>^youdao.com^

<Variant of>永磁体

<Context>1945年，前苏联 V. Arkadiev 发现低温超导体铅上面永久磁体的稳定悬浮，即一个小的永久磁体悬浮在一个铅碗中，其所以用“碗”就是因为这不是一种实质性稳定的磁悬浮，而且悬浮力很小。

<Source>^王/王 2015^

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>magnete superconduttore

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:570

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Elettromagnete il cui campo magnetico, generato da una bobina superconduttrice mantenuta a temperatura inferiore alla temperatura critica di superconduzione da un impianto criogenico, non è limitato dal valore di saturazione proprio dei materiali ferromagnetici con cui sono realizzati i nuclei degli elettromagneti convenzionali.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>La levitazione a magneti superconduttori (SCM) è basata sull'interazione tra magneti superconduttori, posti a bordo del veicolo, e gli avvolgimenti conduttivi cortocircuitati, distribuiti lungo il binario (versione ad alta velocità).

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:570

<Concept field>Sostanze magnetiche e loro fenomeni caratteristici

<Related words>^magnete^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “magnete superconduttore” e “超导磁体” esiste piena identità concettuale.

<zh>超导磁体

<Morphosyntax>noun group

<Source>^熊/邓 2021^:180

<Lexica>按^千篇 2021^

<Definition>用超导体导线^绕组^制成的产生^磁场^的装置。由于超导^线圈^无电阻，超导体导线中可通过很大电流而无损耗，也不需要^铁芯^，没有铁芯损耗，可在体积很小的情况下产生强磁场。可用于粒子加速器、发电机等方面。

<Source>^千篇 2021^

<Context>当车载^低温超导磁体^沿轨道水平移动时，轨道侧壁上^线圈^内会产生感应电流，“8”字线圈下部^磁场^与车载超导磁体之间相互排斥，上部磁场与车载超导磁体之间相互吸引，实现车体悬浮。

<Source>^熊/邓 2021^:180

<Concept field>磁性物质及其特征现象

<Related words>磁体

<Type of relation>super.

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>magnete

<Morphosyntax>m.

<Source>^Intilla 2015^:11

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Nel linguaggio tecnico e scientifico, corpo magnetizzato (detto comunemente anche calamita), che genera cioè un campo magnetico capace di attrarre oggetti ferromagnetici (per es., pezzi di ferro) ad esso avvicinati qualunque ne sia la forma, il campo magnetico è più intenso in prossimità di particolari zone, dette regioni polari o poli del magnete.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Il treno a levitazione magnetica funziona grazie a un cuscinetto che si forma tra le espansioni polari di due magneti.

<Source>^Intilla 2015^:11

<Concept field>Sostanze magnetiche e loro fenomeni caratteristici

<Related words>^magnetism^

<Type of relation>super.

<Related words>^polo magnetico^

<Type of relation>sub.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “magnete” e “磁体” esiste piena identità concettuale.

<zh>磁体

<Morphosyntax>noun

<Source>^熊/邓 2021^:180

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>具有磁性的物体。如磁铁、地球、电磁铁等。

<Source>^汉典^

<Context>低温超导电动磁悬浮技术基于动生电动势原理, 依靠车载磁体与轨道^线圈^之间的磁斥力平衡重力使车体^悬浮^。

<Source>^熊/邓 2021^:180

<Concept field>磁性物质及其特征现象

<Related words>^磁性^

<Type of relation>super.

<Related words>^磁极^

<Type of relation>sub.

**

<Subject>Natural sciences and mathematics/Scienze naturali e matematica

<Subfield>Physics/Fisica

<it>magnetismo

<Morphosyntax>m.

<Source>^Asti 1985^:81

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Genericamente, quel fenomeno, noto sin dall'antichità, per cui particolari minerali (per es., la magnetite), detti magneti naturali, sono in grado di attrarre piccoli pezzi di ferro e di trasmettere questa proprietà ad altri corpi (di vari materiali, detti ferromagnetici) che, avvicinati ai primi, diventano quindi magneti artificiali; tale capacità di attrazione, detta anch'essa magnetismo o, più propriamente, campo magnetico, è particolarmente intensa vicino a due punti della superficie del corpo magnetizzato, di solito contrapposti e detti poli magnetici, che risultano essere di tipo diverso dato che, avvicinati successivamente allo stesso polo di una seconda calamita, ne sono l'uno attratto e l'altro respinto.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Il magnetismo è una branca del sapere scientifico intimamente legata alla maggior parte dei campi che caratterizzano la fisica moderna. Ciò per il fatto che esso è un fenomeno universale in natura, presente come proprietà fondamentale nelle particelle elementari che costituiscono la materia; in altre parole, tutto è costituito da magneti.

<Source>^Asti 1985^:81

<Concept field>magnetismo

<Equivalence it-zh>Tra i termini “magnetismo” e “磁性” esiste piena identità concettuale.

<zh>磁性

<Morphosyntax>noun

<Source>^王 2007^:4

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>磁体能吸引铁、镍等金属的性能。

<Source>^汉典^

<Context>施加外^磁场^时， 磁场将不能进入理想导体内； 原来存在于超导体内的磁通量， 在临界温度以下仍然会存在于体内不被排出来； 当撤掉外磁场后， 为了保持导体内磁通量， 将会产生持续感生电流， 并在体内产生相应的磁场。 这类特殊的磁性看起来是^零电阻^的结果。

<Source>^王 2007^:4

<Concept field>磁性

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Applied physics/Fisica applicata

<it>motore lineare ad induzione

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:562-563

<Lexica>Attestato in ^Sapere.it, enciclopedia^

<Definition>Il motore lineare a induzione, o semplicemente [^]motore lineare[^], è l'unico motore elettrico non rotante. Per comprenderne il funzionamento è opportuno osservare che, benché normalmente nei motori asincroni l'avvolgimento induttore si trovi sullo statore e l'indotto sul rotore, il motore funziona anche se si scambiano le funzioni dei due avvolgimenti. Il motore lineare può essere pensato allora come un motore asincrono di diametro infinito con indotto fisso o, più precisamente, come un motore aperto lungo una generatrice e sviluppato in un piano, al quale è solidale l'indotto, che potrebbe essere del tipo a gabbia ma generalmente è costituito da una semplice piastra in materiale conduttore. Tra indotto e induttore nasce una forza che provoca la traslazione di quest'ultimo.

<Source>Cfr. [^]Sapere.it, enciclopedia[^]

<Context>Il concetto di funzionamento del motore lineare deriva da quello del motore rotativo in cui lo statore ed il rotore sono idealmente sezionati in direzione radiale e distesi su un piano in modo da creare due strutture parallele denominate rispettivamente primario e secondario. Nel motore lineare, il campo magnetico rotativo viene trasformato in campo magnetico traslante e la coppia elettromagnetica in spinta. Tra le varie configurazioni, il motore lineare ad induzione (LIM) ed il motore sincrono lineare (LSM) rappresentano le tipologie più comuni.

<Source>[^]Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021[^]:562-563

<Concept field>Motori elettrici e motori connessi

<Related words>[^]motore lineare sincrono[^]

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “motore lineare ad induzione” e “直线感应电机” esiste piena identità concettuale.

<it>motore lineare

<Morphosyntax>noun group, m.

<Category>short form

<Usage label>common

<Source>[^]Sapere.it, enciclopedia[^]

<Variant of>motore lineare ad induzione

<Context>Il sistema ^EMS^ permette al treno di levitare in tutte le condizioni del moto, anche da fermo. La propulsione del veicolo è affidata ad un motore lineare distribuito lungo la guidovia.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:565

<zh>直线感应电机

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王 2015^:69

<Definition>直线感应电机是一种特殊类型的感应电机，用于实现直线运动，而不是传统电机的旋转运动。直线感应电机的基本设计和构造类似于三相感应电机。如果切割多相感应电机的^定子^并放在平坦的表面上，它就构成了线性感应电机系统的定子。类似地，将感应电机的^转子^切割并使其平整后，得到直线感应电机的转子。

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>还可以根据直线同步电机和直线感应电机划分磁悬浮的种类，直线同步电机一般采用长定子技术，转子磁场与定子磁场同步运行，控制定子磁场的移动速度就可以准确控制列车的运行速度，适合高速和超高速磁浮铁路。

<Source>^王 2015^:69

<Concept field>电动机和有关电动机

<Related words>^直线同步电机^

<Type of relation>general

<zh>直线电机

<Morphosyntax>noun group

<Category>short form

<Usage label>common

<Source>^youdao.com^

<Variant of>直线感应电机

<Context>传统的电机是圆形的，通过转子绕着固定轴（定子）旋转产生电力，而磁悬浮铁路采用非轮轨接触的牵引技术，它使用的直线电机沿着轨道一字铺开，就相当于将圆形电机展开成平面，从而获得牵引动力。

<Source>^王 2015^:66

**

<Subject> Electricity and electronics/Elettricità ed elettronica

<Subfield>Electrodynamics (electric currents) and thermoelectricity/Elettodinamica (correnti elettriche) e termoelettricità

<it>resistenza elettrica nulla

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:572

<Definition>Fenomeno proprio delle sostanze superconduttrici caratterizzato dall'assenza di sensibili fenomeni dissipativi. Di conseguenza, la corrente elettrica instauratasi in una di tali sostanze ha carattere permanente, ovvero si mantiene costante in intensità anche al cessare della causa che l'ha prodotta. Il fenomeno in esame si manifesta se la temperatura risulta minore di una data temperatura critica che varia da sostanza a sostanza.

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>La tecnologia SML si basa sull'interazione tra una lastra superconduttiva ed un ^campo magnetico^. I superconduttori sono l'unico tipo di materiale, ad oggi conosciuto, che ha una perfetta risposta diamagnetica e resistenza elettrica nulla.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:572

<Concept field>Conduttività e resistenza elettrica

<Related words>resistenza elettrica

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “resistenza elettrica nulla” e “零电阻” esiste piena identità concettuale.

<zh>零电阻

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王 2007^:3-4

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>温度降至 T_c 以下时，电子在结构中运动完全不会受到晶格之影响，亦即电阻完全消失，此种现象即称为零电阻。

<Source>^youdao.com^

<Context>在一些元素和化合物中已经发现了大量的物质具有零电阻现象， T_C 称为^临界温度^，它是超导体的重要参数之一。超导态和正常态的转变是可逆的，加热已处于超导态的样品，当温度高于 T_C 后，样品恢复其正常电阻率，即超导态是物质一种新的状态，它只依赖于状态参量（如温度），而与样品的历史无关。

<Source>^王 2007^:3-4

<Concept field>电导和电阻

<Related words>电阻

<Type of relation>super.

**

<Subject>Electricity and electronics/Elettricità ed elettronica

<Subfield>Electrodynamics (electric currents) and thermoelectricity/Elettrodinamica (correnti elettriche) e termoelettricità

<it>LTS

<Morphosyntax>noun

<Category>initials

<Usage label>main term

<Origin>loan word

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:573

<Variant of>low temperature superconductors

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Denominazione utilizzata per distinguere tali materiali superconduttori da quelli aventi una temperatura critica relativamente elevata: ^HTS^ (High temperature superconductors). I materiali LTS sono stati i primi a essere stati scoperti, a partire dal mercurio, da Heike Kamerlingh Onnes nel 1911. Nonostante la temperatura critica relativamente bassa, che rende più complesso e costoso il loro utilizzo, gli LTS sono i superconduttori più utilizzati, poiché con essi è più facile realizzare cavi e dispositivi a film sottile.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Context>Allo stato attuale delle conoscenze del fenomeno della superconduttività, i superconduttori possono anche essere classificati in relazione alla temperatura critica di transizione, così come di seguito:

- superconduttori a bassa temperatura (LTS), generalmente raffreddati con ^elio liquido^ (4K);
- superconduttori ad alta temperatura (HTS), generalmente raffreddati con ^azoto liquido^ (77K).

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:573

<Concept field>superconduttività

<Related words>^superconduttore^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “LTS” e “低温超导体” esiste piena identità concettuale.

<it>superconduttore a bassa temperatura critica

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>common

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Context>I consumi relativi ai sistemi MAGLEV di tipo ^EDS^ fanno riferimento a bobine di levitazione realizzate con superconduttori a bassa temperatura critica raffreddati a ^elio liquido^.

<Source>^Carotti 2003^:49

<zh>低温超导体

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王/王 2015^:2

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>超导临界温度一般低于 25K 的超导体。

<Source>^youdao.com^

<Context>1945 年，前苏联 V. Arkadiev 发现低温超导体铅上面^永久磁体^的稳定悬浮，即一个小的永久磁体悬浮在一个铅碗中，其所以用“碗”就是因为这不是一种实质性稳定的^磁悬浮^，而且悬浮力很小。

<Source>^王/王 2015^:2

<Concept field>超导

<Related words>^超导体^

<Type of relation>super.

<zh>LTS

<Morphosyntax>noun group

<Category>initials

<Usage label>main term

<Usage label>common

<Origin>loan word

<Source>^youdao.com^

<Variant of>low temperature superconductors

<Context>超导和磁悬浮相结合诞生了超导磁悬浮技术。1966 年 美国 James R. Powell and Gordon Danby 发明了低温超导 (LTS) 磁悬浮列车, 上个世纪最后一天, 中国研制成功世界首辆载人高温超导 (HTS) 磁悬浮车并授权发明专利, 逐步形成了从低温到高温超导技术在轨道交通中应用的一个新领域。

<Source>^王/王 2015^:2

**

<Subject>Electricity and electronics/Elettricità ed elettronica

<Subfield>Electrodynamics (electric currents) and thermoelectricity/Elettrodinamica (correnti elettriche) e termoelettricità

<it>HTS

<Morphosyntax>noun

<Category>initials

<Usage label>main term

<Origin>loan word

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:573

<Variant of>high temperature superconductors

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Gli HTS sono una classe di materiali, scoperti a partire dal 1986, caratterizzati dal fatto di avere una temperatura critica maggiore di 30 K, e aventi una struttura cristallina complessa con la presenza di svariati elementi tra cui è generalmente compreso il rame e l'ossigeno. Tuttora molto difficile realizzare

cavi superconduttori HTS molto lunghi e dispositivi a film sottile affidabili. Tuttavia la temperatura di lavoro relativamente elevata, se confrontata con i superconduttori tradizionali, denominati [^]LTS[^] (Low temperature superconductors), semplifica notevolmente la complessità e il costo del sistema di raffreddamento necessario, prefigurandone un possibile uso su larga scala.

<Source>[^]Treccani.it, enciclopedia[^]

<Context>Allo stato attuale delle conoscenze del fenomeno della superconduttività, i superconduttori possono anche essere classificati in relazione alla temperatura critica di transizione, così come di seguito:

- superconduttori a bassa temperatura (LTS), generalmente raffreddati con [^]elio liquido[^] (4K);
- superconduttori ad alta temperatura (HTS), generalmente raffreddati con [^]azoto liquido[^] (77K).

<Source>[^]Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021[^]:573

<Concept field>superconduttività

<Related words>[^]superconduttore[^]

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “HTS” e “高温超导体” esiste piena identità concettuale.

<it>superconduttore ad alta temperatura critica

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>common

<Source>[^]Treccani.it, enciclopedia[^]

<Context>La tecnologia SML ad alta temperatura (HT) si basa sull'interazione tra un superconduttore ad alta temperatura (HTS), appartenente a quelli non ideali del II° tipo, ed un [^]campo magnetico[^] statico generato dai magneti permanenti.

<Source>[^]Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021[^]:574

<zh>高温超导体

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>main term

<Source>^王/王 2015^:2

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>高温超导体是超导物质中的一种族类，具有一般的结构特征以及相对上适度间隔的铜氧化物平面。它们也被称作铜氧化物超导体。

<Source>^youdao.com^

<Context>与^低温超导体^比较，高温超导体具有较高的^临界温度^、临界电流密度和临界磁场，工作在^液氮^温区可以大大降低制造和运行成本，节能环保，应用前景十分广阔。

<Source>^王/王 2015^:2

<Concept field>超导

<Related words>^超导体^

<Type of relation>super.

<zh>HTS

<Morphosyntax>noun group

<Category>initials

<Usage label>common

<Origin>loan word

<Source>^youdao.com^

<Variant of>high temperature superconductors

<Context>超导和磁悬浮相结合诞生了超导磁悬浮技术。1966年 美国 James R. Powell and Gordon Danby 发明了低温超导 (^LTS^) 磁悬浮列车，上个世纪最后一天，中国研制成功世界首辆载人高温超导 (HTS) 磁悬浮车并授权发明专利，逐步形成了从低温到高温超导技术在轨道交通中应用的一个新领域。

<Source>^王/王 2015^:2

**

<Subject>Electricity and electronics/Elettricità ed elettronica

<Subfield>Electrodynamics (electric currents) and thermoelectricity/Elettrodinamica (correnti elettriche) e termoelettricità

<it>superconduttore

<Morphosyntax>m.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:574

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Elemento o sostanza che presenta superconduzione. Sono sostanze superconduttrici, metalli, leghe e altri composti che, al di sotto di una certa temperatura, presentano ^resistenza elettrica nulla^; tra le proprietà delle sostanze superconduttrici vi è quella di espellere completamente le linee di forza del ^campo magnetico^ (proprietà opposta a quella delle sostanze ferromagnetiche, così che per i superconduttori si parla di «sostanze diamagnetiche perfette»), per cui il campo magnetico all'interno di un superconduttore è sempre rigorosamente nullo (effetto Meissner) quando il campo esterno è inferiore a un valore critico.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>L'effetto flux pinning nei materiali ^HTS^ genera sia forze repulsive che attrattive la cui combinazione determina una sospensione stabile senza l'ausilio di un apparato di controllo attivo. In altre parole, rispetto alla posizione di equilibrio, si ottiene il doppio effetto: si generano forze repulsive se il superconduttore e i magneti permanenti si avvicinano tra loro e, viceversa, forze attrattive se si allontanano.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:574

<Concept field>superconduttività

<Related words>^superconduttività ^

<Type of relation>super.

<Related words>superconduttore di tipo I

<Type of relation>sub.

<Related words>superconduttore di tipo II

<Type of relation>sub.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “superconduttore” e “超导体” esiste piena identità concettuale.

<zh>超导体

<Morphosyntax>noun

<Source>^熊/邓 2021^:181

<Lexica>按^千篇 2021^

<Definition>在一定温度下电阻几乎完全消失的物体。

<Source>^千篇 2021^

<Context>由于^低温超导体^的热不稳定性,在其内部产生的局部热会引起大的磁通跳跃,容易导致超导体失超;相反,^高温超导体^块材比热容大,热稳定性好,不易失超。

<Source>^熊/邓 2021^:181

<Concept field>超导

<Related words>^超导^

<Type of relation>super.

<Related words>第 I 类超导体

<Type of relation>sub.

<Related words>第 II 类超导体

<Type of relation>sub.

**

<Subject>Electricity and electronics/Elettricità ed elettronica

<Subfield>Electrodynamics (electric currents) and thermoelectricity/Elettrodinamica (correnti elettriche) e termoelettricità

<it>temperatura critica

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:575

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>La temperatura critica è la temperatura al di sotto della quale alcuni materiali mostrano la completa scomparsa della resistenza elettrica (superconduttività) e la completa espulsione del ^campo magnetico^ (effetto Meissner-Ochsenfeld).

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Context>La tecnologia SML è stata sviluppata alla fine degli anni 1980 grazie alla scoperta di due materiali sinterizzati quali: i superconduttori YBa₂Cu₃O_x (YBCO) ad alta temperatura critica ed i magneti permanenti Nd₂Fe₁₄B (NdFeB) ad alte prestazioni di campo.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:575

<Concept field>superconduttività

<Related words>materiali superconduttori

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “temperatura critica” e “临界温度” esiste piena identità concettuale.

<zh>临界温度

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>main term

<Source>^王 2007^:2

<Lexica>按 ^辞海之家^

<Definition>当超导体的材料所加的温度等于此临界温度时，将使超导体由一般导体的特性转变为超导体的特性。

<Source>^辞海之家^

<Context>但是提高超导体的临界温度的工作却遇到了极大的障碍，直到 1986 年，人们所发现的具有最高超导临界温度的超导材料发现和临界温度提高的历史材料是铌锆合金，其临界温度仅为 23 K。

<Source>^王 2007^:2

<Concept field>超导

<Related words>超导材料

<Type of relation>general

<zh>转变温度

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>common

<Source>^千篇 2021^

<Context>由于有机体同时具有磁性和超导性、金属间化合物 MgB₂ 新超导转变温度的发现，超导磁悬浮技术有望产生新的突破。

<Source>^张 2003^:63

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Engineering and related activities/Ingegneria e attività affini

<it>treno a levitazione magnetica

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:560

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Treno a levitazione magnetica (nome convenzionale per Magnetic levitation), in grado di raggiungere velocità superiori a 500 km/h sfruttando le variazioni di campo magnetico. Benché venga definito un treno, in realtà ha ben pochi punti di contatto con i tradizionali convogli ferroviari: non ha ruote, non ha motori a bordo; viaggia sospeso su una guida attraverso un campo magnetico le cui variazioni generano la spinta che lo fa muovere fino a raggiungere, rapidamente, velocità superiori ai 500 km/h.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Context>In seguito, nel 1937, H. Kemper ottenne in Germania il primo di una serie di brevetti per treni a levitazione magnetica, spinti da motori lineari.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:560

<Concept field>Ingegneria ferroviaria e stradale

<Related words>^levitazione magnetica^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “treno a levitazione magnetica” e “磁悬浮列车” esiste piena identità concettuale.

<zh>磁悬浮列车

<Morphosyntax>noun group

<Source>^徐/朱 2005^:192

<Lexica>按 ^辞海之家^

<Definition>利用磁力的相吸或相斥，使列车在轨道上空悬浮，高速前进。

<Source>^辞海之家^

<Context>磁悬浮轴承与磁悬浮列车是目前国内外研究较多的两类磁悬浮技术产品；而在国外，目前磁悬浮轴承已经开始进入工业应用阶段。

<Source>^徐/朱 2005^:192

<Concept field>铁路和道路工程

<Related words>^磁悬浮^

<Type of relation>general

**

<Subject>Metallurgy/Metallurgia

<Subfield>Ferrous metals/Metalli ferrosi

<it>acciaio

<Morphosyntax>m.

<Source>^Carotti 2003^:44

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Nome con cui per lungo tempo è stato designato un tipo di ferro particolarmente duro e resistente, soprattutto adatto per la fabbricazione di armi e armature. Oggi il termine indica, con significato più ristretto e preciso, una lega di ferro e carbonio con tenore di carbonio inferiore all'1,7%, ottenuta allo stato fuso, per lo più per affinazione della ghisa ai convertitori Bessemer o Thomas, o per affinazione della ghisa mista a rottami di ferro secondo il processo su suola o Martin.

<Source>Cfr. ^Treccani.it, vocabolario^

<Context> La pista del Transrapid è costruita con travi in acciaio o in cemento armate lunghe fino a 62 m.

<Source>^Carotti 2003^:44

<Concept field>Produzione di acciaio

<Related words>ferro

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “acciaio” e “钢” esiste piena identità concettuale.

<zh>钢

<Morphosyntax>noun

<Source>^王 2015^:72

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>经过精炼，不含磷砂等杂质的铁，含碳 0.15 ~ 1.7%，比熟铁更坚硬更富于弹性，是工业上极其重要的原料。

<Source>^汉典^

<Context>整个轨道梁全部采用钢板铸成，在两侧端部向下弯曲，形成一个倒 U 形的磁性轨道结构。

<Source>^王 2015^:72

<Concept field>钢铁生产

<Related words>铁

<Type of relation>super.

**

<Subject>Metallurgy/Metallurgia

<Subfield>Other non-ferrous metals/Altri metalli non ferrosi

<it>alluminio

<Morphosyntax>m.

<Source>^Intilla 2015^:15

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Elemento chimico di simbolo Al, numero atomico 13, peso atomico 26,98, del III gruppo del sistema periodico, sottogruppo dei metalli terrosi, trivalente ; di colore bianco argento, duttile, malleabile, buon conduttore del calore e dell'elettricità, è stabile all'aria perché protetto da uno strato di ossido; è diffusissimo in natura, mai libero ma costituente di numerosi minerali, tra i quali la bauxite, da cui si estrae. Resistente, leggero, buon conduttore, è usato, sia solo sia in numerosissime leghe, per utensili domestici, infissi, pannelli, profilati, nella fabbricazione di cavi elettrici.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Nel 1910, Emile Bachelet (un allievo di Rober Goddard), ideò e costruì un carrello a levitazione magnetica (per il quale ottenne un brevetto nel 1912), che aveva lo scopo di trasferire (su piccoli tragitti) posta e piccoli pacchetti (il carrello veniva spinto da forze repulsive che originavano da un elettromagnete in rame, sospesi sopra un binario d'alluminio ; sul quale appunto, scorreva il carrello).

<Source>^Intilla 2015^:15

<Concept field>Alluminio

<Equivalence it-zh>Tra i termini “alluminio” e “铝” esiste piena identità concettuale.

<zh>铝

<Morphosyntax>noun

<Source>^熊/邓 2021^:181

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>一种金属元素，质地坚韧而轻，有延展性，容易导电。可作飞机、车辆、船、船、火箭的结构材料。

<Source>^汉典^

<Context>轨道上不需要铺设^永磁铁^，只需要铺设铝感应板，可大大降低成本。

<Source>^熊/邓 2021^:181

<Concept field>铝

**

<Subject>Solid mechanics/Meccanica dei solidi

<Subfield>Kinetics/Cinetica

<it>attrito

<Morphosyntax>m.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:558

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Forza resistente che si produce nel contatto tra due corpi premuti l'uno contro l'altro e che ostacola il movimento dell'uno rispetto all'altro. In partic., in fisica, forza resistente che compie, in condizioni di moto, un lavoro negativo, implicante una perdita di energia meccanica, dissipata in calore.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>La tecnologia ^Maglev^ è attualmente utilizzata in vari campi quali quelli: energetico (turbine eoliche), aerospaziale (sistemi di lancio), nucleare (centrifuga del reattore), civile (impianti di divertimento, ascensori), biomedico (pompa cardiaca), industriale (trasportatori) e così via. L'elemento che accomuna tutte queste applicazioni è la mancanza di contatto fisico e quindi l'assenza di fenomeni di attrito ed usura tra le parti.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:558

<Concept field>Reologia

<Equivalence it-zh>Tra i termini “attrito” e “摩擦” esiste piena identità concettuale.

<zh>摩擦

<Morphosyntax>noun

<Source>^熊/邓 2021^:188

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>物体间擦动时有阻力的情况。

<Source>^汉典^

<Context>磁悬浮列车运行时只有空气摩擦阻力, 德国数据显示, 由于良好的空气动力外形和无高速轮轨列车受电弓及复杂的转向架结构, 相同速度下其阻力仅为轮轨列车的 60%;若采用真空管道,则几乎没有空气阻力。

<Source>^熊/邓 2021^:188

<Concept field>流变学

**

<Subject>Applied physics/Fisica applicata

<Subfield>Generation, modification, accumulation, transmission of electricity/ Generazione, modificazione, accumulazione, trasmissione dell'energia elettrica

<it>batteria

<Morphosyntax>f.

<Source>^Carotti 2003^:39

<Lexica>Attestato in ^Dizionario.internazionale.it, vocabolario

<Definition>Generatore di energia elettrica costituito da pile, accumulatori o condensatori collegati fra loro.

<Source>^Dizionario.internazionale.it, vocabolario

<Context>Senza un contatto diretto, generatori lineari integrati nei magneti di levitazione forniscono energia ai magneti di levitazione e di guida e ai servizi di bordo: le batterie di bordo, caricate anche attraverso generatori lineari, forniscono potenza per il veicolo a levitazione, per la guida e per il confort dei passeggeri (illuminazione e areazione) e permettono al veicolo di frenare in caso di cedimento del sistema di propulsione o di mancanza di potenza.

<Source>^Carotti 2003^:39

<Concept field>Conversione elettrochimica

<Related words>energia elettrica

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “batteria” e “电池” esiste piena identità concettuale.

<zh>电池

<Morphosyntax>noun

<Source>^张/严/徐/武 2004^:48

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>盛有电解质溶液和金属电极以产生电流的杯、槽或其他容器或复合容器的部分空间。

<Source>^汉典^

<Context>美国 Magplane 采用独立无源车辆, 车辆运动时, 车上的^永久磁体^在圆弧形铝板导轨内产生感应电流, 从而实现^悬浮^。车体上除了紧急备用电池以外, 没有其它电源。

<Source>^张/严/徐/武 2004^:48

<Concept field>电学转化

<Related words>电能

<Type of relation>general

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Theories and mathematical physics/Teorie e fisica matematica

<it>campo elettromagnetico

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Frezza 2009^:104

<Lexica>Attestato in ^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Definition>Campo determinato da distribuzioni di cariche e correnti elettriche.

<Source>^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Context>Un campo elettromagnetico ad alta frequenza si attenua molto rapidamente all'interno di un metallo, tale fenomeno è definito effetto pelle.

<Source>Cfr. ^Frezza 2009^:104

<Concept field>Teoria elettromagnetica

<Related words>^elettromagnetismo^

<Type of relation>super.

<Related words>^magnetismo^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “campo elettromagnetico” e “电磁场” esiste piena identità concettuale.

<zh>电磁场

<Morphosyntax>noun group

<Source>^徐/朱 2005^:193

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>电场和磁场的总称。电磁场以光速向四周传播，形成电磁波。电场随时间变化时会感应出磁场，而磁场随时间变化也会感应出电场，两者互相变化，形成电磁场。

<Source>^汉典^

<Context>以日本 MagLev 为代表的超导排斥型磁悬浮列车，利用超导磁体产生的强磁场在列车运行时与布置在地面上的线圈相互作用，产生电动斥力将列车浮起，其悬浮气隙较大，技术相当复杂，并需屏蔽发散的电磁场。

<Source>^徐/朱 2005^:193

<Concept field>电磁理论

<Related words>^电磁学^

<Type of relation>super.

<Related words>^磁性^

<Type of relation>general

**

<Subject>Engineering and related activities/Ingegneria e attività affini

<Subfield>Mechanics and engineering materials/Meccanica e materiali dell'ingegneria

<it>cemento armato

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Carotti 2003^:44

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Materiale (detto anche calcestruzzo armato, e spesso indicato con la sigla CA) e sistema costruttivo risultanti dall'unione di calcestruzzo cementizio con barre di acciaio disposte nelle zone tese della struttura, in modo che le sollecitazioni di compressione siano assorbite dal calcestruzzo e quelle di trazione dall'acciaio.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>La pista del Transrapid è costruita con travi in acciaio o in cemento armate lunghe fino a 62 m.

<Source>^Carotti 2003^:44

<Concept field>Cemento armato e cemento armato precompresso

<Related words>cemento

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “cemento armato” e “钢筋混凝土” esiste piena identità concettuale.

<zh>钢筋混凝土

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>main term

<Source>^冯/方/李/程/潘 2018^:107

<Lexica>按 ^辞海之家^

<Definition>以钢筋做骨架的混凝土。此种复合构材，可增加拉力和机械强度，普通用于建筑和水利工程等结构体的建造。

<Source> ^辞海之家^

<Context>采用钢筋混凝土支柱将钢结构的管道架设在离地面一定高度或埋设在地下，并将管道内抽成低真空，其内空气压力约为海平面大气压力的几百分之一，甚至千分之一。

<Source>^冯/方/李/程/潘 2018^:107

<Concept field>钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土

<Related words>混凝土

<Type of relation>super.

<zh>钢骨水泥

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>common

<Source>^辞海之家^

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Applied physics/Fisica applicata

<it>chopper

<Morphosyntax>m.

<Usage label>main term

<Origin>loan word

<Source>^Lauri 2017/2018^:8-9

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>In elettronica, dispositivo (inizialmente meccanico, oggi per lo più elettronico) che interrompe a intervalli regolari una corrente di valore costante o lentamente variabile, usato spec. nei cosiddetti amplificatori di corrente continua (per es., nell'alimentazione di motori a corrente continua per regolarne la tensione).

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Il chopper è un tipico elemento di conversione DC-DC, il quale permette di regolare la tensione che alla fine del processo viene effettivamente fornita al carico. Possiamo pensare al chopper come fosse un trasformatore dedicato a gestire, in modo bidirezionale, correnti continue e quindi in grado di regolarle a seconda delle necessità e della logica di controllo.

<Source>Cfr. ^Lauri 2017/2018^:8-9

<Concept field>Generazione, modificazione, accumulazione, trasmissione dell'energia elettrica

<Equivalence it-zh>Tra i termini “chopper” e “斩波器” esiste piena identità concettuale.

<it>frazionatore

<Morphosyntax>m.

<Usage label>uncommon

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<zh>斩波器

<Morphosyntax>noun group

<Source>^姜/陈/荣/吉 2019^:86

<Lexica>按 ^youdao.com^

<Definition>总体原理 直流斩波器（DC Chopper）是一种把恒定直流电压变换成为另一固定电压或可调电压的直流电压，从而满足负载所需的直流电压的变流装置。

<Source>^youdao.com^

<Context>由于中速磁浮列车悬浮控制器输入电压范围、电磁铁电感电阻等参数，以及悬浮控制重量及控制性能已与中低速磁浮列车具有较大区别，目前用于中低速磁浮列车的悬浮控制器已不能满足中速磁浮悬浮控制的要求，因此，本文根据中速磁浮悬浮控制系统要求，设计了适应中速磁浮列车的悬浮导向斩波器。

<Source>^姜/陈/荣/吉 2019^:86

<Concept field>电能的产生, 转换, 储存, 传输

**

<Subject>Natural sciences and mathematics/Scienze naturali e matematica

<Subfield>Physics/Fisica

<it>circuito magnetico

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Morini 1996^:16

<Lexica>Attestato in ^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Definition 1>Sistema chiuso di elementi ad alta permeabilità magnetica atti a essere percorsi da un flusso magnetico.

<Definition 2>Regione di spazio in cui si svolgono le linee chiuse di un campo magnetico.

<Source>^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Context>Il motore lineare sincrono a statore lungo presenta un circuito magnetico in aria.

<Source>^Morini 1996^:16

<Concept field>magnetismo

<Related words>^magnetismo^

<Type of relation>general

<Related words>^elettromagnetismo^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini "circuito magnetico" e "磁路" esiste piena identità concettuale.

<zh>磁路

<Morphosyntax>noun group

<Source>^龙 2006^:20

<Lexica>按 ^辞海之家^

<Definition>用强磁材料构成在其中产生一定强度的磁场的闭合回路。它也是一种研究含有用以导磁的铁心的电磁器件的模型，在这些器件中利用磁路在其中获得需用的磁场。磁路中有关的物理量有磁通、磁通势、磁阻、磁位差。

<Source>^辞海之家^

<Context>直线感应电动机是由一些磁路和电路组成的，它是把电能变为机械能的一种机器，它的品质因数是说明它把一种能量转换为另一种能量的能力。

<Source>^龙 2006^:20

<Concept field>磁性

<Related words>^磁性^

<Type of relation>general

<Related words>^电磁学^

<Type of relation>general

**

<Subject>Natural sciences and mathematics/Scienze naturali e matematica

<Subfield>Electricity and electronics/Elettricità ed elettronica

<it>corrente indotta

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Wolfson 2008^:552

<Definition>Corrente che si genera all'interno di un circuito soggetto ad un campo magnetico variabile.

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>Un superconduttore è perfettamente diamagnetico quando il campo magnetico prodotto dalla corrente indotta cancella completamente un qualsiasi campo applicato.

<Source>^Wolfson 2008^:552

<Concept field>Elettrodinamica (Correnti elettriche) e termoelettricità

<Related words>^corrente elettrica^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “corrente indotta” e “感应电流” esiste piena identità concettuale.

<zh>感应电流

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>main term

<Source>^熊/邓 2021^:180

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>由电磁感应产生的电流。

<Source>^汉典^

<Context>由于低速时感应电流较小, 列车需达到一定运行速度才能起浮。

<Source>^熊/邓 2021^:180

<Concept field>电动力学（电流）和热电

<Related words>电流

<Type of relation>super.

<zh>感生电流

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>common

<Source>^汉典^

<Context>施加外^磁场^时， 磁场将不能进入理想导体内； 原来存在于^超导体^内的^磁通量^， 在^临界温度^以下仍然会存在于体内不被排出来； 当撤掉外磁场后， 为了保持导体内磁通量， 将会产生持续感生电流， 并在体内产生相应的磁场。 这类特殊的^磁性^看起来是^零电阻^的结果。

<Source>^王 2007^:4

<zh>应电流

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>uncommon

<Source>^汉典^

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>diamagnetismo perfetto

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Recchia 2016/2017^:11

<Definition>Fenomeno secondo il quale un ^superconduttore^, sia di tipo I che di tipo II, espelle completamente i campi magnetici.

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>Per il superconduttore di tipo I si ha diamagnetismo perfetto fino a quando $H = H_c$, oltre questo valore la superconduttività è distrutta. Per il tipo II invece il diamagnetismo perfetto si ha solo per $H < H_{c1}$, sopra a questo valore il campo penetra lentamente nel materiale.

<Source>^Recchia 2016/2017^:11

<Concept field>Diamagnetismo

<Related words>^diamagnetismo^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “diamagnetismo perfetto” e “完全抗磁性” esiste piena identità concettuale.

<zh>完全抗磁性

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王/王 2015^:2

<Lexica>按 ^youdao.com^

<Definition>完全抗磁性是指^磁场^中的金属处于超导状态时，体内的磁感应强度为零的现象。这一现象由德国科学家迈斯纳发现，因此又称为迈斯纳效应。^超导体^还是完全的^抗磁体^，外加磁场无法进入或(严格说是)大范围地存在于超导体内部，这是超导体的另一个基本特性。

<Source>^youdao.com^

<Context>超导体的 Meissner-Ochsenfeld 效应是指第 I 类超导体的完全抗磁性，外磁场不能穿透进入超导体，只能穿透进伦敦穿透深度 λ_L 表层，完全抗磁性可以在超导体与外磁场之间产生悬浮作用。

<Source>^王/王 2015^:2

<Concept field>抗磁性

<Related words>^抗磁性^

<Type of relation>super.

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>dipolo magnetico

<Morphosyntax>noun group

<Source>^Wolfson 2008^:510

<Definition>Il dipolo magnetico corrisponde all'unità magnetica elementare ed è composto da due poli con polarità opposte. Non è possibile separare un dipolo magnetico ed ottenere un polo singolo.

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>I dipoli elettrici e magnetici sono simili: entrambi hanno lo stesso tipo di campo in punti lontani dalla sorgente, ed entrambe le sorgenti sono caratterizzate dai rispettivi momenti di dipolo.

<Source>^Wolfson 2008^:510

<Concept field>Proprietà e fenomeni magnetici

<Related words>^magnetismo^

<Type of relation>super.

<Related words>^polo magnetico^

<Type of relation>sub.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “dipolo magnetico” e “磁偶极子” esiste piena identità concettuale.

<zh>磁偶极子

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王 2001^:125

<Lexica>按 ^youdao.com^

<Definition>具有等值异号的两个点磁荷构成的系统称为磁偶极子。

<Source>^youdao.com^

<Context>磁介质的分类和磁化强度我们将磁介质的分子或原子视为一磁偶极子, 即将磁介质看成是由许多小的磁偶极子组成的,这些磁偶极子的磁矩有三个来源,它们是:物质的原子或分子中的电子的自旋,电子绕核作轨道运动,原子核的自旋。

<Source>^王 2001^:125

<Concept field>磁特性和现象

<Related words>^磁性^

<Type of relation>super.

<Related words>^磁极^

<Type of relation>sub.

**

<Subject>Electricity and electronics/Elettricità ed elettronica

<Subfield>Electrodynamics (electric currents) and thermoelectricity/Elettrodinamica (correnti elettriche) e termoelettricità

<it>effetto Meissner

<Morphosyntax>noun group

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:573

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Effetto che si manifesta nelle sostanze superconduttrici, quando il campo esterno è inferiore ad un valore critico, tale per cui il ^campo magnetico^ al loro interno è sempre nullo.

<Source>Cfr. ^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Quando un materiale effettua la transizione dallo stato resistivo a quello superconduttivo, espelle attivamente i campi magnetici dal proprio interno. Questo fenomeno, chiamato effetto “Meissner”, è una proprietà di tutti i superconduttori che fu scoperta dai fisici tedeschi W. MEISSNER e R. Ochsenfeld nel 1933. In altri termini, il nucleo di un ^superconduttore^ non può essere penetrato da un campo magnetico applicato esternamente.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:573

<Concept field>superconduttività

<Related words>^superconduttore^

<Type of relation>general

<Related words>^superconduttività^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “effetto Meissner” e “迈斯纳效应” esiste piena identità concettuale.

<zh>迈斯纳效应

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王 2007^:4

<Lexica>按 ^youdao.com^

<Definition>当它被放置在磁铁上，超导材料和磁体互相排斥，这是因为迈斯纳效应，就是指材料进入超导状态会排斥磁场。

<Source>^youdao.com^

<Context>实验是把一个圆柱形样品放在垂直于轴线的^磁场^中冷却到^超导^态，并以小的检验^线圈^检查样品四周的磁场分布，结果并不像如前预料的那样，即磁场保留在^超导体^内不变，而是相反，当温度低于^临界温度^时，磁场分布发生改变，^磁通量^完全被排斥于圆柱体之外，并且在撤销外磁场后，磁场完全消失。可见，这种特殊的磁性质是独立于^零电阻^性质的又一基本特性。这种将磁通从超导体内排出去的效应称为迈斯纳效应。

<Source>^王 2007^:4

<Concept field>超导

<Related words>^超导体^

<Type of relation>general

<Related words>^超导^

<Type of relation>super.

**

<Subject>Magnetism/Magnetismo

<Subfield>Magnetic substances and their characteristic phenomena/Sostanze magnetiche e loro fenomeni caratteristici

<it>ferromagnetismo

<Morphosyntax>m.

<Source>^Wolfson 2008^:513

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>In fisica, l'insieme delle proprietà dei materiali ferromagnetici.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Il ^magnetismo^ che ci è più familiare è il ferromagnetismo, che si trova in pochi materiali, quali il ferro, il nichel, il cobalto e alcune leghe e composti.

<Source>^Wolfson 2008^:513

<Concept field>Ferromagnetismo

<Related words>magnetismo

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “ferromagnetismo” e “铁磁性” esiste piena identità concettuale.

<zh>铁磁性

<Morphosyntax>noun group

<Source>^田 2019^:10

<Definition>铁磁材料的特性。

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>铁磁性物质即使在较弱的磁场内，也可得到极高的此话强度，而且当外磁场移去后，仍可保留极强的磁性。

<Source>^田 2019^:10

<Concept field>铁磁性

<Related words>^磁性^

<Type of relation>super.

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>flusso magnetico

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Wolfson 2008^:534

<Definition>L'insieme di una serie di linee di campo magnetico che ha come valore il numero di linee da cui è composto.

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>La forza elettromotrice indotta in un circuito è proporzionale alla rapidità di variazione del flusso magnetico attraverso una qualunque superficie delimitata dal circuito.

<Source>^Wolfson 2008^:534

<Concept field>Proprietà e fenomeni magnetici

<Related words>^magnetismo^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “flusso magnetico” e “磁通量” esiste piena identità concettuale.

<zh>磁通量

<Morphosyntax>noun group

<Source>^唐/岳/肖 2020^:13

<Lexica>按 ^辞海之家^

<Definition>单位面积含有之磁力线数量。

<Source>^辞海之家^

<Context>在低速行驶时，线圈中产生的电流和由此产生的磁通量不足以使列车悬浮起来。因此，该类列车必须有轮子或其他形式的起落架来支持车体重量，直到它达到临界速度。

<Source>^唐/岳/肖 2020^:13

<Concept field>磁特性和现象

<Related words>^磁性^

<Type of relation>super.

**

<Subject>Electricity and electronics/Elettricità ed elettronica

<Subfield>Electrodynamics (electric currents) and thermoelectricity/Elettrodinamica (correnti elettriche) e termoelettricità

<it>flux pinning

<Morphosyntax>noun group

<Origin>loan word

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:574

<Definition>Effetto secondo il quale un campo magnetico rimane parzialmente “intrappolato” all'interno di un materiale superconduttore di tipo II.

<Source>Cfr. ^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:574

<Context>L'effetto flux pinning nei materiali ^HTS^ genera sia ^forze repulsive^ che attrattive la cui combinazione determina una sospensione stabile senza l'ausilio di un apparato di controllo attivo.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:574

<Concept field>superconduttività

<Related words>^superconduttività^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “flux pinning” e “磁通钉扎” esiste piena identità concettuale.

<zh>磁通钉扎

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王/王 2015^:2

<Lexica>按 ^youdao.com^

<Definition>磁通钉扎 (flux pinning) 是指超导体量子磁通线被缺陷或其他各种势阱所束缚的状态。由于涨落效应，磁通线总是在其平衡位置周围作无规则运动。当超导体中通以电流时，磁通线受到洛伦兹力作用会定向运动，并在其正常芯及其周围放出热量，超导体就会有电阻出现，不再是真正意义上的超导体。但超导材料中总有一些缺陷，或人为制造一些缺陷，使得磁通线刚好处于这些缺陷位置时，系统的总能量最低，因此磁通线会被束缚住，这个现象叫磁通钉扎。

<Source>^youdao.com^

<Context>高温超导磁悬浮是利用第 II 类^超导体^磁通钉扎作用，在外^磁场^中产生一个较大的屏蔽电流实现磁悬浮的同时，部分穿过超导体的磁通实现横向稳定的导向力。

<Source>^王/王 2015^:2

<Concept field>超导

<Related words>^超导^

<Type of relation>general

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>forza attrattiva

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:565

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Forza che si manifesta tra due cariche elettriche o due poli magnetici aventi cariche o poli opposti. L'intensità di tale forza è direttamente proporzionale al prodotto delle due cariche elettriche (o masse magnetiche) e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza.

<Source>Cfr. ^Treccani.it, vocabolario^

<Context>La tecnologia EMS utilizza forze attrattive generate tra un elettromagnete e un materiale ferromagnetico. Nelle applicazioni trasportistiche, le forze attrattive tra gli elettromagneti posizionati nel carrello del veicolo e la struttura metallica del binario sono usate ai fini della sospensione del veicolo stesso.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:565

<Concept field>Proprietà e fenomeni magnetici

<Related words>^forza repulsiva^

<Type of relation>ant.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “forza attrattiva” e “吸引力” esiste piena identità concettuale.

<zh>吸引力

<Morphosyntax>noun group

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>即作用在带电相反的物体或磁化相反的物体之间倾向使它们拉在一起并阻止其分开的力。

<Source>^汉典^

<Context>常导电磁悬浮一般采用列车两边包住轨道的抱轨形式, 通过车体底部的常规电磁体与位于电磁体上方的导磁轨道间的吸引力实现悬浮, 常导电磁悬浮又分为高速磁悬浮和中低速磁悬浮 2 类。

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Concept field>磁特性和现象

<Related words>^排斥力^

<Type of relation>ant.

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>forza elettromotrice indotta

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Mazzoldi/Nigro/Voci 2002^:169

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>In fisica, la forza elettromotrice indotta in un conduttore in conseguenza del moto di questo in un ^campo magnetico^.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Context>Siccome per avere corrente in un circuito è necessario che in esso sia presente una sorgente di forza elettromotrice, diciamo meglio che dal moto relativo tra una spira e un campo magnetico ha origine una forza elettromotrice, che viene chiamata indotta.

<Source>^Mazzoldi/Nigro/Voci 2002^:169

<Concept field>Proprietà e fenomeni magnetici

<Related words>^induzione elettromagnetica^

<Type of relation>general

<Related words>^forza elettromotrice^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “forza elettromotrice indotta” e “感应电动势” esiste piena identità concettuale.

<zh>感应电动势

<Morphosyntax>noun group

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>电磁感应现象是指放在变化^磁通量^中的导体，会产生电动势。此电动势称为感应电动势或感生电动势，若将此导体闭合成一回路，则该电动势会驱使电子流动，形成^感应电流^（^感生电流^）。

<Source>^汉典^

<Context>当车载悬浮^永磁体^(悬浮 Halbach 阵列)相对于导电轨道运动时,分布于导体板轨道内的^磁场^相对于导体板发生变化,根据^电磁感应^定律,在导体板内产生感应电动势,导体板本身各部分之间构成回路,生成与^磁体^一起运动的镜像^涡流^,涡流磁场与车载磁体相互排斥产生悬浮力,只要悬浮力足够大,车辆就会悬浮起来,车辆在运动方向上则受到来自涡流的电磁阻力。

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Concept field>磁特性和现象

<Related words>^磁感应^

<Type of relation>general

<Related words>^电动势^

<Type of relation>super.

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>forza repulsiva

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:573

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Forza che si manifesta tra due cariche elettriche o due poli magnetici aventi cariche o poli uguali. L'intensità di tale forza è direttamente proporzionale al prodotto delle due cariche elettriche (o masse magnetiche) e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza.

<Source>Cfr. ^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Quando un superconduttore interagisce con un campo magnetico, questo viene respinto (effetto Meissner) e si genera una forza repulsiva reciproca. Tale principio può essere utilizzato per realizzare architetture di treni Maglev in cui i superconduttori, posti a bordo, interagiscono con i campi magnetici del binario per generare le forze di sustentazione e di guida del veicolo.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:573

<Concept field>Proprietà e fenomeni magnetici

<Related words>^forza attrattiva^

<Type of relation>ant.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “forza repulsiva” e “排斥力” esiste piena identità concettuale.

<zh>排斥力

<Morphosyntax>noun group

<Source>^熊/邓 2021^:180

<Definition>即作用在带电相同的物体或磁化相同的物体之间倾向使它们分开并阻止其拉在一起的力。

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>车体运动时, ^永磁体^的^磁场^在轨道的^导体板^内形成^涡流^, 产生斜向上的排斥力,排斥力垂向分力为悬浮力,横向分力为导向力。

<Source>^熊/邓 2021^:180

<Concept field>磁特性和现象

<Related words>^吸引力^

<Type of relation>ant.

**

<Subject>Applied physics/Fisica applicata

<Subfield>Generation, modification, accumulation, transmission of electricity/ Generazione, modificazione, accumulazione, trasmissione dell'energia elettrica

<it>generatore elettrico

<Morphosyntax>m.

<Source>^Carotti 2003^:40

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Denominazione generica di apparecchi o dispositivi atti a produrre energia elettrica, distinti in primari, che convertono in energia elettrica energia di altra natura (per es., gli alternatori, le dinamo, le pile chimiche, elettriche, termoelettriche, ecc.), e secondari, che erogano energia elettrica derivante da altra energia elettrica, in qualche modo immagazzinata o trasformata (per es., gli accumulatori).

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Per permettere al mezzo di accelerare facilmente dal punto di arresto fino alla massima velocità, la forza del sistema di propulsione può essere regolata, con l'aiuto di convertitori, variando la resistenza e la frequenza della corrente alternata. Il motore diventa un generatore invertendo la direzione dell'onda e il veicolo, senza contatto, viene facilmente fermato (freno a recupero).

<Source>^Carotti 2003^:40

<Concept field>Generatori e convertitori

<Related words>generatore

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “generatore” e “发电机” esiste piena identità concettuale.

<zh>发电机

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王 2015^:77

<Lexica>按 ^辞海之家^

<Definition>由电磁感应作用而生电动势，使外电路上有电流流通而产生电力的机械。

<Source>^辞海之家^

<Context>电磁铁在导轨上高速运动时与感应线圈产生电流，感应电流产生变化的磁场，变化的磁场让车载发电机发电。

<Source>^王 2015^:77

<Concept field>发电机和转换器

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Engineering and related activities/Ingegneria e attività affini

<it>guidovia

<Morphosyntax>f.

<Source>^Lanzara/D’Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:565

<Definition>La guidovia è la struttura sulla quale viaggiano i treni Maglev ed è generalmente composta da una sovrastruttura, in cui si trovano la trave maestra e due rotaie di guida e da una sottostruttura

formata da colonne e fondamenta in cemento armato. I treni Maglev vengono supportati e guidati dalla guidovia che ha fundamentalmente tre ruoli: indirizzare il movimento del veicolo, supportarne il carico e trasferirlo al terreno. La guidovia può essere di vari tipi in base alla forma con la quale viene costruita, le forme principali sono quella ad “U”, quella a “T” e infine quella a “T”.

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>Il sistema EMS permette al treno di levitare in tutte le condizioni del moto, anche da fermo. La propulsione del veicolo è affidata ad un motore lineare distribuito lungo la guidovia.

<Source>^Lanzara/D’Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:565

<Concept field>Ingegneria ferroviaria e stradale

<Equivalence it-zh>Tra i termini “guidovia” e “导轨” esiste piena identità concettuale.

<zh>导轨

<Morphosyntax>noun

<Source>^王 2015^:67

<Lexica>按 ^辞海之家^

<Definition>导轨是金属或其它材料制成的槽或脊，可承受、固定、引导移动装置或设备并减少其摩擦的一种装置。导轨表面上的纵向槽或脊，用于导引、固定机器部件、专用设备、仪器等。导轨又称滑轨、线性导轨、线性滑轨，用于直线往复运动场合，拥有比直线轴承更高的额定负载，同时可以承担一定的扭矩，可在高负载的情况下实现高精度的直线运动。

<Source>^辞海之家^

<Context>磁悬浮铁路比轮轨铁路优越就在于，它利用了电磁铁同性相斥原理而产生电磁悬浮，将列车悬浮在导轨上方，从而消除了轮轨接触所产生的摩擦力。

<Source>^王 2015^:67

<Concept field>铁路和道路工程

**

<Subject>Applied physics/Fisica applicata

<Subfield>Electrotechnical engineering; lighting; superconductivity; magnetic engineering; applied optics; parafotic technology; electronics; communications engineering; processors/Ingegneria elettrotecnica; illuminazione; superconduttività; ingegneria magnetica; ottica applicata; tecnologia parafotica; elettronica; ingegneria delle comunicazioni; elaboratori

<it>induzione elettromagnetica

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Wolfson 2008^:532

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Fenomeno per cui, se un circuito elettrico è posto in un ^campo magnetico^, al variare del flusso d'^induzione magnetica^ concatenato col circuito si manifesta in quest'ultimo una ^forza elettromotrice indotta^ la quale tende a far circolare nel circuito stesso una corrente tale che il campo magnetico da essa creato si oppone alla variazione del flusso concatenato che l'ha generata.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>In un circuito soggetto ad un campo magnetico variabile nasce una corrente indotta. Questo fenomeno viene definito induzione elettromagnetica e gli effetti elettrici da cui è caratterizzato hanno origine da campi magnetici variabili.

<Source>Cfr. ^Wolfson 2008^:532

<Concept field>Ingegneria magnetica

<Related words>^forza elettromotrice indotta^

<Type of relation>general

<Related words>corrente indotta

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “induzione elettromagnetica” e “电磁感应” esiste piena identità concettuale.

<zh>电磁感应

<Morphosyntax>noun group

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>电磁感应现象是指放在变化^磁通量^中的导体，会产生^电动势^。此电动势称为感应电动势或感生电动势，若将此导体闭合成一回路，则该电动势会驱使电子流动，形成^感应电流^（^感生电流^）。

<Source>^汉典^

<Context>当车载悬浮永磁体(悬浮 Halbach 阵列)相对于导电轨道运动时,分布于导体板轨道内的磁场相对于导体板发生变化,根据电磁感应定律,在导体板内产生感应电动势,导体板本身各部分之间构成回路,生成与磁体一起运动的镜像涡流,涡流磁场与车载磁体相互排斥产生悬浮力,只要悬浮力足够大,车辆就会悬浮起来,车辆在运动方向上则受到来自涡流的电磁阻力。

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Concept field>磁工程

<Related words>^感应电动势^

<Type of relation>general

<Related words>感应电流

<Type of relation>general

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>induzione magnetica

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^熊/邓 2021^:579

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Fenomeno per cui un corpo, sottoposto all'azione di un ^campo magnetico^, si magnetizza a sua volta; all'intensità di tale fenomeno si può ricondurre l'omonimo vettore intensità magnetica (misurato in tesla) che, più in generale, dà conto delle azioni che un campo magnetico esercita su di un circuito percorso da corrente o su cariche elettriche in movimento.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Poiché la dinamica del veicolo assume un ruolo chiave per lo sviluppo dei sistemi ^Maglev^ ad alta velocità, sono state condotte analisi agli elementi finiti per meglio individuare le relazioni tra induzione magnetica, densità di corrente interna e forze di levitazione nei materiali ^HTS^. Inoltre, al fine di studiare la dinamica del sistema HTS sotto l'azione del campo magnetico esterno, sono stati definiti appositi modelli matematici idonei a computare le forze di sostentazione e di guida. Sulla base di questi modelli, sono state studiate sistematicamente le caratteristiche non lineari di vibrazione degli apparati HTS interagenti con magneti permanenti distribuiti secondo lo schema di Halbach.

<Source>^熊/邓 2021^:579

<Concept field>Sostanze magnetiche e loro fenomeni caratteristici

<Related words>induzione

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “induzione magnetica” e “磁感应” esiste piena identità concettuale.

<zh>磁感应

<Morphosyntax>noun group

<Source>^唐/岳/肖 2020^:7

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>因具磁性物体的靠近，而使未磁性的物体磁性的现象。

<Source>^汉典^

<Context>电磁环境指标主要由电场强度和磁感应强度决定，考虑到乘客及工作人员的电磁辐射问题，中国对于动车组内 0-20kHz 低频[^]磁场[^]限值甚至给出了比国际标准更严格的规定。

<Source>[^]唐/岳/肖 2020[^]:7

<Concept field>磁性物质及磁性物质的特征现象

<Related words>感应

<Type of relation>super.

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>magnetizzazione

<Morphosyntax>f.

<Source>[^]Panareo 2021[^]:14

<Lexica>Attestato in [^]Treccani.it, vocabolario[^]

<Definition>Atto, operazione o processo di magnetizzare; anche, il fatto di magnetizzarsi o d'essere magnetizzato.

<Source>[^]Treccani.it, vocabolario[^]

<Context>Mentre nei materiali paramagnetici la magnetizzazione dipende dalla presenza di un [^]campo Magnetico[^] esterno per cui, all'annullarsi del campo tale magnetizzazione viene meno, nei materiali ferromagnetici è possibile osservare una magnetizzazione anche in assenza di un campo magnetico esterno (magnetizzazione spontanea).

<Source>[^]Panareo 2021[^]:14

<Concept field>Proprietà e fenomeni magnetici

<Related words>[^]magnetismo[^]

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “magnetizzazione” e “磁化” esiste piena identità concettuale.

<zh>磁化

<Morphosyntax>noun

<Source>^田 2019^:10

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>物体在^磁场^作用下变成具有磁性的过程。

<Source>^汉典^

<Context>^顺磁性^物质的主要特征是，不论外加磁场是否存在，原子内部存在永久^磁矩^。但在五外加磁场时，由于顺磁物质的原子做无规则的热振动，宏观看来，没有^磁性^；在外加磁场作用下，每个原子磁矩比较规则地取向，物质显示机弱地磁性。磁化强度与外磁场方向一致。

<Source>^田 2019^:10

<Concept field>磁特性和现象

<Related words>^磁性^

<Type of relation>super.

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>momento magnetico

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Panareo 2021^:13

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>In un sistema (detto dipolo magnetico) costituito da due masse magnetiche dello stesso valore e di opposta polarità, a una certa distanza l'una dall'altra, è il vettore dato dal prodotto della massa per la distanza, diretto dalla massa Sud verso quella Nord.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>L'applicazione di un campo magnetico esterno ad una sostanza diamagnetica determina l'induzione nel materiale di un debole momento magnetico di verso opposto a quello del campo, tale momento si annulla alla rimozione del campo esterno.

<Source>^Panareo 2021^:13

<Concept field>Proprietà e fenomeni magnetici

<Related words>^magnetismo^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “momento magnetico” e “磁矩” esiste piena identità concettuale.

<it>momento di dipolo magnetico

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>uncommon

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>L'atomo del neon ha 10 elettroni disposti secondo la configurazione $1s^2 2s^2 2p^2$; poiché tutte le coppie di elettroni per livello sono appaiate con momenti magnetici di spin contrapposti, l'atomo di questo elemento non presenta un momento di dipolo magnetico permanente, come mostrato dal diagramma orbitale di figura.

<Source>^Panareo 2021^:13

<zh>磁矩

<Morphosyntax>noun group

<Source>^田 2019^:10

<Definition>在^磁偶极子^中，磁矩是矢量，方向由负磁荷指向正磁荷。

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>顺磁性物质的主要特征是，不论外加磁场是否存在，原子内部存在永久磁矩。但在外加磁场时，由于顺磁物质的原子做无规则的热振动，宏观看来，没有^磁性^；在外加磁场作用下，每个原子磁矩比较规则地取向，物质显示微弱地磁性。

<Source>^田 2019^:10

<Concept field>磁特性和现象

<Related words>^磁性^

<Type of relation>super.

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Applied physics/Fisica applicata

<it>motore lineare sincrono

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:579

<Definition>I motori lineari funzionano esattamente nello stesso modo di quelli tradizionali con l'unica differenza che stator e rotore non hanno più una forma circolare ma vengono distesi su un piano formando due strutture parallele che prendono il nome rispettivamente di primario e secondario. Il primario di un motore lineare invece di generare un campo magnetico rotatorio genera un campo che si propaga orizzontalmente lungo la sua lunghezza. A sua volta, il secondario, non subisce più una forza rotatoria ma una lineare. Di conseguenza il motore lineare produce un movimento lineare da cui prende

anche il nome. Il motore in questione viene definito lineare sincrono perché permette di far viaggiare il veicolo sul quale viene installato in maniera sincrona con in campo magnetico.

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>Nel 2021 è stato sviluppato, a scala reale, il prototipo ad alta velocità HTS Maglev con capacità di carico superiore a 15 t. La scocca portante del veicolo (lungo 21 m e largo e 3,2 m) è realizzata in materiale composito in fibra di carbonio. Il sistema utilizza un motore lineare sincrono ad un solo lato (a statore lungo e magneti permanenti) con modalità di frenatura sia elettromeccanica che a correnti parassite.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:579

<Concept field>Motori elettrici e motori connessi

<Related words>^motore lineare ad induzione^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “motore lineare sincrono” e “直线同步电机” esiste piena identità concettuale.

<zh>直线同步电机

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王 2015^:69

<Lexica>按 ^youdao.com^

<Definition>直线同步电动机在原理上，与相应的旋转同步电机完全一样。六十年代后，由于它作为高速地面运输的推进装置以及八十年代后作为提升装置的动力而变得重要起来。与普通同步电机一样，它具有多相电枢绕组和直流激磁的^磁场^。直流磁场的激磁方式可以是常规式的，也可以由超导体激磁绕组来激磁，还可以采用^永磁体^。虽然从原理上看，直线同步电动机作为电枢移动式或是磁场移动式都可以，但似乎后一种型式更实用些。

<Source>^youdao.com^

<Context>可以根据直线同步电机和直线感应电机划分磁悬浮的种类，直线同步电机一般采用^长定子^技术，^转子^磁场与^定子^磁场同步运行，控制定子磁场的移动速度就可以准确控制列车的运行速度，适合高速和超高速磁浮铁路。

<Source>^王 2015^:69

<Concept field>电动机和有关电动机

<Related words>^直线感应电机 ^

<Type of relation>general

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Theories and mathematical physics/Teorie e fisica matematica

<it>onda elettromagnetica

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Carotti 2003^:40

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Onde che si destano in un mezzo materiale o nel vuoto, generate da cariche elettriche accelerate ; la perturbazione ondosa è sempre costituita da un campo elettrico e da un ^campo magnetico^, variabili nel tempo. Tale perturbazione si propaga tutt'intorno nel mezzo sotto forma di onde che convogliano energia elettromagnetica. Chiamando sorgente la zona in cui è prodotta la perturbazione iniziale, potremo anche dire che le onde elettromagnetiche sono perturbazioni di carattere ondoso dello stato elettrico e magnetico del mezzo, mediante le quali si propaga la radiazione elettromagnetica irraggiata dalla sorgente.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Context>A differenza del caso di rotazione di un motore tradizionale, il motore lineare a statore lungo produce un'onda elettromagnetica che, con l'intervento dei magneti di levitazione del mezzo, muove il mezzo lungo la linea guida.

<Source>^Carotti 2003^:40

<Concept field>Teoria elettromagnetica

<Related words>^elettromagnetismo^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “onda elettromagnetica” e “电磁波” esiste piena identità concettuale.

<zh>电磁波

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>main term

<Source>^土井 2016^:257

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>在空间传播的周期性变化的电磁场。无线电波和光线、X 射线、γ射线等都是波长不同的电磁波。

<Source>^汉典^

<Context>通过位移电流的纽带作用， 随时间变化的电场和磁场均会引起相互之间的感应效应， 这种感应效应在空间中向波浪一样传播， 就形成了电磁波。

<Source>^土井 2016^:257

<Concept field>电磁理论

<Related words>^电磁学^

<Type of relation>super.

<zh>电波

<Morphosyntax>noun group

<Category>short form

<Usage label>common

<Source>^漢典^

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Applied physics/Fisica applicata

<it>pantografo

<Morphosyntax>m.

<Source>^Policicchio 2007^:147

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Organo di presa di corrente nei veicoli elettrici alimentati da linea aerea di contatto; è chiamato così per la sua forma, simile a quella dello strumento per disegnare.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Il pantografo è la presa di corrente utilizzata nei locomotori per la captazione della corrente dalla linea di contatto. Esso è costituito da un sistema articolato (quadro), montato, a mezzo di isolatori, sul tetto del rotabile e da un archetto munito di “striscianti”, che sono a diretto contatto con il filo o i fili della linea elettrica di contatto.

<Source>^Policicchio 2007^:147

<Concept field>Trasmissione dell’energia elettrica per le ferrovie

<Equivalence it-zh>Tra i termini “pantografo” e “受电弓” esiste piena identità concettuale.

<zh>受电弓

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王 2015^:73

<Lexica>按 ^youdao.com^

<Definition>电力牵引机车从接触网取得电能的电气设备，安装在机车或动车车顶上。受电弓可分单臂弓和双臂弓两种，均由滑板、上框架、下臂杆（双臂弓用下框架）、底架、升弓弹簧、传动气缸、支持绝缘子等部件组成。

<Source>^youdao.com^

<Context>中低速磁悬浮列车需要外部供电才能让电磁铁产生磁力，让直线电机产生牵引力。列车直接从导轨一侧的直流供电获得 1500V 的直流电，在车辆的底部设置有电刷，在列车运行过程中通过电刷接触供电，就像高铁动车组顶部的受电弓从接触网上受电一样。

<Source>^王 2015^:73

<Concept field>铁路电力传输

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>paramagnetismo

<Morphosyntax>m.

<Source>^Usai 2013^:13

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>In fisica, la proprietà di una sostanza di essere paramagnetica, e anche il complesso dei fenomeni magnetici propri delle sostanze paramagnetiche.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Il paramagnetismo è la proprietà caratteristica di alcune sostanze che presentano permeabilità magnetica assoluta costante e poco maggiore di quella del vuoto.

<Source>^Usai 2013^:13

<Concept field>Paramagnetismo

<Related words>^magnetismo^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “paramagnetismo” e “顺磁性” esiste piena identità concettuale.

<zh>顺磁性

<Morphosyntax>noun group

<Source>^田 2019^:10

<Definition>顺磁性是指它们被^磁场^弱吸引的材料特性。当暴露于外部磁场时，内部感应磁场形成在与施加电场相同方向排列的材料中。一旦施加的场被移除，材料失去其磁性。

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>顺磁性物质的主要特征是，不论外加磁场是否存在，原子内部存在永久^磁矩^。但在外加磁场时，由于顺磁物质的原子做无规则的热振动，宏观看来，没有^磁性^；在外加磁场作用下，每个原子磁矩比较规则地取向，物质显示微弱地磁性。

<Source>^田 2019^:10

<Concept field>顺磁性

<Related words>^磁性^

<Type of relation>super.

**

<Subject>Electricity and electronics/Elettricità ed elettronica

<Subfield>Electrodynamics (electric currents) and thermoelectricity/Elettrodinamica (correnti elettriche) e termoelettricità

<it>piastra conduttrice

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:570

<Definition>Piastra in materiale conduttore, come alluminio o acciaio, posizionata lungo la guidovia dei sistemi Maglev che interagisce con i magneti a bordo del veicolo permettendo la levitazione magnetica.

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>La levitazione elettrodinamica a ^magneti permanenti^ si basa sull'interazione tra PMs montati sul veicolo (secondo lo schema di HALBACH) e la piastra conduttrice del binario.

<Source>Cfr. ^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:570

<Concept field>Conduttività e resistenza elettrica

<Equivalence it-zh>Tra i termini “piastra conduttrice” e “导体板” esiste piena identità concettuale.

<zh>导体板

<Morphosyntax>noun group

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Definition>以铝或钢等导电材料制成的板，沿磁悬浮系统的^导轨^定位. 导体板与车辆上的磁铁相互作用，实现磁悬浮。

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>永磁电动磁悬浮技术是利用^永磁体^同极相斥的原理使车体^悬浮^。悬浮原理简单，在车辆走行部底端安装有由钕铁硼材料制成的永磁体，而在轨道上方安装有导电体（导体板）。

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Concept field>电导和电阻

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>polo magnetico

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Mazzoldi/Nigro/Voci 2002^:120

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Ciascuna delle due estremità di una sbarretta magnetizzata o di un magnete o di un elettromagnete, presso le quali sono massimi gli effetti del ^campo magnetico^; i due poli di uno stesso magnete risultano essere sempre di due nature opposte nelle interazioni con un ulteriore campo magnetico esterno, per es. quello terrestre: rispetto a questo viene definito polo nord quello che in una calamita libera di orientarsi è diretto verso il polo geografico nord e polo sud l'altro polo.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>La proprietà di attirare la limatura di ferro, mostrata da alcuni minerali di ferro e in particolare dalla magnetite, era già nota nel VII secolo a.C. Tale proprietà di attrazione non è uniformemente presente nel materiale e le parti in cui quest'ultima si localizza si chiamano i poli del magnete.

<Source>Cfr. ^Mazzoldi/Nigro/Voci 2002^:120

<Concept field>Proprietà e fenomeni magnetici

<Related words>^magnetismo^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh> Tra i termini "polo magnetico" e "磁极" esiste piena identità concettuale.

<zh>磁极

<Morphosyntax>noun group

<Source>^李/杨 2020^:445

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>磁体上磁性最强的部分叫磁极。磁体周围存在磁场，磁体间的相互作用就是以磁场作为媒介的。一个磁体无论多么小都有两个磁极，可以在水平面内自由转动的磁体，静

止时总是一个磁极指向南方，另一个磁极指向北方，指向南的叫做南极（S 极），指向北的叫做北极（N 极）。之间呈现同名磁极相互排斥、异名磁极相互吸引的现象。

<Source>^汉典^

<Context>根据仿真结果，利用 ANSYS MAXWELL 搭建悬浮^电磁铁^三维分析模型，并作适当简化，对磁极横向偏移时保证悬浮力下的安匝数、导向力和导向刚度进行电磁仿真分析，为磁浮列车悬浮电磁铁参数优化提供理论依据。

<Source>^李/杨 2020^:445

<Concept field>磁特性和现象

<Related words>^磁性^

<Type of relation>super.

**

<Subject>Applied physics/Fisica applicata

<Subfield>Generation, modification, accumulation, transmission of electricity/ Generazione, modificazione, accumulazione, trasmissione dell'energia elettrica

<it>raddrizzatore

<Morphosyntax>m.

<Source>^Rashid/Terreni 2002^:98

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>In elettrotecnica (anche come agg.), dispositivo costituito in genere da circuiti elettrici (detti circuiti raddrizzatori) che consentono di convertire una corrente elettrica alternata in una corrente unidirezionale.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>I diodi possono essere utilizzati per realizzare dei raddrizzatori, cioè per convertire una tensione alternata in una continua.

<Source>^Rashid 2002^:98

<Concept field>Generatori e convertitori

<Equivalence it-zh>Tra i termini “raddrizzatore” e “整流器” esiste piena identità concettuale.

<zh>整流器

<Morphosyntax>noun group

<Source>^徐/李/刘/林 2013^:V

<Lexica>按 ^辞海之家^

<Definition>用于整流的装置。其原理为抑制或减弱^交流电^某一方向的半周内的电流，使交流电变成^直流电^。

<Source>^辞海之家^

<Context>大量的用电器首先将交流 50Hz 的市电电能转换成直流电能， 然后才加以使用。这种将交流电转换成直流电的装置通常称为整流器， 也称为 AC•DC 电力电子变换器。

<Source>^徐/李/刘/林 2013^:V

<Concept field>发电机和转换器

**

<Subject>Chemical engineering and related technologies/Ingegneria chimica e tecnologie connesse

<Subfield>Metallurgy/Metallurgia

<it>rame

<Morphosyntax>m.

<Source>^Morini 1996^:13

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>In chimica, elemento di simbolo Cu, peso atomico 63,55, numero atomico 29, metallo di colore rosso caratteristico, estremamente duttile e malleabile, ottimo conduttore del calore e dell'elettricità, facilmente alterabile in presenza di umidità.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Sistema Maglev di tipo EMS: in condizioni di riposo il veicolo appoggia sulla pista in corrispondenza dei punti di supporto; quando si alimentano in corrente continua gli elettromagneti, posti sulla parte inferiore del veicolo e dotati di nucleo di ferro e bobine di rame, essi vengono attratti dalla rotaia ferromagnetica posta lungo la pista, sollevando il veicolo stesso.

<Source>^Morini 1996^:13

<Concept field>Rame

<Equivalence it-zh>Tra i termini "rame" e "铜" esiste piena identità concettuale.

<zh>铜

<Morphosyntax>noun

<Source>^王 2007^:13

<Lexica>按 ^辞海之家^

<Definition>化学元素。原子序 29。金属元素之一。呈淡红色，柔韧有金属光，富延展性，为良好的导电、导热体。在潮湿空气中，表面会慢慢氧化形成绿色的碱式碳酸铜，俗称为铜绿。易与其他金属形成合金，今广泛运用于工业、工程与艺术等方面，可制货币及种种器械等；也可供制导线及电铸板，为不可或缺的材料。

<Source>^辞海之家^

<Context>和 Nb Ti ^超导体^相同，为了获得实用化的超导体线，使用高纯铜或其合金作为稳定化基材，超导体制作成极细的超导体丝。

<Source>^王 2007^:13

<Concept field>铜

**

<Subject>Applied physics/Fisica applicata

<Subfield>Electronics/Elettronica

<it>feedback

<Morphosyntax>noun

<Usage label>main term

<Origin>loan word

<Source>^Intilla 2015^:38

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Processo per cui l'effetto risultante (ossia la variabile d'uscita) dell'azione di un sistema viene fatto retroagire, mediante opportuni organi, sui parametri che regolano il funzionamento del sistema stesso (ossia sulla variabile d'ingresso) in modo da modificarlo e correggerlo.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>La ^retroazione^, nota anche come feedback, è il meccanismo mediante il quale i sistemi dinamici sono in grado di rinviare al punto di inizio di un processo ciclico un'informazione sul processo stesso che possa essere utilizzata per migliorarlo o correggerne l'andamento. In base alla disponibilità o meno di tale meccanismo, i sistemi vengono differenziati fra retroazionati (ad anello chiuso) e non retroazionati (ad anello aperto).

<Source>^Intilla 2015^:38

<Concept field>Amplificatori e circuiti di retroazione

<Related words>anello di retroazione

<Type of relation>sub.

<Related words>retroazione positiva

<Type of relation>sub.

<Related words>retroazione negativa

<Type of relation>sub.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “feedback” e “反馈” esiste piena identità concettuale.

<it>retroazione

<Morphosyntax>f.

<Usage label>uncommon

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>^Intilla 2015^:38

<Source>La retroazione, nota anche come feedback, è il meccanismo mediante il quale i sistemi dinamici sono in grado di rinviare al punto di inizio di un processo ciclico un’informazione sul processo stesso che possa essere utilizzata per migliorarlo o correggerne l’andamento. In base alla disponibilità o meno di tale meccanismo, i sistemi vengono differenziati fra retroazionati (ad anello chiuso) e non retroazionati (ad anello aperto).

<zh>反馈

<Morphosyntax>noun

<Source>^张/严/徐/武 2004^:46

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>反馈（feedback）是系统与环境相互作用的一种形式。在系统与环境相互作用过程中，系统的输出成为输入的部分，反过来作用于系统本身，从而影响系统的输出。根据反馈对输出产生影响的性质，可区分为正反馈和负反馈。前者增强系统的输出；后者减弱系统的输出。

<Source>^汉典^

<Context>德国的 Transrapid (简称 TR) 属于^电磁悬浮型^ (Electromagnetic suspension 简称 EMS), 它利用悬浮架两侧的可控直流电磁铁与导轨间的吸力来提升车体, 为了保证^悬浮^的稳定性,

必须外加反馈控制来调节电磁铁的[^]线圈[^]电流, 从而改变提升力的大小, 使提升力与车体重力保持动态平衡。

<Source>[^]张/严/徐/武 2004[^]:46

<Concept field>放大器和反馈电路

<Related words>反馈回路

<Type of relation>sub.

<Related words>正反馈

<Type of relation>sub.

<Related words>负反馈

<Type of relation>sub.

<zh>feedback

<Morphosyntax>noun

<Usage label>common

<Origin>loan word

<Source>[^]汉典[^]

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Applied physics/Fisica applicata

<it>rotore

<Morphosyntax>m.

<Source>[^]Intilla 2015[^]:40

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Organo rotante di macchine e apparati meccanici ed elettrici. In particolare: nelle macchine elettriche, la parte rotante (contrapposta allo statore, la parte fissa).

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>I cuscinetti magnetici attivi, utilizzano la sospensione magnetica per sostenere normalmente alberi rotandi senza contatto. L'elemento base che permette di esercitare le forze a mantenere il rotore in equilibrio è l'attuatore magnetico bilatero.

<Source>^Intilla 2015^:40

<Concept field>Motori elettrici e motori connessi

<Related words>^statore^

<Type of relation>ant.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “rotore” e “转子” esiste piena identità concettuale.

<zh>转子

<Morphosyntax>noun

<Source>^王 2015^:66

<Lexica>按 ^辞海之家^

<Definition>转子是指在零件（或机件）中的旋转的部分，如在电机机械之旋转部分，如马达中的转子；如在气轮机中涡轮与压缩机中的旋轮也叫转子；如在飞行器中提供部分或全部升力与推力之旋转叶片组也叫转子。

<Source>^辞海之家^

<Context>传统的电机是圆形的，通过转子绕着固定轴（^定子^）旋转产生电力，而磁悬浮铁路采用非轮轨接触的牵引技术，它使用的直线电机沿着轨道一字铺开，就相当于将圆形电机展开成平面，从而获得牵引动力。

<Source>^王 2015^:66

<Concept field>电动机和有关电动机

<Related words>^定子^

<Type of relation>ant.

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Theories and mathematical physics/Teorie e fisica matematica

<it>schermatura

<Morphosyntax>f.

<Source>^Morini 1996^:16

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Processo atto ad annullare o ridurre l'effetto di disturbo causato dai campi elettrici o magnetici o elettromagnetici.

<Source>Cfr. ^Treccani.it, vocabolario^

<Context>L'ampiezza dei campi magnetici nei sistemi EDS richiede la schermatura elettromagnetica del veicolo.

<Source>^Morini 1996^:16

<Concept field>Teoria elettromagnetica

<Related words>^campo elettromagnetico^

<Type of relation>general

<Related words>^schermatura magnetica^

<Type of relation>sub.

<Related words>^schermatura elettromagnetica^

<Type of relation>sub.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “schermatura” e “屏蔽” esiste piena identità concettuale.

<zh>屏蔽

<Morphosyntax>noun

<Source>^王/王 2015^:2

<Definition>以防止电场或^磁场^或^电磁场^对设备的影响或设备的电磁场对外界干扰的措施。

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>高温超导磁悬浮是利用第 II 类^超导体^^磁通钉扎^作用，在外磁场中产生一个较大的屏蔽电流实现磁悬浮的同时，部分穿过超导体的磁通实现横向稳定的导向力。

<Source>^王/王 2015^:2

<Concept field>电磁理论

<Related words>^电磁场^

<Type of relation>general

<Related words>^磁屏蔽^

<Type of relation>sub.

<Related words>^电磁屏蔽^

<Type of relation>sub.

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Applied physics/Fisica applicata

<it>solenoide

<Morphosyntax>m.

<Source>^Enriotti 2008^:520

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>In elettrologia, bobina costituita da un conduttore filiforme, avvolto a spire serrate su un supporto tubolare, che quando è percorso da corrente elettrica genera un campo magnetico in tutto lo spazio circostante.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Un avvolgimento molto lungo, con spire molto vicine è un solenoide.

<Source>^Enriotti 2008^:520

<Concept field>Generazione, modificazione, accumulazione, trasmissione dell'energia elettrica

<Related words>^bobina^

<Type of relation>sub.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “solenoido” e “螺线管” esiste piena identità concettuale.

<zh>螺线管

<Morphosyntax>noun group

<Source>^土井 2016^:151

<Lexica>按 ^辞海之家^

<Definition>螺线管是个三维线圈。在物理学里，术语螺线管指的是多重卷绕的导线，卷绕内部可以是空心的，或者有一个金属芯。当有电流通过导线时，螺线管内部会产生均匀磁场。螺线管是很重要的元件。很多物理实验的正确操作需要有均匀磁场。螺线管也可以用于电磁铁或电感器。

<Source>^辞海之家^

<Context>绝缘导线紧密排列在圆筒表面上称螺线管，当圆筒轴线方向的长度充分长时，将其称为无限长螺线管。

<Source>^土井 2016^:151

<Concept field>电能的生产, 转换, 储存, 传输

<Related words>^线圈^

<Type of relation>sub.

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Applied physics/Fisica applicata

<it>statore

<Morphosyntax>m.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:562

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Nella tecnica, termine generico per indicare la parte fissa (detta anche carcassa, capsula o involucro, secondo i casi) nel cui interno ruota la parte mobile (detta, per contrapp., rotore) di un dispositivo, di una macchina, ecc.: ha una funzione protettiva e talvolta portante in quanto in esso sono ricavati i supporti per i perni dell'albero della macchina; serve a fissare la macchina sulle sue fondazioni e spesso porta apparecchiature varie di alimentazione e di scarico, di manovra e di controllo.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Il concetto di funzionamento del motore lineare deriva da quello del motore rotativo in cui lo statore ed il rotore sono idealmente sezionati in direzione radiale e distesi su un piano in modo da creare due strutture parallele denominate rispettivamente primario e secondario.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:562

<Concept field>Motori elettrici e motori connessi

<Related words>rotore

<Type of relation>ant.

<Related words>statore lungo

<Type of relation>sub.

<Related words>statore corto

<Type of relation> sub.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “statore” e “定子” esiste piena identità concettuale.

<zh>定子

<Morphosyntax>noun

<Source>^王 2015^:63

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>机器的固定部件, 转子在它里面或围绕它旋转。

<Source> ^汉典^

<Context>除了速度优势之外，磁浮铁路还具有很多优点，比如采用了无接触、无摩擦和无磨损的支承、导向与驱动技术，通过安装在轨道上面的同步长定子线性电动机提供动力，在各种速度条件下均能保证乘客安全舒适。

<Source>^王 2015^:63

<Concept field>电动机和有关电动机

<Related words>转子

<Type of relation>ant.

<Related words>长定子

<Type of relation>sub.

<Related words>短定子

<Type of relation>sub.

**

<Subject>Electricity and electronics/Elettricità ed elettronica

<Subfield>Electrodynamics (electric currents) and thermoelectricity/Elettrodinamica (correnti elettriche) e termoelettricità

<it>superconduttività

<Morphosyntax>f.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:573

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Il fenomeno, detto superconduttività, fu scoperto da Heike Kamerlingh Onnes nel mercurio. Lo stato superconduttivo, oltre che dalla ^resistenza elettrica nulla^, è caratterizzato dall'espulsione del ^campo magnetico^: il campo d'induzione magnetica B all'interno d'un ^superconduttore^ immerso in un campo magnetico H, d'intensità inferiore a un valore critico H_c, è nullo (effetto Meissner-Ochsenfeld).

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Context>Nei superconduttori del I° tipo la superconduttività viene bruscamente “distrutta” attraverso una transizione immediata di fase quando l'intensità del campo applicato supera il valore critico H_c.

<Source>Cfr. ^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:573

<Concept field>Superconduttività

<Related words>^superconduttore^

<Type of relation>sub.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “superconduttività” e “超导” esiste piena identità concettuale.

<zh>超导

<Morphosyntax>noun

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Lexica>按 ^辞海之家^

<Definition>一般是指超导电性，即在低温环境下某些物质呈现出零电阻的性质。

<Source>^辞海之家^

<Context>低温超导电磁悬浮采用低温超导材料将材料温度降到极低（- 2 6 9 °C）以至超导状态,趋于零电阻。

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Concept field>超导

<Related words>^超导体^

<Type of relation>sub.

**

<Subject>Applied physics/Fisica applicata

<Subfield>Electrotechnical engineering; lighting; superconductivity; magnetic engineering; applied optics; parafotic technology; electronics; communications engineering; processors/Ingegneria elettrotecnica; illuminazione; superconduttività; ingegneria magnetica; ottica applicata; tecnologia parafotica; elettronica; ingegneria delle comunicazioni; elaboratori

<it>amperometro

<Morphosyntax>m.

<Source>^Wolfson 2008^:488

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Apparecchio per la misurazione dell'intensità di correnti elettriche, nel quale la misura è indicata su una scala graduata in ampere o in suoi multipli o sottomultipli.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Un amperometro misura la corrente che lo attraversa. Per misurare la corrente che attraversa un elemento di un circuito, bisogna interrompere il circuito e inserire l'amperometro in serie con

quell'elemento; solo in questo modo infatti tutta la corrente attraverso il componente in questione passa anche attraverso l'amperometro.

<Source>^Wolfson 2008^:488

<Concept field>Strumenti per misurare la corrente

<Related words>^corrente elettrica^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “amperometro” e “电流表” esiste piena identità concettuale.

<zh>电流表

<Morphosyntax>noun

<Source>^土井 2016^:160

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>电流表是指用来测量交、直流电路中电流的仪表。在电路图中，电流表的符号为“圈 A”。电流值以“安”或“A”为标准单位。

<Source>^汉典^

<Context>^电流^的安培值可采用电流表准确的测量。

<Source>^土井 2016^:160

<Concept field>电流测量仪器

<Related words>^电流^

<Type of relation>general

**

<Subject>Applied physics/Fisica applicata

<Subfield>Electrotechnical engineering; lighting; superconductivity; magnetic engineering; applied optics; parafotic technology; electronics; communications engineering; processors/Ingegneria elettrotecnica; illuminazione; superconduttività; ingegneria magnetica; ottica applicata; tecnologia parafotica; elettronica; ingegneria delle comunicazioni; elaboratori

<it>autoinduttanza

<Morphosyntax>f.

<Source>^Wolfson 2008^:542

<Definition>La proprietà di un conduttore secondo la quale una variazione nella corrente da cui è attraversato genera in quest'ultimo una forza elettromotrice indotta che si oppone alla variazione di corrente.

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>Tutti i circuiti sono soggetti all'autoinduttanza, ma questo fenomeno è più importante per i circuiti che concatenano una grande parte del proprio flusso magnetico, o quando le correnti variano rapidamente.

<Source>^Wolfson 2008^:542

<Concept field>Ingegneria magnetica

<Related words>^mutua induttanza^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “autoinduttanza” e “自感” esiste piena identità concettuale.

<zh>自感

<Morphosyntax>noun

<Source>^土井 2016^:203

<Lexica>按 ^漢典^

<Definition>当导体中的电流发生变化时，它周围的磁场就随着变化，并由此产生磁通量的变化，因而在导体中就产生感应电动势，这个电动势总是阻碍导体中原来电流的变化，此电动势即自感电动势。这种现象就叫做自感现象。

<Source>^[汉典](#)^

<Context>当流过^[线圈](#)^的电流变化时，通过线圈的磁通也随之变化，在线圈中产生^[感应电动势](#)^。感应电动势与电流随时间变化的关系被称为线圈的自感系数。

<Source>^[土井 2016](#)^:203

<Concept field>[磁工程](#)

<Related words>^[互感](#)^

<Type of relation>general

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Electricity and electronics/Elettricità ed elettronica

<it>corrente elettrica

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^[Wolfson 2008](#)^:531

<Lexica>Attestato in ^[Treccani.it, vocabolario](#)^

<Definition>Ordinato movimento di cariche elettriche in un mezzo conduttore dell'elettricità, e anche l'insieme delle cariche in movimento.

<Source>^[Treccani.it, vocabolario](#)^

<Context>Nel 1831 lo scienziato inglese Michael Faraday e l'americano Joseph Henry scoprirono, in maniera indipendente, che in circuiti soggetti a campi magnetici variabili hanno origine correnti elettriche.

<Source>^Wolfson 2008^:531

<Concept field>Elettrodinamica (Correnti elettriche) e termoelettricità

<Equivalence it-zh>Tra i termini “corrente elettrica” e “电流” esiste piena identità concettuale.

<zh>电流

<Morphosyntax>noun

<Source>^王 2015^:66

<Lexica>按 ^辞海之家^

<Definition>电荷的流动。电荷在导体中受到电压或^磁场^的影响，向某一方向所做的整体连续运动。其定量表示法称为电流强度，以安培为单位。

<Source>^辞海之家^

<Context>在^超导^状态下，由于超导材料的电阻为零，用它制成的^绕组^一旦施加电流之后，会永不衰竭，可以得到数十倍于永久磁铁的磁场强度。很明显，超导磁铁因为没有电阻，电流通过时不会产生热量，进而减少了电力的损耗，是一种最理想的电磁铁。

<Source>^王 2015^:66

<Concept field>电动力学（电流）和热电

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Applied physics/Fisica applicata

<it>EDS

<Morphosyntax>noun

<Category>initials

<Usage label>main term

<Origin>loan word

<Source>^Intilla 2015^:38

<Variant of>electrodynamic suspension

<Definition>La EDS è una tecnologia che si basa sull'utilizzo di forze repulsive derivanti dall'interazione di un dispositivo magnetico in movimento rispetto ad un conduttore fisso.

<Source>Cfr. ^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:569

<Context>I due tipi importanti di tecnologia ^Maglev^ sono i seguenti: - ^Sospensione Elettromagnetica^ (^EMS^): è un sistema che prevede l'utilizzo di elettromagneti controllati elettronicamente, che attraggono il treno verso una linea guida (^binario^ o ^monorotaia^, solitamente in ^acciaio^), magneticamente conduttiva. - Sospensione Elettrodinamica (EDS): questo sistema utilizza elettromagneti superconduttori (o forti magneti permanenti) che creano un ^campo magnetico^ che a sua volta induce delle correnti nei vicini conduttori metallici, quando vi è un movimento relativo che spinge e tira il treno verso la posizione di levitazione, specificatamente progettata per la linea guida (mono o bi-rotaia) del treno in questione.

<Source>^Intilla 2015^:38

<Concept field>Ingegneria elettrotecnica; illuminazione; superconduttività; ingegneria magnetica; ottica applicata; tecnologia parafotica; elettronica; ingegneria delle comunicazioni; elaboratori

<Related words>^treni a levitazione magnetica^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “EDS” e “电动磁悬浮” esiste piena identità concettuale.

<it>sospensione elettrodinamica

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>uncommon

<Source>^Intilla 2015^:38

<Context>I due tipi importanti di tecnologia ^Maglev^ sono i seguenti: - Sospensione Elettromagnetica (EMS): è un sistema che prevede l'utilizzo di elettromagneti controllati elettronicamente, che attraggono il treno verso una linea guida (^binario^ o ^monorotaia^, solitamente in ^acciaio^), magneticamente conduttiva. - ^Sospensione Elettrodinamica^ (EDS): questo sistema utilizza elettromagneti superconduttori (o forti magneti permanenti) che creano un ^campo magnetico^ che a sua volta induce delle correnti nei vicini conduttori metallici, quando vi è un movimento relativo che spinge e tira il treno verso la posizione di levitazione, specificatamente progettata per la linea guida (mono o bi-rotaia) del treno in questione.

<Source>^Intilla 2015^:38

<zh>电动磁悬浮

<Morphosyntax>noun group

<Source>^熊/邓 2021^:178

<Definition>电动磁悬浮技术由磁铁排斥力使车辆浮起来。当列车向前进时，车辆下面的电磁铁就使埋在轨道内的绕组中感应出电流，使轨道内绕组也变成了电磁铁，而且它与车辆下的磁铁产生相斥的磁力，把车辆向上推离轨道。

<Source>^Rinaldi 2021^

<Concept field>电工工程; 灯光; 超导; 磁工程; 应用光学; 仿射技术; 电子学; 通信工程; 处理器

<Related words>^磁悬浮列车^

<Type of relation>general

<zh>EDS

<Morphosyntax>noun

<Category>initials

<Usage label>common

<Origin>loan word

<Source>^张/张 2002^:81

<Variant of>electrodynamic suspension

<Context>EDS 依靠励磁线圈和短路线圈的相对运动得到斥力，所以列车要有足够的速度才能悬浮起来，大约为 100 km/h，它不适用于低速。

<Source>^张/张 2002^:81

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Applied physics/Fisica applicata

<it>EMS

<Morphosyntax>noun

<Category>initials

<Usage label>main term

<Origin>loan word

<Source>^Intilla 2015^:38

<Variant of>electromagnetic suspension

<Definition> La EMS è una tecnologia che si basa sulle forze attrattive che si generano dall'interazione tra un ^elettromagnete^ e un materiale ferromagnetico. Nei sistemi Maglev di tipo EMS, gli elettromagneti vengono posizionati sul carrello del veicolo mentre il materiale ferromagnetico si trova lungo la guidovia. La tecnologia in questione è utilizzata sia nei sistemi ad alta velocità, sia in quelli a bassa-media velocità. Nei primi il motore è un ^motore lineare sincrono^ mentre nei secondi viene utilizzato il ^motore lineare ad induzione^.

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>I due tipi importanti di tecnologia ^Maglev^ sono i seguenti: - Sospensione Elettromagnetica (EMS): è un sistema che prevede l'utilizzo di elettromagneti controllati elettronicamente, che attraggono

il treno verso una linea guida (^binario^ o ^monorotaia^, solitamente in ^acciaio^), magneticamente conduttiva. - ^Sospensione Elettrodinamica^ (EDS): questo sistema utilizza elettromagneti superconduttori (o forti magneti permanenti) che creano un ^campo magnetico^ che a sua volta induce delle correnti nei vicini conduttori metallici, quando vi è un movimento relativo che spinge e tira il treno verso la posizione di levitazione, specificatamente progettata per la linea guida (mono o bi-rotaia) del treno in questione.

<Source>^Intilla 2015^:38

<Concept field>Ingegneria elettrotecnica; illuminazione; superconduttività; ingegneria magnetica; ottica applicata; tecnologia parafotica; elettronica; ingegneria delle comunicazioni; elaboratori

<Related words>^treni a levitazione magnetica^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “EMS” e “常导电磁悬浮” esiste piena identità concettuale.

<it>sospensione elettromagnetica

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>uncommon

<Source>^Intilla 2015^:38

<Context>I due tipi importanti di tecnologia ^Maglev^ sono i seguenti: - Sospensione Elettromagnetica (EMS): è un sistema che prevede l'utilizzo di elettromagneti controllati elettronicamente, che attraggono il treno verso una linea guida (^binario^ o ^monorotaia^, solitamente in ^acciaio^), magneticamente conduttiva. - ^Sospensione Elettrodinamica^ (EDS): questo sistema utilizza elettromagneti superconduttori (o forti magneti permanenti) che creano un ^campo magnetico^ che a sua volta induce delle correnti nei vicini conduttori metallici, quando vi è un movimento relativo che spinge e tira il treno verso la posizione di levitazione, specificatamente progettata per la linea guida (mono o bi-rotaia) del treno in questione.

<Source>^Intilla 2015^:38

<zh>常导电磁悬浮

<Morphosyntax>noun group

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Definition>常导电磁悬浮技术基于铁磁原理, 依靠车载电磁铁与铁磁性轨道之间的磁吸力平衡重力, 使车体悬浮。安装于车上的常规电磁铁既用于悬浮和导向, 也作为同步直线电机的激磁绕组。

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Context>常导电磁悬浮采用常规导体材料作为电磁铁线圈绕组, 产生悬浮力和导向力。优点是结构简单, 维护方便。

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Concept field>电工工程; 灯光; 超导; 磁工程; 应用光学; 仿射技术; 电子学; 通信工程; 处理器

<Related words>^磁悬浮列车^

<Type of relation>general

<zh>EMS

<Morphosyntax>noun

<Category>initials

<Usage label>common

<Origin>loan word

<Source>^张/张 2002^:81

<Variant of>electromagnetic suspension

<Context> EMS 该方式利用导磁材料与电磁铁之间的吸引力。

<Source>^张/张 2002^:81

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Applied physics/Fisica applicata

<it>guida

<Morphosyntax>f.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:565

<Definition>La guida, in relazione ai sistemi ferroviari Maglev, è la forza che permette di bilanciare i possibili spostamenti laterali del veicolo facendo in modo che quest'ultimo rimanga sempre al centro della guidovia.

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>Le applicazioni EMS ad alta velocità necessitano di dispositivi ausiliari di guida per limitare i movimenti laterali del veicolo.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:565

<Concept field>Ingegneria elettrotecnica; illuminazione; superconduttività; ingegneria magnetica; ottica applicata; tecnologia parafotica; elettronica; ingegneria delle comunicazioni; elaboratori

<Equivalence it-zh>Tra i termini “guida” e “导向” esiste piena identità concettuale.

<zh>导向

<Morphosyntax>noun

<Source>^金 2013^:28

<Definition>磁悬浮列车中的导向是让它沿着线路中心前进而不偏离导轨的力量。

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>在车辆两个侧面安装有导向电磁铁，而在导轨的两侧端面安装有导向的铁轨，二者之间^气隙^为 10mm。当车辆处于正中心位置时，两边气隙和磁吸力相等，但方向相反，车辆处于平衡状态，一旦偏离中心，传感器则会检测出变化，通过改变两侧导向磁铁^电流^

大小，即使气隙变小的一侧电流变小，使其吸力变小，而增大气隙变大一侧电流，使其磁吸力变大，使车辆向中心复原。

<Source>^金 2013^:28

<Concept field>电工工程; 灯光; 超导; 磁工程; 应用光学; 仿射技术; 电子学; 通信工程; 处理器

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>isteresi magnetica

<Morphosyntax>f.

<Source>^Ricci 2016^

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Il ritardo con cui l'^induzione magnetica^ segue la variazione dell'intensità del ^campo magnetico^ nelle sostanze ferromagnetiche, dovuto al contributo dato all'induzione magnetica dalla ^magnetizzazione^ dei cosiddetti domini ferromagnetici.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Il ciclo di isteresi magnetica descrive le proprietà delle sostanze ferromagnetiche; esso consiste in un diagramma di stato in cui viene riportato il campo magnetico esterno, oppure la corrente elettrica che lo genera, e il campo magnetico totale.

<Source>^Ricci 2016^

<Concept field>Proprietà e fenomeni magnetici

<Related words>sostanze ferromagnetiche

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “isteresi magnetica” e “磁滞” esiste piena identità concettuale.

<zh>磁滞

<Morphosyntax>noun group

<Source>^土井 2016^:184

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>在^磁化^和去磁过程中，铁磁质的磁化强度或磁感应强度的变化总是落后于磁场强度变化的现象。

<Source>^汉典^

<Context>对于强磁性材料，每一种材料都有自己固有的磁滞回线。一般来说，将矫顽力大的强磁性材料称为硬磁材料，适合作为永久磁铁使用，而将矫顽力小的强磁性材料称为软磁材料，适合作为电磁铁使用。

<Source>^土井 2016^:184

<Concept field>磁特性和现象

<Related words>铁磁性物质

<Type of relation>general

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>legge di Faraday

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Wolfson 2008^:537

<Definition>Legge fondamentale dell'elettromagnetismo che afferma che la ^forza elettromotrice indotta^ in un circuito è proporzionale alla rapidità di variazione del ^flusso magnetico^ attraverso una qualunque superficie delimitata dal circuito.

<Source>^Wolfson 2008^:534

<Context>Matematicamente la legge di Lenz è espressa nel segno meno che compare nella legge di Faraday, ma è di solito più semplice usare la legge di Faraday per trovare l'intensità della forza elettromotrice indotta e la conservazione dell'energia per le direzioni.

<Source>^Wolfson 2008^:537

<Concept field>Proprietà e fenomeni magnetici

<Related words>^legge di Lenz^

<Type of relation>general

<Related words>^forza elettromotrice indotta^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “legge di Faraday” e “法拉第定律” esiste piena identità concettuale.

<zh>法拉第定律

<Morphosyntax>noun group

<Source>^土井 2016^:192

<Lexica>按 ^youdao.com^

<Definition>在一个闭合电路中，感应出的电动势与该电路所交链磁通的变化率成比例。电动势的方向可由^楞次定律^确定。

<Source>^youdao.com^

<Concept field>磁特性和现象

<Related words>^楞次定律^

<Type of relation>general

<Related words>^感应电动势^

<Type of relation>general

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>legge di Lenz

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:569

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>La forza elettromotrice indotta tende a opporsi alla variazione di flusso che la genera.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>L'^EDS^ si basa sull'utilizzo di forze repulsive derivanti dall'interazione di un dispositivo magnetico in movimento rispetto ad un conduttore fisso. Il campo magnetico dell'apparato induttore genera delle correnti indotte sul conduttore che, a loro volta, per la legge di Lenz, creano un campo magnetico che si oppone alla variazione del campo dell'induttore.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:569

<Concept field>Proprietà e fenomeni magnetici

<Equivalence it-zh>Tra i termini “legge di Lenz” e “楞次定律” esiste piena identità concettuale.

<zh>楞次定律

<Morphosyntax>noun group

<Source>^张/严/徐/武 2004^:47

<Lexica>按 ^youdao.com^

<Definition>^感应电流^具有这样的方向，即感应电流的^磁场^总要阻碍引起感应电流的^磁通量^的变化。

<Source>^youdao.com^

<Context>由楞次定律可知, 上半部^线圈^感应的^磁场^方向与车载低温超导磁体的磁场方向相同, 下半部线圈感应的磁场方向与车载低温超导磁体的磁场方向相反。

<Source>^张/严/徐/武 2004^:47

<Concept field>磁特性和现象

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Applied physics/Fisica applicata

<it>levitazione

<Morphosyntax>f.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:561

<Definition>La levitazione, in relazione ai sistemi ferroviari Maglev, è la forza che permette di mantenere il veicolo sospeso in aria.

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>A partire dagli anni '60 ebbe inizio la costruzione sperimentale dei primi sistemi di trasporto a levitazione, basati dapprima sulla tecnologia a cuscini d'aria e successivamente su quella magnetica.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:561

<Concept field>Ingegneria elettrotecnica; illuminazione; superconduttività; ingegneria magnetica; ottica applicata; tecnologia parafotica; elettronica; ingegneria delle comunicazioni; elaboratori

<Related words>^levitazione magnetica^

<Type of relation>sub.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “levitazione” e “悬浮” esiste piena identità concettuale.

<zh>悬浮

<Morphosyntax>verb

<Source>^金 2013^:25

<Definition>磁悬浮列车中的悬浮是让车厢悬浮在空中的力量。

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>^磁悬浮列车^是一种现代高科技轨道交通工具，它通过^电磁力^实现列车与轨道之间的无接触的悬浮和^导向^，再利用直线电机产生的电磁力牵引列车运行。

<Source>^金 2013^:25

<Concept field>电工工程; 灯光; 超导; 磁工程; 应用光学; 仿射技术; 电子学; 通信工程; 处理器

<Related words>^磁悬浮^

<Type of relation>sub.

**

<Subject> Railway and road engineering/Ingegneria ferroviaria e stradale

<Subfield>Railway/Ferrovia

<it>monorotaia

<Morphosyntax>f.

<Source>^Intilla 2015^:37

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Rotaia unica, generalmente aerea, utilizzata come sistema di trasporto di veicoli e similari.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Nell'immaginario collettivo, spesso il termine “Maglev” evoca il concetto di una struttura a monorotaia, sopraelevata e percorsa da veicoli a motore lineare. I sistemi Maglev, comunque, possono essere a monorotaia oppure a binario (ossia con due rotaie); inoltre non tutti i sistemi a monorotaia sono necessariamente di tipo Maglev.

<Source>^Intilla 2015^:37

<Concept field>Monorotaia

<Equivalence it-zh>Tra i termini “monorotaia” e “单轨” esiste piena identità concettuale.

<zh>单轨

<Morphosyntax>noun

<Source>^王/王 2015^:6

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>单线的铁道或电车道。

<Source>^汉典^

<Context>HTS 磁悬浮车 2.2m 长，1.1m 宽，在悬浮间隙 15 ~ 20mm 时可载 1 人。这是继 “世纪号” 后 “交大超导” 研制成功的第二代载人 HTS 磁悬浮车试验线系统。在永磁轨道单轨断面从 “世纪号” 的 116cm² 缩小到 30cm²，多数部件都经过优化，所以性价比显著提高。

<Source>^王/王 2015^:6

<Concept field>单轨

**

<Subject>Applied physics/Fisica applicata

<Subfield>Electrotechnical engineering; lighting; superconductivity; magnetic engineering; applied optics; parafotic technology; electronics; communications engineering; processors/Ingegneria elettrotecnica; illuminazione; superconduttività; ingegneria magnetica; ottica applicata; tecnologia parafotica; elettronica; ingegneria delle comunicazioni; elaboratori

<it>mutua induttanza

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Wolfson 2008^:541

<Definition>La proprietà secondo la quale la variazione di corrente in una ^bobina^ produce una variazione di flusso in una bobina vicina e una ^forza elettromotrice indotta^.

<Source>Cfr. ^Wolfson 2008^:541

<Concept field>Ingegneria magnetica

<Related words>^autoinduttanza^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “mutua induttanza” e “互感” esiste piena identità concettuale.

<zh>互感

<Morphosyntax>noun

<Source>^土井 2016^:203

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>当一线圈中的电流发生变化时，在临近的另一线圈中产生感应电动势，叫做互感现象。互感现象是一种常见的电磁感应现象，不仅发生于绕在同一铁芯上的两个线圈之间，而且也可以发生于任何两个相互靠近的电路之间。

<Source>^汉典^

<Concept field>磁工程

<Related words>^自感^

<Type of relation>general

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>permeabilità magnetica

<Morphosyntax>f.

<Source>^Usai 2013^:17

<Lexica>Attestato in ^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Definition>Rapporto tra l'induzione magnetica e il campo magnetico (simb. μ).

<Source>^Dizionario.internazionale.it, vocabolario^

<Context>Le sostanze ferromagnetiche sottoposte all'azione di un campo magnetico esterno presentano permeabilità magnetica variabile e proporzionale al campo stesso.

<Source>Cfr. ^Usai 2013^:17

<Concept field>Proprietà e fenomeni magnetici

<Related words>^riluttanza magnetica^

<Type of relation>ant.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “permeabilità magnetica” e “磁导率” esiste piena identità concettuale.

<zh>磁导率

<Morphosyntax>noun group

<Source>^土井 2016^:180

<Lexica>按 ^youdao.com^

<Definition>磁导率，表征磁介质磁性的物理量。表示在空间或在磁芯空间中的线圈流过电流后，产生磁通的阻力或是其在磁场中导通磁力线的能力。其公式 $\mu=B/H$ 、其中 H=磁场强度、B=磁感应强度，常用符号 μ 表示， μ 为介质的磁导率，或称绝对磁导率。

<Source>^youdao.com^

<Context>强磁性体的磁导率不是恒定的，因此无法得到与磁动势成正比的磁通。

<Source>^土井 2016^:180

<Concept field>磁特性和现象

<Related words>^磁阻^

<Type of relation>ant.

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Applied physics/Fisica applicata

<it>propulsione

<Morphosyntax>f.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:565

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>L'azione con cui si fornisce a un corpo l'energia necessaria a provocarne e a mantenerne il moto.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Il sistema EMS permette al treno di levitare in tutte le condizioni del moto, anche da fermo. La propulsione del veicolo è affidata ad un motore lineare distribuito lungo la guidovia.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:565

<Concept field>Ingegneria elettrotecnica; illuminazione; superconduttività; ingegneria magnetica; ottica applicata; tecnologia parafotica; elettronica; ingegneria delle comunicazioni; elaboratori

<Equivalence it-zh>Tra i termini “propulsione” e “推进” esiste piena identità concettuale.

<zh>推进

<Morphosyntax>verb

<Source>^张/张 2002^:83

<Lexica>按 ^youdao.com^

<Definition>推进形容对事物的运动状态施加影响，使其继续朝一定的方向运动（向前运动）。

<Source>^youdao.com^

<Context>磁悬浮列车推进系统最关键的技术是把旋转电机展开成直线电机。它的基本构成和作用原理与普通旋转电机类似，展开以后，其传动方式也就由旋转运动变为直线运动。

<Source>^张/张 2002^:83

<Concept field>电工工程; 灯光; 超导; 磁工程; 应用光学; 仿射技术; 电子学; 通信工程; 处理器

**

<Subject>Physics/Fisica

<Subfield>Magnetism/Magnetismo

<it>riluttanza magnetica

<Morphosyntax>f.

<Source>^Panareo 2021^:20

<Definition>La riluttanza magnetica è il fenomeno opposto alla permeabilità magnetica ed è anche il

corrispettivo della resistenza elettrica. Questo fenomeno indica l'opposizione esercitata da un materiale al transito di un flusso magnetico.

<Source>^Rinaldi 2021^

<Concept field>Proprietà e fenomeni magnetici

<Related words>^permeabilità magnetica^

<Type of relation>ant.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “” e “磁阻” esiste piena identità concettuale.

<zh>磁阻

<Morphosyntax>noun group

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Definition>材料对磁通量传输的阻力。

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>美国计划研发永磁电动磁悬浮列车, 并开展了积极研究, 其最大优点是成本最低, 但缺点也很明显: 不能静浮, 磁阻特别大, 悬浮力小, 不能自导向, 而且在列车停止时仍需要车轮或轨道的一段继续运动。

<Source>^熊/邓 2021^:179

<Concept field>磁特性和现象

<Related words>^磁导率^

<Type of relation>ant.

**

<Subject> Railway and road engineering/Ingegneria ferroviaria e stradale

<Subfield>Railway/Ferrovia

<it>scambio

<Morphosyntax>m.

<Source>^Carotti 2003^:45

<Definition>Dispositivo ferroviario che permette al veicolo di passare da un binario all'altro.

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>I veicoli Transrapid cambiano binari mediante una guida d'acciaio articolata. La guida d'acciaio è lunga da 78 a 148 m e viene inclinata mediante trasmissioni multiple ed elettromeccaniche. Queste trasmissioni sono continuamente monitorate dal sistema di controllo centrale. Sono possibili 2 o 3 snodi di scambi. In rettilinea il veicolo passa sopra lo scambio a una velocità normale (300-500 km/h).

<Source>^Carotti 2003^:45

<Concept field>Raccordi e incroci

<Equivalence it-zh>Tra i termini “scambio” e “道岔” esiste piena identità concettuale.

<zh>道岔

<Morphosyntax>noun

<Source>^王 2015^:75

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>使列车由一组轨道转到另一组轨道上去的装置。

<Source>^汉典^

<Context>道岔也是磁浮铁路不可缺少的设备，主要由连通正线和侧线的可动导轨、转换装置和锁闭装置构成。

<Source>^王 2015^:75

<Concept field>铁路枢纽和交叉口

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Applied physics/Fisica applicata

<it>traferro

<Morphosyntax>m.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:578

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Nelle macchine elettriche rotanti, è lo spazio tra rotore e statore. È anche detto intraferro e interferro.

<Source>Cfr. ^Treccani.it, enciclopedia^

<Context>Per quanto riguarda la Cina, le attività di ricerca nel campo ^HTS^ Maglev sono iniziate nel 2000 con la costruzione del primo veicolo di prova “Century”, in grado di trasportare persone a bordo, presso la Southwest Jiaotong University (SWJTU), Chengdu. Il sistema ha una capacità di carico massima di 530 kg in corrispondenza di un'altezza di traferro di circa 20 mm ed un'autonomia operativa dell'apparato criogenico di circa 6 ore.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:578

<Concept field>Motori elettrici e motori connessi

<Equivalence it-zh>Tra i termini “traferro” e “气隙” esiste piena identità concettuale.

<it>intraferro

<Morphosyntax>m.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<it>interferro

<Morphosyntax>m.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<zh>气隙

<Morphosyntax>noun

<Source>^张/严/徐/武 2004^:46

<Lexica>按 ^辞海之家^

<Definition>气隙是电机定转子之间的空隙。定子不转，转子需要转动，所以气隙是必须的，根据电机不同，气隙大小也不同。一般来讲，异步电机气隙小，同步电机气隙大。

<Source>按 ^辞海之家^

<Context>在悬浮电磁铁附近装有气隙传感器,测量悬浮电磁铁与轨道铁芯之间的距离(即悬浮气隙)。根据测量的距离不断调整悬浮电磁铁中的电流,以保持悬浮气隙在十毫米左右,车上的导向电磁铁对轨道侧面产生侧向吸力以导向车辆。

<Source>^张/严/徐/武 2004^:46

<Concept field>电动机和有关电动机

**

<Subject>Fisica applicata

<Subfield>Generazione, modificazione, accumulazione, trasmissione dell'energia elettrica

<it>trasformatore

<Morphosyntax>m.

<Source>^Milanesi 2007^:11

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Macchina elettrica convertitrice, statica, a corrente alternata, basata sul fenomeno dell'induzione elettromagnetica.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Il trasformatore è una macchina elettrica statica che per mezzo dell'induzione elettromagnetica^ trasferisce energia tra due circuiti galvanicamente separati. Poiché il trasferimento di energia è legato alla variazione del ^flusso magnetico^, il trasformatore può funzionare solo in regime variabile. Un trasformatore è costituito da un nucleo in materiale ferromagnetico, sul quale sono avvolti almeno due avvolgimenti, detti primario e secondario.

<Source>^Milanesi 2007^:11

<Concept field>Trasformatori

<Equivalence it-zh>Tra i termini “trasformatore” e “变压器” esiste piena identità concettuale.

<zh>变压器

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王 2007^:ii

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>利用^电磁感应^的原理来改变交流电压的装置，主要构件是初级线圈、次级线圈和铁心。

<Source>^汉典^

<Context>由于高温超导磁体的运行费用低、磁体的稳定性好和低温系统简单，高温超导磁体的应用得到了较快的发展。同时，超导电力科学技术也发展迅速，例如，高温超导电缆、高温超导限流器、高温超导变压器和高温超导电动机已经进入示范试验运行阶段，高温超导磁储能系统也有相应的试验样机问世，小型低温超导储能系统已经开始出现产品。

<Source>^王 2007^:ii

<Concept field>变压器

**

<Subject>Civil Engineering/Ingegneria civile

<Subfield>Structural design and specific structural elements/Progettazione strutturale e specifici elementi strutturali

<it>trave

<Morphosyntax>f.

<Source>^Carotti 2003^:44

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Tronco d'albero squadrato, a sezione prismatica, adoperato come elemento di sostegno in varie strutture, soprattutto edilizie, o con altre funzioni.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>La pista del Transrapid è costruita con travi in acciaio o in cemento armato lunghe fino a 62 m. Può essere costruita in piano o sopraelevata, con un binario singolo o doppio e può essere anche usata su ponti o in tunnels.

<Source>^Carotti 2003^:44

<Concept field>Travi

<Related words>^guidovia^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “trave” e “梁” esiste piena identità concettuale.

<zh>梁

<Morphosyntax>noun

<Source>^张/严/徐/武 2004^:48

<Lexica>按 ^汉典^

<Definition>梁泛指水平方向的长条形承重构件。

<Source>^汉典^

<Context>德国的 Transrapid 列车, 为了跟踪轨道, 电磁铁沿着车辆的长度形成链型排列相互搭接。悬浮架由 4 个悬浮框及相应的横梁和纵梁组成。

<Source>^张/严/徐/武 2004^:48

<Concept field>梁

<Related words>^导轨^

<Type of relation>general

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Engineering and related activities/Ingegneria e attività affini

<it>treno Maglev a bassa-media velocità

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:566

<Definition>Treni a levitazione magnetica con velocità operativa inferiore ai 350 km/h.

<Source>^Rinaldi 2021^

<Concept field>Ingegneria ferroviaria e stradale

<Related words>^treno a levitazione magnetica^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “treno Maglev a bassa-media velocità” e “中低速磁浮列车” esiste piena identità concettuale.

<zh>中低速磁浮列车

<Morphosyntax>noun group

<Source>^金 2013^:30

<Definition>时速小于 350 的为中低速磁浮列车。

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>国防科技大学自 20 世纪 80 年代开始，一直从事磁悬浮系统的研究。1989 年研制成磁悬浮试验模型车。随后在长沙建成中低速磁浮列车试验线，开展了一系列相关试验。2006 年在唐山机车车辆厂内建成 2 km 的中低速磁悬浮列车试验线，开始进行中低速磁悬浮铁路工程化的综合实验研究，已取得了一系列的研究成果。为实际运营线的建设打下了基础。

<Source>^金 2013^:30

<Concept field>铁路和道路工程

<Related words>^磁悬浮列车^

<Type of relation>super.

**

<Subject>Technology (Applied Sciences)/Tecnologia (Scienze applicate)

<Subfield>Engineering and related activities/Ingegneria e attività affini

<it>treno Maglev ad alta velocità

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:566

<Definition>Treno a levitazione magnetica in grado di operare a velocità superiori a 350 km/h.

<Source>^Rinaldi 2021^

<Concept field>Ingegneria ferroviaria e stradale

<Related words>^treno a levitazione magnetica^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “treno Maglev ad alta velocità” e “高速磁悬浮列车” esiste piena identità concettuale.

<zh>高速磁悬浮列车

<Morphosyntax>noun group

<Source>^张/严/徐/武 2004^:46

<Definition>时速大于 350 的为高速磁悬浮列车。

<Source>^Rinaldi 2021^

<Context>由于高速磁悬浮列车具有快捷、安全、噪音小等优点,世界很多国家都在进行高速磁悬浮列车的研究。

<Source>^张/严/徐/武 2004^:46

<Concept field>铁路和道路工程

<Related words>^磁悬浮列车^

<Type of relation>super.

**

<Subject>Engineering and related activities/Ingegneria e attività affini

<Subfield>Transportation engineering/Ingegneria dei trasporti

<it>veicolo

<Morphosyntax>m.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:558

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Nome generico di ogni mezzo meccanico guidato dall'uomo (o anche teleguidato) adibito al trasporto di persone, animali o cose.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^

<Context>Per quanto riguarda le applicazioni trasportistiche, il funzionamento dei sistemi Maglev si basa su forze che nascono dall'interazione di campi magnetici tra veicolo e binario.

<Source>^Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021^:558

<Concept field>Attrezzature per trasporti

<Equivalence it-zh>Tra i termini “veicolo” e “车辆” esiste piena identità concettuale.

<zh>车辆

<Morphosyntax>noun

<Source>^熊/邓 2021^:178

<Lexica>按 ^辞海之家^

<Definition>各种车的总称。

<Source>^辞海之家^

<Context>^磁悬浮列车^的出现被认为是人类交通史上的伟大变革, 实现了车辆与轨道的无接触运行, 丰富和完善了交通运输网络, 改变了世界交通运输格局, 并通过不断的理论创新与应用研究, 持续推动着磁悬浮交通的长远发展。

<Source>^熊/邓 2021^:178

<Concept field>运输设备

**

SCHEDE BIBLIOGRAFICHE

<source>Lanzara/D'Ovidio/Li/Deng/Zhang 2021

<Reference>Lanzara G., D'Ovidio G., Li H., Deng Z., Zhang W. (2021) “Disamina dei sistemi a levitazione magnetica dal punto di vista dell'ingegneria dei trasporti: antefatti e prospettive future”, *IF Ingegneria ferroviaria* 7:8, pp. 557-592.

**

<source>Dizionario.internazionale.it, vocabolario

<Reference>De Mauro, T., Il Nuovo vocabolario di base della lingua italiana online, Internazionale, URL <https://dizionario.internazionale.it/>, 2021.

**

<source>熊/邓 2021

<Reference>熊嘉阳, 邓自刚 (2021) “高速磁悬浮轨道交通研究进展”, 交通运输工程学报 *Journal of Traffic and Transportation Engineering* 21:1, pp. 177-198.

**

<source>汉典

<Reference>汉典, URL <http://www.zdic.net/>, 2021.

**

<source>Rinaldi 2021

<Reference>Rinaldi P. (2021), I treni a levitazione magnetica (Maglev), con repertorio terminografico italiano-cinese, Tesi di laurea magistrale, Università Ca' Foscari di Venezia, 2020/2021.

**

<source>熊/孙/刘/许/裴 2021

<Reference>熊万里, 孙文彪, 刘侃, 许铭华, 裴庭 (2021) “高速电主轴主动磁悬浮技术研究进展”, 机械工 程 学 报 Journal of mechanical engineering 57:13, pp. 1-17.

**

<source>刘/李/方 2019

<Reference>刘文旭, 李文龙, 方进 (2019) “高温超导磁悬浮技术研究论述”, 超导技术 Superconductivity 48:2, pp. 44-49.

**

<source>王 2015

<Reference>王麟 (2015) 铁路擎起的朝阳, 太原, 山西教育出版社.

**

<source>徐/罗/邓 2019

<Reference>徐 飞, 罗世辉, 邓自刚 (2019) “磁悬浮轨道交通关键技术及全速度域应用研究”,
铁道学报 Journal of the China Railway society 41:3, pp. 40-49.

**

<source>Carotti 2003

<Reference>Carotti Attilio, *Tecnologie TAV e MAG-LEV. Vol.2*, Milano, Libreria Clup, 2003.

**

<source> youdao.com

<Reference> youdao.com, URL <http://www.youdao.com>, 2021

**

<source>Treccani.it, enciclopedia

<Reference>Treccani.it, Enciclopedia online, Istituto dell'Enciclopedia Italiana, URL
<http://www.treccani.it/enciclopedia/>, 2021.

**

<source>Piro 2004

<Reference>Piro G. (2004) *Cenni sui sistemi di trasporto terrestri a levitazione magnetica*, Roma, CIFI, Collegio
ingegneri ferroviari italiani.

**

<source>徐/朱 2005

<Reference>徐晓美, 朱思洪 (2005) “磁悬浮技术及其工程应用”, 农机化研究 6, pp. 192-194.

**

<source>千篇 2021

<Reference>千篇汉语词典, URL <https://cidian.qianp.com/>, 2021

**

<source>Intilla 2015

<Reference>Intilla F. (2015) *Sistemi di trasporto a levitazione magnetica: dal treno Maglev al futuristico progetto Hyperloop*, Ariccia, Aracne.

**

<source>Treccani.it, vocabolario

<Reference>Treccani.it, Vocabolario online, Istituto dell'Enciclopedia Italiana, URL <http://www.treccani.it/vocabolario/>, 2021.

**

<source>Asti 1985

<Reference>Asti G. (1985) *Il magnetismo*, Roma, Editori Riuniti.

**

<source>王 2007

<Reference>王秋良 (2007) 高磁场超导磁体科学, 北京, 科学出版社.

**

<source>王/王 2015

<Reference>王家素, 王素玉 (2015) “高温超导磁悬浮列车研究综述”, 电气工程学报 Journal of electrical engineering 10:11, pp. 1-10.

**

<source>张 2003

<Reference>张士勇 (2003) “磁悬浮技术的应用现状与展望”, 工业仪表与自动化装置 3, pp. 63-65.

**

<source>辞海之家

<Reference>辞海之家, URL <http://www.cihai123.com/>, 2021.

**

<source>张/严/徐/武 2004

<Reference>严陆光, 徐善纲, 武 瑛 (2004) “几种典型的高速磁悬浮列车方案比较”, 电 工 电 能
新 技 术 *Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy* 23:2, pp. 46-50.

**

<source>Frezza 2009

<Reference>Frezza F. (2009) *Lezioni di campi elettromagnetici volume I*, Roma, IEEE Student Branch.

**

<source>徐/朱 2005

<Reference>徐晓美, 朱思洪 (2005) “磁悬浮技术及其工程应用”, 农 机 化 研 究 6, pp. 192-194.

**

<source>冯/方/李/程/潘 2018

<Reference>冯仲伟, 方兴, 李红梅, 程爱君, 潘永杰 (2018) “低真空管道高速磁悬浮系统技术发展研究”, 中国工程科学 20:6, pp. 105-111.

**

<source>Lauri 2017/2018

<Reference>Lauri C. (2017/2018) *Studio ed implementazione di un convertitore monofase a ponte con controllo del
fattore di potenza*, Università degli studi di Padova.

**

<source>姜/陈/荣/吉 2019

<Reference>姜宏伟, 陈琛, 荣立军, 吉文 (2019) “中速磁浮列车悬浮斩波器优化研究”, 电气工程
Journal of Electrical Engineering 7:2, pp. 85-91.

**

<source>Morini 1996

<Reference> Morini A. (1996) “Alta Velocità a levitazione magnetica”, Tutto treno: lo spettacolo dei
treni 93, pp. 12-19.

**

<source>龙 2006

<Reference>龙遐令 (2006) 直线感应电动机的理论和电磁设计方法, 北京, 科学出版社.

**

<source>Recchia 2016/2017

<Reference>Recchia A. (2016/2017) *Superconduttività: analisi fenomenologica e termodinamica*, Università di
Bologna.

**

<source>王 2001

<Reference>王蓓 (2001) 电磁场理论基础, 北京, 清华大学出版社.

**

<source>Wolfson 2008

<Reference>Wolfson R. (2008) *Elettromagnetismo, ottica e fisica moderna*, “Fisica”. A cura di M. Enriotti. Milano, Pearson.

**

<source>唐/岳/肖 2020

<Reference>唐笑 岳恒宇 肖文劲 (2020) “交通强国系列之高铁新科技：三项高速列车核心技术储备未来将成为战略重要一环”, 证券研究报告, 天风证券, pp. 1-25.

**

<source>Panareo 2021

<Reference>Panareo M. (2021) *Proprietà magnetiche dei materiali*, Dispense di elettromagnetismo, Università del Salento, pp. 1-28.

**

<source>土井 2016

<Reference>土井淳 (2016) 电磁场: 基本原理 66 课, 译: 王卫兵 徐倩 纪颖, 北京, 机械工业出版社.

**

<source>Policicchio 2007

<Reference>Policicchio F. (2007) *Lineamenti di infrastrutture ferroviarie*, Firenze, Firenze University Press.

**

<source>Usai 2013

<Reference>Usai M. (2013) *Circuiti magnetici*, Università di Catania, pp. 1-47.

**

<source>田 2019

<Reference>田民波 (2019) 图解磁性材料, 北京, 化学工业出版社.

**

<source>李/杨 2020

<Reference>李晨阳, 杨新斌 (2020) “中低速磁浮列车悬浮电磁铁电磁分析”, 交通技术 Open Journal of Transportation Technologies 9:6, pp. 445-454.

**

<source>Mazzoldi/Nigro/Voci 2002

<Reference>Mazzoldi P., Nigro M., Voci C. (2002) *Elementi di fisica: elettromagnetismo*, Napoli, EdiSES.

**

<source>Rashid 2002

<Reference>Rashid M., (2002) *Fondamenti di elettronica*. A cura di Terreni P. Milano, Apogeo.

**

<source>徐/李/刘/林 2013

<Reference>徐德鸿, 李睿, 刘昌金, 林平 (2013) 现代整流器技术: 有源功率因数校正技术, 北京, 机械工业出版社.

**

<source>Ricci 2016

<Reference>Ricci F. (2016) “Isteresi magnetica”, *Matematicamente.it*, <https://www.matematicamente.it/appunti/fisica-per-le-superiori/elettromagnetismo-fisica-per-le-superiori/isteresi-magnetica/> (consultato il 08-01-2021)

**

<source>金 2013

<Reference>金能强 (2013) “磁悬浮列车”, *现代物理知识* 25:2, pp. 24-39.

**

<source>张/张 2002

<Reference>张金平, 张奕黄 (2002) “磁悬浮列车的原理及现状”, 交通科技 Transportation Science& Technology 195:6, pp. 81-83.

**

<source>Milanesi 2007

<Reference>Milanesi F. (2007) Trasformatori elettrici, Fabio Milanesi.

**

SEZIONE III

TABELLA DI CONSULTAZIONE RAPIDA ITALIANO-CINESE

<it>	<zh>	Pinyin
Acciaio	钢	Gāng
Accumulatore	蓄电池	Xùdiànchí
Alluminio	铝	Lǚ
Amperometro	电流表	Diànliúbiǎo
Attrito	摩擦	Mócā
Autoinduttanza	自感	Zìgǎn
Avvolgimento	绕组	Ràozǔ
Azoto liquido	液氮	Yèdàn
Batteria	电池	Diànchí
Bobina	线圈	Xiànquān
Campo elettromagnetico	电磁场	Diàncíchǎng
Campo magnetico	磁场	Cíchǎng
Cemento armato	钢筋混凝土	Gāngjīn hùnníngtǔ
Chopper	斩波器	Zhǎnbōqì
Circuito magnetico	磁路	Cílù
Convertitore	变流器	Biànlíuqì
Corrente alternata	交流电	Jiāoliúdiàn
Corrente continua	直流电	Zhíliúdiàn
Corrente elettrica	电流	Diànliú
Corrente indotta	感应电流	Gǎnyìng diànliú
Corrente parassita	涡流	Wōliú
Criostato	低温容器	Dīwēn róngqì
Cuscinetto magnetico	磁悬浮轴承	Cíxuánfú zhóuchéng
Diamagnetismo	抗磁性	Kàngcíxìng
Diamagnetismo perfetto	完全抗磁性	Wánquán kàngcíxìng

Dipolo magnetico	磁偶极子	Cíǒu jízi
EDS	电动磁悬浮	Diàndòng cíxuánfú
Effetto Meissner	迈斯纳效应	Màisīnà xiàoyìng
Elettromagnete	电磁铁	Diàncítiě
Elettromagnetismo	电磁学	Diàncíxué
Elio liquido	液氦	Yèhài
EMS	常导电磁悬浮	Chángdǎodiàn cíxuánfú
Feedback	反馈	Fǎnkui
Ferromagnete	铁磁体	Tiěcíti
Ferromagnetismo	铁磁性	Tiěcíxìng
Flusso magnetico	磁通量	Cítōngliàng
Flux pinning	磁通钉扎	Cítōng dīngzhā
Forza attrattiva	吸引力	Xīyǐnlì
Forza elettromagnetica	电磁力	Diàncílì
Forza elettromotrice	电动势	Diàndòngshì
Forza magnetica	磁力	Cílì
Forza repulsiva	排斥力	Páichílì
Generatore elettrico	发电机	Fādiànjī
Guida	导向	Dǎoxiàng
Guidovia	导轨	Dǎoguǐ
Induzione elettromagnetica	电磁感应	Diàncígǎnyìng
Induzione magnetica	磁感应	Cígǎnyìng
Isteresi magnetica	磁滞	Cízhì
Legge di Faraday	法拉第定律	Fǎlādì dìnglǜ
Legge di Lenz	楞次定律	Léngcì dìnglǜ
Levitazione	悬浮	Xuánfú
Levitazione magnetica	磁悬浮	Cíxuánfú
Magnete	磁体	Cítǐ

Magnete permanente	永磁体	Yǒngcítǐ
Magnete superconduttore	超导磁体	Chāodǎo cítǐ
Magnetismo	磁性	Cíxìng
Magnetizzazione	磁化	Cíhuà
Momento magnetico	磁矩	Cíjǔ
Monorotaia	单轨	Dānguǐ
Motore lineare ad induzione	直线感应电机	Zhíxiàn gǎnyìng diànjī
Motore lineare sincrono	直线同步电机	Zhíxiàn tóngbù diànjī
Mutua induttanza	互感	Hùgǎn
Onda elettromagnetica	电磁波	Diàncíbō
Pantografo	受电弓	Shòudiàngōng
Paramagnetismo	顺磁性	Shùncíxìng
Permeabilità magnetica	磁导率	Cídǎolǜ
Piastra conduttrice	导体板	Dǎotǐ bǎn
Polo magnetico	磁极	Cíjí
Propulsione	推进	Tuījìn
Raddrizzatore	整流器	Zhěngliúqì
Rame	铜	Tóng
Resistenza elettrica nulla	零电阻	Líng diànzǔ
Riluttanza magnetica	磁阻	Cízǔ
Rotore	转子	Zhuànzǐ
Scambio	道岔	Dào chà
Schermatura	屏蔽	Píngbì
Solenoido	螺线管	Luóxiànguǎn
Statore	定子	Dìngzǐ
Superconduttività	超导	Chāodǎo
Superconduttore	超导体	Chāodǎotǐ
Superconduttore a bassa temperatura critica	低温超导体	Dīwēn chāodǎotǐ

Superconduttore ad alta temperatura critica	高温超导体	Gāowēn chāodǎotǐ
Temperatura critica	临界温度	Línjiè wēndù
Traferro	气隙	Qìxì
Trasformatore	变压器	Biànyāqì
Trave	梁	Liáng
Treni Maglev media-bassa velocità	中低速磁浮列车	Zhōngdīsù cífúlièchē
Treno a levitazione magnetica	磁悬浮列车	Cíxuánfú lièchē
Treno Maglev ad alta velocità	高速磁浮列车	Gāosù cífúlièchē
Veicolo	车辆	Chēliàng

TABELLA DI CONSULTAZIONE RAPIDA CINESE-ITALIANO

Pinyin	<zh>	<it>
Biànliúqì	变流器	Convertitore
Biànyāqì	变压器	Trasformatore
Chángdǎodiàn cíxuánfú	常导电磁悬浮	EMS
Chāodǎo	超导	Superconduttività
Chāodǎo cítǐ	超导磁体	Magnete superconduttore
Chāodǎotǐ	超导体	Superconduttore
Chēliàng	车辆	Veicolo
Cídǎolǜ	磁导率	Permeabilità magnetica
Cíjǔ	磁矩	Momento magnetico
Cílì	磁力	Forza magnetica
Cílù	磁路	Circuito magnetico
Cíǒu jízi	磁偶极子	Dipolo magnetico
Cítōng dīngzhā	磁通钉扎	Flux pinning
Cízhi	磁滞	Isteresi magnetica
Cízǔ	磁阻	Riluttanza magnetica
Cíchǎng	磁场	Campo magnetico
Cígǎnyìng	磁感应	Induzione magnetica
Cíhuà	磁化	Magnetizzazione
Cíjí	磁极	Polo magnetico
Cítǐ	磁体	Magnete
Cítōngliàng	磁通量	Flusso magnetico
Cíxìng	磁性	Magnetismo
Cíxuánfú	磁悬浮	Levitazione magnetica
Cíxuánfú lièchē	磁悬浮列车	Treno a levitazione magnetica
Cíxuánfú zhóuchéng	磁悬浮轴承	Cuscinetto magnetico

Dānguǐ	单轨	Monorotaia
Dào chā	道岔	Scambio
Dǎogǔ	导轨	Guidovia
Dǎotǐbǎn	导体板	Piastra conduttrice
Dǎoxiàng	导向	Guida
Diàncígǎnyìng	电磁感应	Induzione elettromagnetica
Diànchí	电池	Batteria
Diàncítiě	电磁铁	Elettromagnete
Diàncíxué	电磁学	Elettromagnetismo
Diàncíbō	电磁波	Onda elettromagnetica
Diàncíchǎng	电磁场	Campo elettromagnetico
Diàncílì	电磁力	Forza elettromagnetica
Diàndòng cíxuánfú	电动磁悬浮	EDS
Diàndòngshì	电动势	Forza elettromotrice
Diànliú	电流	Corrente elettrica
Diànliúbiǎo	电流表	Amperometro
Dìngzǐ	定子	Statore
Dīwēn chāodǎotǐ	低温超导体	Superconduttore a bassa temperatura critica
Dīwēn róngqì	低温容器	Criostato
Fādiànjī	发电机	Generatore elettrico
Fǎlādì dìnglǜ	法拉第定律	Legge di Faraday
Fǎnkui	反馈	Feedback
Gāng	钢	Acciaio
Gāngjīn hùnníngtǔ	钢筋混凝土	Cemento armato
Gǎnyìng diànliú	感应电流	Corrente indotta
Gāosù cífúlièchē	高速磁浮列车	Treno Maglev ad alta velocità
Gāowēn chāodǎotǐ	高温超导体	Superconduttore ad alta temperatura critica

Hùgǎn	互感	Mutua induttanza
Jiāoliúdiàn	交流电	Corrente alternata
Kàngcíxìng	抗磁性	Diamagnetismo
Léngcì dìnglǜ	楞次定律	Legge di Lenz
Liáng	梁	Trave
Líng diànzǔ	零电阻	Resistenza elettrica nulla
Línjiè wēndù	临界温度	Temperatura critica
Lǚ	铝	Alluminio
Luóxiànguǎn	螺线管	Solenoido
Màisīnà xiàoyìng	迈斯纳效应	Effetto Meissner
Mócā	摩擦	Attrito
Páichìlì	排斥力	Forza repulsiva
Píngbì	屏蔽	Schermatura
Qìxì	气隙	Traferro
Ràozǔ	绕组	Avvolgimento
Shòudiàngōng	受电弓	Pantografo
Shùncíxìng	顺磁性	Paramagnetismo
Tiěcítǐ	铁磁体	Ferromagnete
Tiěcíxìng	铁磁性	Ferromagnetismo
Tóng	铜	Rame
Tuījìn	推进	Propulsione
Wánquán kàngcíxìng	完全抗磁性	Diamagnetismo perfetto
Wōliú	涡流	Corrente parassita
Xiànquān	线圈	Bobina
Xīyǐnlì	吸引力	Forza attrattiva
Xuánfú	悬浮	Levitazione
Xùdiànchí	蓄电池	Accumulatore
Yèdàn	液氮	Azoto liquido

Yèhài	液氦	Elio liquido
Yǒngcítǐ	永磁体	Magnete permanente
Zhǎnbōqì	斩波器	Chopper
Zhěngliúqì	整流器	Raddrizzatore
Zhíliúdiàn	直流电	Corrente continua
Zhíxiàn gǎnyìng diànjī	直线感应电机	Motore lineare ad induzione
Zhíxiàn tóngbù diànjī	直线同步电机	Motore lineare sincrono
Zhōngdī sù cí fú liè chē	中低速磁浮列车	Treni Maglev media-bassa velocità
Zhuànzǐ	转子	Rotore
Zì gǎn	自感	Autoinduttanza

BIBLIOGRAFIA

- BALESTREIRE Marie, HOLLENBERGER John, “Maglev: Transportation of the Future?”, Fifth Annual Freshman Conference, Pittsburgh, Paper #101, Session C7, 2005.
- CHENG Jianfeng 程建峰, SU Xiaofeng 苏晓峰, “Cixuanfulieche de fa zhan ji yingyong” 磁悬浮列车的发展及应用 (Sviluppo e applicazione dei treni a levitazione magnetica), in *Tiedao cheliang*, 41, 11, 2003, pp. 14-17.
- COATES Kevin C., “Shanghai’s maglev project – levitating beyond transportation theory”, *Engineering world*, Aprile/Maggio, 2005, pp. 26-33.
- DI MAJO Franco, “Il motore lineare sincrono. Valutazione delle prestazioni e criteri di dimensionamento”, *IF Ingegneria ferroviaria*, 43, 7, 1988, pp. 383-388.
- ENRIOTTI Mirella (a cura di), *Elettromagnetismo, ottica e fisica moderna*, “Fisica”, Milano, Pearson, 2008.
- GIERAS Jacek F., PIECH Zbigniew J., TOMCZUK Bronislaw Z., *Linear Synchronous Motors: Transportation and Automation Systems*, “The electric power engineering Series”, New York, CRC Press, 2012.
- GOU Jinsong, “Development Status and Global Competition Trends Analysis of Maglev Transportation Technology Based on Patent Data”, *Urban Rail Transit*, 4, 3, 2018, pp. 117-129.
- GUROL Husam, BALDI Robert, JETER Phillip, KIM In-Kun, BEVER Daryl, “General Atomics Low Speed Maglev Technology Development Program (Supplemental #3)”, 2005.
- HYUNG-SUK Han, DONG-SUNG Kim, *Magnetic Levitation: Maglev Technology and Applications*, “Springer Tracts on Transportation and Traffic”, Dordrecht, Springer, 2016.
- HYUNG-WOO Lee, KI-CHAN Kim, JU Lee, “Review of Maglev Train Technologies”, *IEEE Transactions on magnetics*, 42, 7, 2006, pp. 1917-1925.
- INTILLA Fausto, *Sistemi di trasporto a levitazione magnetica: dal treno Maglev al futuristico progetto hyperloop*, “Didattica, divulgazione e storia della fisica”, Ariccia (RM), Aracne, 2015.
- LAITHWAITE Eric, “Electromagnetic levitation”, *Proceedings of the IEEE*, 112, 12, 1965, pp. 2361-2375.
- LANZARA Giovanni, D’OVIDIO Gino, LI Haitao, DENG Zigang, ZHANG Weihua, “Disamina dei sistemi a levitazione magnetica dal punto di vista dell’ingegneria dei trasporti: antefatti e prospettive future”, *IF Ingegneria ferroviaria*, 7-8, 2021, pp. 557-592.
- LI Xia, “Beijing’s first Maglev train”, *Beijing (English)*, 34, 2018, pp. 10-15.

- LIN Guobin, SHENG Xiongwei, “Application and Further Development of Maglev Transportation in China”, *Transportation Systems and Technology*, 4, 3, 2018, pp. 36-43.
- LIU Zhigang, LONG Zhiqiang, LI Xiaolong, *Maglev Trains: Key Underlying Technologies*, “Springer Tracts in Mechanical Engineering”, Berlino, Springer, 2015.
- LIVINGSTON James D., *Rising force: the magic of magnetic levitation*, Cambridge (MA), Harvard University Press, 2011.
- MAZZOLI Paolo, NIGRO Massimo, VOCI Cesare, *Elementi di fisica: Elettromagnetismo*, Napoli, EdiSES, 2006.
- MORINI Augusto, “Alta Velocità a levitazione magnetica”, *Tutto treno: lo spettacolo dei treni*, 93, 1996, pp. 12-19.
- National Maglev Initiative (NMI) Staff, “Final Report on the National Maglev Initiative (NMI)”, 1993.
- NORTH B. H., “Birmingham Airport Maglev—the development and design of the support structure and guideway”, in Institution of civil engineers (a cura di), *Track Technology*, Londra, Thomas Telford, 1985, pp. 69-75.
- PANAREO Marco, Proprietà magnetiche dei materiali, Dispense di elettromagnetismo, Università del Salento, 2021, pp. 1-28.
- PARK Doh Young, SHIN Byung Chun, HAN Hyungsuk, “Korea’s Urban Maglev Program”, *Proceedings of the IEEE*, 97, 11, 2009, pp. 1886-1891.
- PARK Doh-Young, GIERAS Jacek F., “Incheon Airport Maglev Line”, *Przegląd Elektrotechniczny*, 95, 2019, pp. 1-3.
- POLLARD Maurice G., “Maglev-a British first at Birmingham”, *Physics in Technology*, 15, 1984, pp. 61-72.
- PRASAD Nisha, JAIN Shailendra, GUPTA Sushma, “Electrical Components of Maglev Systems: Emerging Trends”, *Urban Rail Transit*, 5, 2, 2019, pp. 67-79.
- PURCELL Edward M., *Elettricità e magnetismo*, “La fisica di Berkeley”, Bologna, Zanichelli, 1972.
- RAMPELMANN R., KÖHLER R., “Service Experiences Maglev Vehicles Shanghai”, *Transportation Systems and Technology*, 4, 3, 2018, pp. 65-71.
- SKOMSKI Ralph, COEY J. M. D., *Permanent Magnetism*, “Studies in Condensed Matter Physics”, Londra, Institute of Physics Publishing, 1999.
- Transrapid International-USA, Inc., “Shanghai Maglev Project Update”, 2007, pp. 1-3.
- USAI Mariangela, Circuiti magnetici, Università di Catania, 2013, pp. 1-47.

- WANG Jia-Su, WANG Su-Yu, *High temperature superconducting magnetic levitation*, Berlino, De Gruyter, 2016.
- WANG Lin 王麟, *Tielu qing qi de zhaoyang 铁路擎起的朝阳*, Taiyuan, Shanxi jiaoyu chubanshe, 2015.
- YADAV Monika, MEHTA Nivritti, GUPTA Aman, CHAUDHARY Akshay, MAHINDRU D. V.,
“Review of Magnetic Levitation (MAGLEV): A Technology to Propel Vehicles with Magnets”,
Global Journal of Researches in Engineering Mechanical & Mechanics, 13, 7, 2013, pp. 28-42.
- YAGHOUBI Hamid, BARAZI Nariman, AOLIAEI Mohammad Reza, “Maglev”, in Xavier Perpinya (a cura di), *Infrastructure Design, Signalling and Security in Railway*, InTech, 2012, pp. 123-176.
- YAVUZ Mehmet Nedim, ÖZTÜRK Zübeyde, “Comparison of conventional high speed railway, maglev and hyperloop transportation systems”, *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 5, 01, 2021, pp. 113-122.

SITOGRAFIA

- About the Yamanashi Maglev line*, in “SCMaglev”, <https://scmaglev.jp-central-global.com/maglevline/about/>, 25-11-2021.
- Birmingham Airport's Maglev carriage resold for £100*, in “BBC News”, 2011, <https://www.bbc.com/news/uk-england-birmingham-13872105>, 24-11-2021.
- Company profile*, in “Shanghai Maglev Trasportation Development Co.,Ltd”, <http://www.smtdc.com/en/gycf.html>, 13-01-2022.
- CORNELL Wilson, *Maglev: Magnetic Levitating Trains*, in “Electrical and Computer engineering Design Handbook”, <https://sites.tufts.edu/eeniordesignhandbook/2015/maglev-magnetic-levitating-trains/>, 19-12-2021.
- Emsland Maglev-Test Facility*, in “Atlas Obscura”, <https://www.atlasobscura.com/places/emsland-maglev-test-facility>, 26-11-2021.
- EXCELL Jon, *November 1962 – the birth of Maglev*, in “The Engineer”, 2019, <https://www.theengineer.co.uk/november-1962-laithwaite-maglev/>, 21-11-2021.
- FENDER Keith, *German maglev test track set for revival?*, in “International Railway Journal, 2021”, <https://www.railjournal.com/passenger/high-speed/german-maglev-test-track-set-for-revival/>, 26-11-2021.
- FENG Zhiwei, *New maglev train improves service in Hunan*, in “Chinadaily.com.cn”, <https://www.chinadaily.com.cn/a/202107/02/WS60deca0da310efa1bd65f702.html>, 24-11-2021.
- Ferromagnetismo*, in “Sapere.it”, <https://www.sapere.it/enciclopedia/ferromagnetismo.html>, 16-12-2021.
- First run of the Maglev*, in “Hankyoreh”, 2008, http://english.hani.co.kr/arti/english_edition/e_entertainment/283379.html, 29-11-2021.
- FU Yu, *Trial Operation of First China-made Medium-low Speed Maglev Train in Changsha*, in “CRRC Zhuzhou Locomotive Co., Ltd.”, <https://www.crrcgc.cc/zjen/g1733/s4283/t274791.aspx>, 24-11-2021.
- GLENN Chris, *LINIMO: the Maglev train*, in “Japan Travel”, 2011, <https://en.japantravel.com/aichi/linimo-the-mag-lev-train/385>, 25-11-2021.
- <https://www.sapere.it/enciclopedia/induzi%C3%B3ne+%28fisica%29.html>, 16-12-2021.
- Incheon airport maglev*, in “Maglev.net”, 2020, <https://www.maglev.net/incheon-airport-maglev>, 29-11-2021.

- Induzione (fisica)*, in “Sapere.it”,
<https://www.sapere.it/enciclopedia/induzi%C3%B3ne+%28fisica%29.html>, 21-11-2021.
- Inventors of maglev technologies*, in “The International Maglev board”,
<https://www.maglevboard.net/en/facts/17-inventors-of-maglev-technologies>, 21-11-2021.
- Japanese maglev evolution 1972 – 2020*, in “Maglev.net”, <https://www.maglev.net/japanese-maglev-evolution>, 25-11-2021.
- La f.e.m. indotta*, in “Sapere.it”, <https://www.sapere.it/sapere/strumenti/studiafacile/fisica/L-elettromagnetismo/L-induzione-elettromagnetica-e-le-equazioni-di-Maxwell/La-f-e-m--indotta.html>, 16-12-2021.
- Maglev in Changsha*, in “Crrc Zcl Europe”, <https://crrczcl-europe.com/medium-low-speed-maglev-changsha/>, 24-11-2021.
- Maglev lines under construction in 2020*, in “Maglev.net”, <https://www.maglev.net/maglev-lines-under-construction>, 12-11-2021.
- Maglev technology*, in “Shanghai Maglev Transportation Development Co.,Ltd.”,
<http://www.smtdc.com/en/gycf3.html>, 23-12-2021.
- Meet dr. Eric Laithwaite, the “father” of maglev*, in “Northeast Maglev”, 2020,
<https://northeastmaglev.com/2020/06/19/eric-laithwaite-father-of-maglev/>, 21-11-2021.
- Museum information*, in “Shanghai Maglev Transportation Development Co.,Ltd”,
<http://www.smtdc.com/en/xnlv5.html>, 13-01-2022.
- Our vision: bring the fastest train in the world to the US*, in “Northeast Maglev”,
<https://northeastmaglev.com/project/#1527093463844-a91d0853-f97d>, 27-11-2021.
- SHEDD Thomas Clark, ALLEN Geoffrey Freeman, *Maglev*, in “Britannica”,
<https://www.britannica.com/technology/railroad/South-Korea-Taiwan-and-China#ref64436>,
 11-11-2021.
- TATTINI Jacopo, MCBAIN Sarah, *Rail*, in “IEA”, 2021, <https://www.iea.org/reports/rail>, 15-11-2021.
- Train info.*, in “Shanghai Maglev Transportation Development Co.,Ltd”,
<http://www.smtdc.com/en/jszl.html>, 13-01-2022.
- Transrapid design history*, in “Maglev.net”, 2020, <https://www.maglev.net/transrapid-design-history>, 26-11-2021.
- Transrapid Maglev Shanghai*, in “The International Maglev board”,
<https://www.maglevboard.net/en/facts/26-transrapid-maglev-shanghai>, 13-01-2022.

Trasporti, in “Agenzia europea dell’ambiente, 2020, <https://www.eea.europa.eu/it/themes/transport/intro>, 06-01-2022.

VINCI Alessandro, *Il treno più veloce del mondo presentato in Cina: è a levitazione magnetica e raggiunge i 600 km/h*, in “Corriere della Sera”, 2021, https://www.corriere.it/tecnologia/21_luglio_23/treno-piu-veloce-mondo-presentato-cina-levitazione-magnetica-raggiunge-600-kmh-84e2c782-eb16-11eb-872f-99e4306190c7.shtml, 02-01-2022.

What is the LINIMO?, in “LINIMO”, <http://www.linimo.jp/language/en/>, 25-11-2021.

ILLUSTRAZIONI

CAPITOLO 1

Illustrazione 1: da LANZARA, Giovanni, D'OVIDIO, Gino, LI, Haitao, DENG, Zigang, ZHANG, Weihua, “Disamina dei sistemi a levitazione magnetica dal punto di vista dell'ingegneria dei trasporti: antefatti e prospettive future”, *IF Ingegneria ferroviaria*, 7-8, 2021, p. 559.

Illustrazione 2: da *Inventors of maglev technologies*, in “The International Maglev board”, <https://www.maglevboard.net/en/facts/17-inventors-of-maglev-technologies>, 21-11-2021.

Illustrazione 3: da *Inventors of maglev technologies*, in “The International Maglev board”, <https://www.maglevboard.net/en/facts/17-inventors-of-maglev-technologies>, 21-11-2021.

Illustrazione 4: da Jon, EXCELL, *November 1962 – the birth of Maglev*, in “The Engineer”, 2019, <https://www.theengineer.co.uk/november-1962-laithwaite-maglev/>, 21-11-2021.

Illustrazione 5: da GOU, Jinsong, “Development Status and Global Competition Trends Analysis of Maglev Transportation Technology Based on Patent Data”, *Urban Rail Transit*, 4, 3, 2018, p. 120.

Illustrazione 6: da GOU, Jinsong, “Development Status and Global Competition Trends Analysis of Maglev Transportation Technology Based on Patent Data”, *Urban Rail Transit*, 4, 3, 2018, p. 124.

Illustrazione 7: da *China's first home-grown maglev in operation*, in “Chinadaily.com.cn”, 2016, https://www.chinadaily.com.cn/china/2016-05/06/content_25117948.htm, 30-11-2021.

Illustrazione 8: da Yu, ZHANG, *Beijing's first maglev is to operate*, in “Chinadaily.com.cn”, 2017, https://www.chinadaily.com.cn/china/2017-06/13/content_29726314.htm, 30-11-2021.

Illustrazione 9: da *Will maglev ever become mainstream?*, in “Railway Technology”, https://www.railway-technology.com/features/will-maglev-ever-become-mainstream/attachment/25154619758_c204250581_o-min/, 30-11-2021.

Illustrazione 10: da *Transrapid design history*, in “Maglev.net”, 2020, <https://www.maglev.net/transrapid-design-history>, 30-11-2021.

Illustrazione 11: da *First run of the Maglev*, in “Hankyoreh”, 2008, http://english.hani.co.kr/arti/english_edition/e_entertainment/283379.html, 30-11-2021.

Illustrazione 12: da *Maglev test*, in “Korea JoongAng Daily”, 2012, <https://koreajoongangdaily.joins.com/news/article/Article.aspx?aid=2963198>, 30-11-2021.

Illustrazione 13: da *Carriage from Birmingham Airport's gliding Maglev train sells for £25,100*, in “BirminghamLive”, 2010, <https://www.birminghammail.co.uk/news/local-news/carriage-from-birmingham-airports-gliding-maglev-136355>, 30-11-2021.

CAPITOLO 2

Illustrazione 14: da National Maglev Initiative (NMI) Staff, “Final Report on the National Maglev Initiative (NMI)”, 1993.

Illustrazione 15: da HYUNG-SUK Han, DONG-SUNG Kim, *Magnetic Levitation: Maglev Technology and Applications*, “Springer Tracts on Transportation and Traffic”, Dordrecht, Springer, 2016, p. 10.

Illustrazione 16: da HYUNG-SUK Han, DONG-SUNG Kim, *Magnetic Levitation: Maglev Technology and Applications*, “Springer Tracts on Transportation and Traffic”, Dordrecht, Springer, 2016, p. 2.

Illustrazione 17: da HYUNG-SUK Han, DONG-SUNG Kim, *Magnetic Levitation: Maglev Technology and Applications*, “Springer Tracts on Transportation and Traffic”, Dordrecht, Springer, 2016, p. 12.

Illustrazione 18: da HYUNG-SUK Han, DONG-SUNG Kim, *Magnetic Levitation: Maglev Technology and Applications*, “Springer Tracts on Transportation and Traffic”, Dordrecht, Springer, 2016, p. 14.

Illustrazione 19: da RICCI Francesca, *Isteresi magnetica*, in “Matematicamente.it”, [https://www.matematicamente.it/appunti/fisica-per-le-superiori/elettromagnetismo-fisica-per-le-superiori/isteresi-magnetica/#:~:text=Il%20ciclo%20di%20isteresi%20magnetica,totale%20\(indicato%20con%20B%20\)](https://www.matematicamente.it/appunti/fisica-per-le-superiori/elettromagnetismo-fisica-per-le-superiori/isteresi-magnetica/#:~:text=Il%20ciclo%20di%20isteresi%20magnetica,totale%20(indicato%20con%20B%20),16-12-2021), 16-12-2021.

Illustrazione 20: da RICCI Francesca, *Isteresi magnetica*, in “Matematicamente.it”, [https://www.matematicamente.it/appunti/fisica-per-le-superiori/elettromagnetismo-fisica-per-le-superiori/isteresi-magnetica/#:~:text=Il%20ciclo%20di%20isteresi%20magnetica,totale%20\(indicato%20con%20B%20\)](https://www.matematicamente.it/appunti/fisica-per-le-superiori/elettromagnetismo-fisica-per-le-superiori/isteresi-magnetica/#:~:text=Il%20ciclo%20di%20isteresi%20magnetica,totale%20(indicato%20con%20B%20),16-12-2021), 16-12-2021.

Illustrazione 21: da HYUNG-SUK Han, DONG-SUNG Kim, *Magnetic Levitation: Maglev Technology and Applications*, “Springer Tracts on Transportation and Traffic”, Dordrecht, Springer, 2016, p. 36.

Illustrazione 22: da HYUNG-SUK Han, DONG-SUNG Kim, *Magnetic Levitation: Maglev Technology and Applications*, “Springer Tracts on Transportation and Traffic”, Dordrecht, Springer, 2016, p. 37.

- Illustrazione 23: da HYUNG-SUK Han, DONG-SUNG Kim, *Magnetic Levitation: Maglev Technology and Applications*, “Springer Tracts on Transportation and Traffic”, Dordrecht, Springer, 2016, p. 54.
- Illustrazione 24: da HYUNG-SUK Han, DONG-SUNG Kim, *Magnetic Levitation: Maglev Technology and Applications*, “Springer Tracts on Transportation and Traffic”, Dordrecht, Springer, 2016, p. 77.
- Illustrazione 25: da BALESTREIRE Marie, HOLLENBERGER John, “Maglev: Transportation of the Future?”, Fifth Annual Freshman Conference, Pittsburgh, Paper #101, Session C7, 2005.
- Illustrazione 26: da BALESTREIRE Marie, HOLLENBERGER John, “Maglev: Transportation of the Future?”, Fifth Annual Freshman Conference, Pittsburgh, Paper #101, Session C7, 2005.
- Illustrazione 27: da LANZARA, Giovanni, D’OVIDIO, Gino, LI, Haitao, DENG, Zigang, ZHANG, Weihua, “Disamina dei sistemi a levitazione magnetica dal punto di vista dell’ingegneria dei trasporti: antefatti e prospettive future”, *IF Ingegneria ferroviaria*, 7-8, 2021, p. 563.
- Illustrazione 28: da HYUNG-SUK Han, DONG-SUNG Kim, *Magnetic Levitation: Maglev Technology and Applications*, “Springer Tracts on Transportation and Traffic”, Dordrecht, Springer, 2016, p. 32.
- Illustrazione 29: da HYUNG-SUK Han, DONG-SUNG Kim, *Magnetic Levitation: Maglev Technology and Applications*, “Springer Tracts on Transportation and Traffic”, Dordrecht, Springer, 2016, p. 32.
- Illustrazione 30: da YAGHOUBI Hamid, BARAZI Nariman, AOLIAEI Mohammad Reza, “Maglev”, in Xavier Perpinya (a cura di), *Infrastructure Design, Signalling and Security in Railway*, InTech, 2012, p. 132.
- Illustrazione 31: da PRASAD Nisha, JAIN Shailendra, GUPTA Sushma, “Electrical Components of Maglev Systems: Emerging Trends”, *Urban Rail Transit*, 5, 2, 2019, p. 72.
- Illustrazione 32: da PRASAD Nisha, JAIN Shailendra, GUPTA Sushma, “Electrical Components of Maglev Systems: Emerging Trends”, *Urban Rail Transit*, 5, 2, 2019, p. 71.
- Illustrazione 33: da PRASAD Nisha, JAIN Shailendra, GUPTA Sushma, “Electrical Components of Maglev Systems: Emerging Trends”, *Urban Rail Transit*, 5, 2, 2019, p. 71.
- Illustrazione 34: da HYUNG-WOO Lee, KI-CHAN Kim, JU Lee, “Review of Maglev Train Technologies”, *IEEE Transactions on magnetics*, 42, 7, 2006, p. 1921.
- Illustrazione 35: da YAVUZ Mehmet Nedim, ÖZTÜRK Zübeyde, “Comparison of conventional high speed railway, maglev and hyperloop transportation systems”, *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 5, 01, 2021, p. 118.

Illustrazione 36: da YAVUZ Mehmet Nedim, ÖZTÜRK Zübeyde, “Comparison of conventional high speed railway, maglev and hyperloop transportation systems”, *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 5, 01, 2021, p. 119.

Illustrazione 37: da YAVUZ Mehmet Nedim, ÖZTÜRK Zübeyde, “Comparison of conventional high speed railway, maglev and hyperloop transportation systems”, *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 5, 01, 2021, p. 119.

CAPITOLO 3

Illustrazione 38: da *Shanghai Maglev*, in “Maglev.net”, <https://www.maglev.net/shanghai-maglev>.

Illustrazione 39: da RAMPELMANN R., KÖHLER R., “Service Experiences Maglev Vehicles Shanghai”, *Transportation Systems and Technology*, 4, 3, 2018, pp. 66.

Illustrazione 40: da HYUNG-SUK Han, DONG-SUNG Kim, *Magnetic Levitation: Maglev Technology and Applications*, “Springer Tracts on Transportation and Traffic”, Dordrecht, Springer, 2016, p. 170.