POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Trasporti terrestri ed energia - Tecnologie, metodi ed applicazioni

Original
Trasporti terrestri ed energia - Tecnologie, metodi ed applicazioni / DALLA CHIARA, Bruno; Pede, Giovanni; Pia Valentini, Maria; Coviello, Nicola; Deflorio, Francesco. - STAMPA. - (2024), pp. 1-288.

Availability:
This version is available at: 11583/2995564 since: 2024-12-18T11:16:44Z

Publisher:
EGAF

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

10 April 2025

Trasporti terrestri ed energia

Tecnologie, metodi ed applicazioni

Bruno Dalla Chiara • Giovanni Pede (anche curatori)
Maria Pia Valentini • Nicola Coviello
Francesco Deflorio

Collana

INGEGNERIA DEI TRASPORTI

egaf

EGAF EDIZIONI srl
Via F. Guarini 2 • 47121 Forlì (FC)
Tel. 0543/473347 - Fax 0543/474133
gruppo@egaf.it
www.egaf.it

© 2024 Egaf Edizioni srl
Proprietà letteraria riservata.
Vietata la riproduzione, la memorizzazione
o la trasmissione, anche parziale.

Seconda edizione febbraio 2024
ISBN 978-88-352-1366-6

Egaf Edizioni srl e gli Autori,
pur assicurando la massima attenzione
nella redazione dei testi, non rispondono
di eventuali danni causati dall'uso
del loro contenuto.

Saranno gradite tutte le segnalazioni
e le indicazioni utili
che i lettori vorranno inviarci,
di cui si terrà conto
per le prossime edizioni.

Gli scritti riflettono esclusivamente
le opinioni degli Autori e non impegnano
in alcun modo gli Enti
di cui essi siano dipendenti.

Finito di stampare nel febbraio 2024
presso la tipografia
GRAFICHE M.D.M. LITOGRAFIA srl
Forlì (FC)

RINGRAZIAMENTI
Al professor Corona va in particolare la riconoscenza e il merito della perseveranza, oltre che la cura e dedizione, nel raggiungere questo nuovo obiettivo editoriale di grande attesa nella formazione universitaria e sul mercato - non solo dell'*entourage* accademico, ma anche istituzionale, della pubblica amministrazione oltre che dell'ambito professionale - in tempi anche contenuti.

Collana

INGEGNERIA DEI TRASPORTI

Direttore scientifico Giovanni Corona

Comitato scientifico Giorgio Callegari, Agostino Cappelli, Ezio Castagna, Giovanni Corona, Bruno Dalla Chiara, Romeo Danielis, Demetrio Carmine Festa, Maria Annunziata Giaconia, Felice Giuliani, Daniele Giusto, Matteo Ignaccolo, Domenico Inaudi, Roberto Maja, Gabriele Malavasi, Giulio Maternini, Vito Mauro, Stefano Ricci, Gian Paolo Ritossa, Giuseppe Salvo, Maurizio Tira, Benedetto Barabino, Fabio Borghetti, Claudia Caballini

Collana

INGEGNERIA DEI TRASPORTI

PREFAZIONE DEL DIRETTORE SCIENTIFICO DELLA COLLANA

La collana “Ingegneria dei trasporti”, è quasi una fotografia di ciò che i trasporti sono al giorno d’oggi e delle tendenze evolutive in essere.

Una collana che intende fornire un quadro aggiornato sugli sviluppi tecnologici, sulle possibilità applicative, sui sistemi organizzativi e gestionali, sulle possibilità di interventi infrastrutturali e su metodi e criteri di dimensionamento e verifica nell’ampio e differenziato settore dei trasporti.

Il progetto è scaturito dall’incontro di numerosi docenti e ricercatori di Trasporti di molte università italiane, prevalentemente delle Facoltà d’ingegneria (ora ex Facoltà), che si riunirono a Venezia nel 2005, da cui “Gruppo Venezia”. I docenti e i ricercatori iniziarono a discutere sulle trasformazioni, intervenute nel tempo, del fenomeno del trasporto e, conseguentemente, della disciplina dei trasporti. In particolare il dibattito si accentrò sull’oggetto dell’insegnamento e della ricerca - molto differenziato tra le diverse facoltà - e ancora sul ruolo della docenza dei trasporti sia in ambito accademico, sia in ambito esterno: mondo delle professioni, della pubblica amministrazione, della produzione e dei servizi.

Da tutti questi contatti, in presenza e a distanza, personali e collegiali, è alla fine scaturita l’idea di realizzare la collana Ingegneria dei trasporti, con particolare enfasi sulla trattazione delle innovazioni tecnologiche, ma anche affrontando il tema di gestione ed esercizio dei sistemi.

La collana si è potuta realizzare per la disponibilità e la lungimiranza delle edizioni EGAF, e in particolare del dott. Bandini, al quale andranno sempre i più sentiti ringraziamenti.

Potrebbe sembrare anacronistica l’esigenza di voler procedere ad una trattazione sistematica dell’ingegneria dei trasporti, suddivisa per grandi temi - trasporti ferroviari, trasporti stradali, ITS, trasporto pubblico locale, ecc., - in quanto allo stato attuale è facilmente consultabile la letteratura specialistica su qualunque argomento anche di grande dettaglio.

Proprio l’estrema parcellizzazione delle conoscenze, sia nel settore tecnologico sia in quello gestionale, spesso rende difficile affrontare problematiche che richiedono conoscenze più ampie di quelle puramente settoriali, ed ancora risulta molto oneroso anche per lo studioso, così come per il professionista, per il tecnico dell’amministrazione o dell’azienda e per lo studente, addentrarsi in campi molto specialistici.

Lo sforzo di quest’opera è proprio quello di produrre delle esposizioni di argomenti anche specialistici inquadrate però in un quadro conoscitivo generale e indirizzando i lettori, che ne avessero la necessità, verso gli studi, i testi, le realtà conoscitive di maggiore dettaglio.

Per quanto riguarda l’attività editoriale della collana fino ad ora, si sono pubblicati tra il 2013 e il 2023 i seguenti dodici volumi, che hanno trattato numerosi e importanti argomenti su molteplici settori dei trasporti:

ITS nei trasporti stradali,	Bruno Dalla Chiara	2013
Ingegneria dei sistemi ferroviari	Stefano Ricci	2013
Trasporti e città	Giulio Maternini	2014
Trasporto pubblico locale	Giovanni Corona Demetrio Carmine Festa	2015
Sistemi di trasporto intermodali	Bruno Dalla Chiara	2015
Trasporti terrestri ed energia	Bruno Dalla Chiara Giovanni Pede	2017
Trasporto aereo	Luigi La Franca Giuseppe Salvo	2018
Ingegneria dei trasporti navali	Stefano Ricci Gian Paolo Ritossa	2019
Sicurezza dei trasporti	Gabriele Malavasi	2019
Trasporti e ambiente	Stefano Ricci	2022
Sistemi di trasporto pubblico locale	Giovanni Corona Demetrio Carmine Festa	2022
Impianti a fune per trasporto persone e materiali	Bruno Dalla Chiara Dario Alberto Giuliano Zannotti	2022 e 2023
Sono inoltre in fase di preparazione		
Trasporti ed economia	Agostino Cappelli Giovanni Corona Romeo Danielis	
Gestione delle relazioni tra aziende e utenti	Giovanni Corona Demetrio Carmine Festa	
Governance e qualità del servizio nel TPL	Benedetto Barabino Gabriella Mazzulla	
Infrastrutture e mobilità in ambito urbano	Felice Giuliani Giulio Maternini	

Oltre all'attività editoriale tradizionale con libri su carta è allo studio l'approntamento di uno specifico "portale" su Internet, strumento più adatto ai tempi, per consentire un raccordo più dinamico con il mondo della formazione e soprattutto con gli studenti.

PREFAZIONE DELL'EDITORE

Il motivo che ha portato alla redazione di questo volume è sostanzialmente riconducibile al fatto che i sistemi di trasporto cambiano e nel XXI secolo è emerso in modo vigoroso il perseguimento di una maggiore indipendenza dal petrolio.

Si stima (SIDT, 2015) che circa tre persone su quattro - nei Paesi considerati più evoluti nell'industria e nei servizi - vivano nelle aree urbane e, per soddisfare i propri bisogni di comunicazione, scambio di beni e servizi, si avvalgano sia di comunicazioni con spostamento, impiegando sistemi di trasporto motorizzati che utilizzano evidentemente energia, sia di comunicazioni senza spostamento, quando possibile e sufficiente.

Nella catena energetica, le risorse o i vettori impiegati per le comunicazioni con spostamento causano le emissioni di sostanze inquinanti, concentrate in tali aree quando le immissioni in ambiente non siano ampliamente disperse e quando i vettori di trasporto facciano uso della risorsa energetica primaria o di un suo derivato direttamente sul veicolo, senza ricorrere a vettori energetici intermedi (ad esempio mediante la trazione elettrica, sia ferroviaria sia stradale).

Il solo trasporto determina circa la metà del consumo globale di petrolio e il 20% dell'uso mondiale di energia. Nei Paesi industrializzati, il sistema dei trasporti arriva a circa un terzo del consumo di energia complessiva. Si tratta dell'unico settore quasi esclusivamente basato sull'uso di un'unica fonte energetica: la maggioranza delle modalità di trasporto - che impiegano veicoli, velivoli, natanti - utilizza carburanti derivati dal petrolio.

I trasporti, in generale, non sono quindi indipendenti in termini energetici, in quanto il petrolio è un settore economico in regime di quasi-monopolio (Libro Bianco UE, circa 96% in t.e.p. - tonnellate equivalenti di petrolio).

In Italia, sono stati effettuati circa 67,4 miliardi di euro di spesa, comprese le accise, per l'acquisto di benzine e gasolio per autotrazione nel 2012; negli anni seguenti il valore si è ridotto, attestandosi attorno a circa 50-60 miliardi fino al 2016.

Gli investimenti in motori cosiddetti verdi, impianti per la ricarica delle batterie delle auto elettriche, nuove soluzioni tecnologiche, sistemi innovativi, in generale i cosiddetti ITS *(Intelligent Transport Systems)*, diverse modalità di organizzazione o conduzione del servizio o del veicolo perseguono la riduzione della dipendenza dal monopolio quasi totale del petrolio con evidenti benefici ambientali. In ambito urbano, Trasporto pubblico e sistemi basati su un coordinamento centralizzato (sale di regìa ITS - ICT) possono permettere di perseguire tale scopo perché la scelta del tipo di trazione o propulsione (motori) può essere centralizzata o coordinata.

Questo testo intende affrontare tali aspetti nel loro complesso da un punto di vista tecnico-scientifico, fornendo soluzioni sia industriali sia di metodologia negli ambiti sopra indicati.

Il testo è indirizzato ai docenti, agli studenti e in generale ai partecipanti dei corsi formazione professionale, di laurea e laurea magistrale in Ingegneria, di Master e di Dottorato di Ricerca coinvolti nello studio delle discipline sui Sistemi di Trasporto, nella fattispecie nella progettazione, esercizio e gestione dei trasporti, con particolare attenzione all'innovazione tecnologica e applicazioni alla trazione e propulsione. Esso è altresì destinato a tutti coloro che, nell'ambito dei sistemi e impianti di trasporto, si occupano di: progettazione, collaudo, manutenzione e gestione, sia a livello di amministrazione locale, sia nell'ambito di aziende di trasporto pubblico e privato, oltre che nell'espletazione di attività professionali e specialistiche nel settore.

Infine, il testo rappresenta un punto di partenza utile per chi desideri approfondire le tematiche di ricerca e innovazione proprie dei consumi energetici nei sistemi di trasporto e relative problematiche di sostenibilità, divenute così attuali con l'avvio del XXI secolo.

Trasporti terrestri ed energia

Tecnologie, metodi ed applicazioni

Bruno Dalla Chiara • Giovanni Pede (anche curatori)

Maria Pia Valentini
Nicola Coviello
Francesco Deflorio

NOTE BIOGRAFICHE

Bruno Dalla Chiara
Co-curatore e co-redattore del testo (capitoli B, E, G), è professore ordinario presso il Politecnico di Torino - Ingegneria, settore Trasporti; è ingegnere meccanico specializzato in trasporti ed aspetti economico-organizzativi, dottore di ricerca in ingegneria dei Trasporti; è titolare degli insegnamenti di "Sistemi di trasporto ferroviari, metropolitani ed a fune" e *"Transport systems and data analytics"*, co-titolare di *"Sustainable transport systems: energy and environmental issues"*, docente nella formazione *post-lauream* sui sistemi ITS *(Intelligent Transport Systems)*.

Giovanni Pede
Co-curatore e co-redattore del testo (capitoli C, D, F, I) è stato dirigente di ricerca presso l'ENEA come responsabile delle attività di ricerca nel settore dei veicoli a basso impatto ambientale e dell'accumulo elettrico.

Maria Pia Valentini
Primo ricercatore presso l'ENEA; redattrice dei capitoli A ed L, ingegnere civile trasporti, ha svolto studi di fattibilità e di impatto ambientale di grandi infrastrutture di trasporto e analisi sulla sostenibilità energetica e ambientale del sistema dei trasporti in Italia; sviluppa modelli per il supporto alle decisioni di amministratori e operatori del settore. È membro del Comitato Tecnico Scientifico del Consorzio TRAIN.

Nicola Coviello
Co-curatore e co-redattore del testo (capitoli B, E, G) ha ottenuto il titolo di dottore di ricerca nell'ambito ferroviario dei sistemi di trasporto presso l'Università La Sapienza di Roma, avendo seguito il dottorato in sinergia con il Politecnico di Torino; ingegnere meccanico, dal 2016 al 2020 è stato titolare di contratto per la ricerca al Politecnico di Torino, con attività prevalentemente dedicata al trasporto ferroviario, intermodale e ai sistemi di trasporto a impianto fisso, nonché alle relative innovazioni tecnologiche e modellistiche.

Francesco Deflorio
Dottore di ricerca e professore associato presso il Politecnico di Torino, è titolare degli insegnamenti di "Modelli e tecnologie per il traffico ed i trasporti" nel corso di laurea magistrale in "Ingegneria dell'Autoveicolo" e di "Ingegneria della circolazione stradale" nel corso di laurea magistrale in Ingegneria Civile; il suo contributo riguarda in particolare il capitolo 2 e in modo distribuito altre parti di testo (capitoli E, G ed M).

Luca Castello, Fabrizio Bruno e Mauro Affatato
Laureati rispettivamente in Ingegneria Civile, Civile e Meccanica, tutti con specializzazione in Trasporti - hanno contribuito fattivamente, con grande competenza e capacità di sintesi, alla redazione dei capitoli sulla Meccanica della locomozione e sui consumi dei sistemi di trasporto a impianto fisso (ferrovie, metropolitane, *people mover*), nei capitoli B e G.

Maria Lelli
Laureata in Fisica, in ENEA dal 2000, si occupa di sviluppo di modelli per la stima dei consumi, degli impatti ambientali del settore trasporti e di valutazione integrata degli scenari di riduzione delle emissioni di gas-serra - in particolare di elettrificazione dei trasporti stradali - sia nell'ambito di incarichi istituzionali che di progetti europei.

I curatori del volume sono lieti di prendere in considerazione ogni utile indicazione che i lettori del testo vorranno segnalare agli indirizzi di posta elettronica: bruno.dallachiara@polito.it, giovanni.pede53@gmail.com

INTRODUZIONE DEL COMITATO SCIENTIFICO

Si è ritenuto opportuno articolare questa introduzione in tre parti:

- le motivazioni che hanno spinto ad affrontare il lavoro;
- alcuni brevi richiami sull'evoluzione del fenomeno del trasporto e dei sistemi per soddisfarlo, sui conseguenti impatti, sulle più recenti tecnologie e sugli atti programmatori ufficiali;
- i contenuti della Collana.

A) MOTIVAZIONI

È indubbio che la mobilità e la logistica esterna - che i sistemi di trasporto devono soddisfare - rappresentino un fenomeno complesso, con implicazioni di carattere sociale, giuridico, economico, ambientale e che esse determinino, in misura non certo trascurabile, la qualità della vita per ciascun individuo. A tale proposito inoltre, l'evoluzione inarrestabile del fenomeno della globalizzazione - non più solo basata sul come ma anche sul dove effettuarla - ha reso la funzione del trasporto sempre più decisiva nel definire le strategie dell'economia mondiale, pur consapevoli della nuova concorrenzialità delle comunicazioni senza spostamento per la mobilità delle persone, tipiche nel nuovo secolo.

Da molto tempo, ormai da quasi cinquant'anni, nell'ambito della docenza dei trasporti nei Dipartimenti, Facoltà e Scuole o Collegi d'Ingegneria si discute sulla stessa essenza della disciplina "Trasporti", sulla necessità di ampliare le conoscenze all'economia, alla sociologia, all'urbanistica, alla statistica, alla ricerca operativa e, più di recente, alle applicazioni delle tecnologie dell'informatica e delle telecomunicazioni.

Queste conoscenze sono entrate nel bagaglio culturale dei trasportisti e nessuno tra loro ritiene più di poter esaurire il proprio orizzonte culturale trattando, a titolo esemplificativo, soltanto delle reti stradali o dei treni, dei flussi o dell'esercizio ferroviario.

Però, riprendendo quanto riportato nella "Prefazione del direttore della collana" relativamente alle riunioni del gruppo Venezia, a mano a mano che si sono ampliati gli orizzonti culturali, nella docenza si è andata via via attenuando l'attenzione per la parte più specificamente ingegneristica del trasporto e cioè l'offerta (progettazione, esercizio, capacità, reti, servizi, tecnologie) ed è proprio questo il motivo che è stato di stimolo ad iniziare il lavoro.

Infatti, si sono potuti constatare:

- l'allontanamento della disciplina dallo studio della progettazione e delle tecnologie, che storicamente hanno rappresentato l'essenza stessa delle conoscenze dell'ingegnere;
- la stretta relazione esistente tra l'evoluzione dei sistemi di trasporto, dovuti all'introduzione di nuove tecnologie, e la messa a punto di più moderni ed efficienti criteri organizzativi e gestionali dei quali non sempre è facile trovare una trattazione organica o di sintesi;
- la mancanza di una pubblicistica che, da un lato coinvolgesse la docenza, consentendo un confronto a livello accademico e, dall'altro, potesse indicare al mondo esterno un sicuro riferimento conoscitivo, tenuto sempre presente lo stretto rapporto tra trasporti e territorio.

In tal senso la docenza italiana, con alcune eccezioni anche di grande rilievo, non è riuscita a produrre uno sforzo unitario per rivendicare una specifica primogenitura nel settore dell'offerta di trasporto così come invece è riuscita ad imporre una primoge-

nitura per quanto concerne lo studio e la simulazione della domanda, seppure i due aspetti del fenomeno trasporto siano strettamente interconnessi.
Qual è invece il centro dell'attività professionale di una laurea magistrale con specializzazione in "Trasporti"? Tale laureato studia in generale i "Sistemi di trasporto", la domanda di trasporto, pianifica la rete dei trasporti, normalmente in un contesto fortemente condizionato dall'esistente e nell'ambito di una più complessa pianificazione territoriale, ed affronta poi l'interazione tra domanda ed offerta, quest'ultima caratterizzata da molteplici parametri specifici che definiscono il modello di offerta.
Ma, spesso, a questo punto si fermano o si limitano le possibilità progettuali dei trasportisti quando non hanno sufficienti conoscenze tecnologiche e industriali sulle differenti componenti della stessa offerta.
Ora è evidente che i trasportisti non devono essere progettisti di componenti o di mezzi o d'impianti più o meno complessi ma invece debbono conoscere a fondo le caratteristiche del sistema veicolo - infrastruttura - impianti tecnologici, per definirne le prestazioni e le interazioni in modo tale da utilizzare al meglio le infrastrutture ed i sistemi, e cioè l'offerta, ed ottimizzare il soddisfacimento della domanda in relazione ad un insieme di obiettivi da perseguire.
A dire il vero un grosso sforzo di descrizione dell'offerta e delle metodologie rappresentative della stessa fu realizzato nell'ambito del Progetto Finalizzato Trasporti 2 (PFT2), i cui lavori furono pubblicati in un unico voluminoso testo dove sono illustrate le più rigorose metodiche per la descrizione in termini matematici dell'offerta di trasporto e dei più significativi sistemi gestionali. Questo testo rimane a tutt'oggi un sicuro punto di riferimento per quanto riguarda l'approccio metodologico e il rigore scientifico.
Nella premessa del volume citato, il Prof. Ennio Cascetta affermava: *"I risultati delle ricerche svolte hanno avuto un trasferimento abbastanza rapido all'interno delle aziende e degli enti preposti alla pianificazione dei trasporti, contribuendo non poco all'innovazione organizzativa e tecnologica"*.
Ora quanto si va a proporre vuole essere una descrizione più ingegneristica dei fenomeni, dove dalla rappresentazione attraverso modelli matematici si passa all'analisi fisica, talvolta chimica, e quindi ingegneristica degli stessi.
In modo del tutto analogo si affronta la descrizione dei sistemi gestionali.
Ancora una differenza fondamentale tra il lavoro del PFT2 e la collana Ingegneria dei Trasporti consiste nel tentativo di fornire non solo una vasta panoramica degli studi più avanzati nel mondo dei trasporti, ma anche, come recita il titolo, una visione sistematica generale di tutta la disciplina trattando i singoli argomenti.

B) EVOLUZIONE DEI TRASPORTI

La crescita della mobilità ed il parallelo sviluppo della disciplina
In questo contesto ricordare come i trasporti abbiano caratterizzato lo sviluppo di tutte le civiltà può sembrare un'affermazione ampiamente scontata quindi banale.
Pertanto non ci si propone di scrivere una storia del ruolo dei trasporti nell'ambito delle grandi civiltà o di quanto i trasporti abbiano contribuito all'evoluzione della tecnologia nell'epoca moderna, si ritiene però opportuno fare alcuni cenni relativi all'evoluzione del fenomeno del trasporto e di come esso sia stato studiato ed insegnato presso le facoltà o scuole di Ingegneria italiane.
Si può affermare che la grande evoluzione dei trasporti in epoca moderna abbia avuto origine con l'invenzione della caldaia a vapore e con la sua applicazione, in un primo tempo al trasporto navale ed in un secondo tempo alla locomotiva con la nascita della ferrovia.

Il secolo XIX fu caratterizzato dalla costruzione delle strade ferrate, dai primi impianti a fune e dai grandi progressi che si ottennero nei sistemi di trazione, nei quali, dopo quella a vapore, si cominciò a diffondere sempre più la trazione elettrica.
Questo fatto si manifestò per tutto l'Ottocento e per la prima parte del Novecento, almeno nei primi decenni, quando ancora lo sviluppo del trasporto automobilistico era condizionato da un sistema stradale non adeguato, da un modesto sviluppo tecnologico del mezzo e dalla difficoltà di sviluppare l'uso dell'auto in modo paragonabile a quanto era già accaduto per la ferrovia, per ragioni legate al reddito dei consumatori da una parte e dal costo degli stessi mezzi dall'altra.
Solo in un secondo momento, negli Stati Uniti a partire dagli anni Venti, in Europa nel secondo dopoguerra, si è verificata la forte crescita nell'uso dell'auto che ha comportato la necessità di rivedere completamente il sistema stradale, sia in ambito urbano e sia in quello extraurbano, e di immettere sul mercato auto sempre più rispondenti alle esigenze di una domanda molto differenziata.
Con l'uso molto diffuso dell'auto privata e del trasporto merci su strada, in breve tempo, si sono raggiunte per la mobilità degli individui e il trasporto delle merci possibilità impensabili fino a pochi decenni prima.
Contemporaneamente negli anni '50 si sono affinati gli studi della tecnica della circolazione stradale e della programmazione e valutazione degli investimenti.
Proprio nel settore dei trasporti si sono realizzati in campo mondiale i primi progetti con l'applicazione del metodo di valutazione dei costi e dei benefici, giungendo a rigorose formulazioni dei criteri di scelta.
Intanto l'industria automobilistica cresceva a dismisura diventando, insieme a quella del petrolio, quella più importante in assoluto, per fatturato, per numero di addetti, per l'indotto e, soprattutto, per il contributo decisivo impresso alla crescita di tutto il mondo industrializzato.
A questo punto, a causa dell'esigenza di conoscere le modalità con le quali si determina la domanda di trasporto per i passeggeri e per le merci, nell'ambito di diversi contesti territoriali (urbano ed extraurbano, nazionale, internazionale ed intercontinentale) e per le differenti modalità (ferroviarie, stradali, navali, aeree, a fune, ecc.), è stata affrontata una descrizione estremamente efficace degli aspetti di sintesi del rapporto tra la domanda e l'offerta con le più avanzate conoscenze nel settore dell'economia del territorio e della ricerca operativa.
Si conferma pertanto che la domanda di trasporto costituisce un bagaglio culturale imprescindibile per gli specialisti di trasporti e necessita di una grande apertura ad altre discipline quali l'economia del territorio, la ricerca operativa, la sociologia, ecc., in modo tale da consentire una rappresentazione a più largo spettro del complesso fenomeno, così come è possibile descriverlo attraverso la più opportuna modellistica; l'offerta invece, intendendo per essa infrastrutture, mezzi, impianti, sistemi integrati, valutazione comparata di investimenti, ecc., rappresenta il settore di conoscenze tradizionali ed esclusive dell'ingegnere dei trasporti.

Mobilità e diseconomie
Quando si è verificata l'esplosione della motorizzazione privata, nel mondo occidentale, Stati Uniti prima ed Europa a seguire, si ebbe la sensazione che ci si trovasse di fronte ad un formidabile progresso, con conseguente cambiamento del modo di vivere degli individui.
In effetti, il cambiamento si è verificato perché mai prima di allora gli individui, anche singolarmente, o le merci avevano potuto usufruire di altrettante opportunità di mobilità o movimentazione.

In un breve numero di anni si modificò la struttura delle città: le residenze di pregio si spostarono dai centri storici; cambiò l'organizzazione delle attività turistiche; fu praticamente rivoluzionata la distribuzione delle merci, solo per citare alcuni esempi. Tuttavia, dopo un lasso temporale non troppo lungo si è dovuto constatare che l'esplosione della mobilità dovuta al trasporto su strada si è rivelata come qualcosa di molto difficile da gestire per tutte le conseguenze negative ad essa collegate e constatare quindi la necessità di definire il concetto di mobilità sostenibile.
Infatti, assieme alle enormi possibilità sviluppatesi per la mobilità delle persone e il trasporto delle merci si sono affacciati molto rapidamente i problemi dovuti alla congestione stradale, alla sicurezza, all'inquinamento e da qui tutte le tematiche relative alla sostenibilità del sistema.
Ora è evidente che qualsiasi intervento sulla mobilità, in fase progettuale, realizzativa e gestionale, deve affrontare nuove necessità, dovute alla sostenibilità energetica, economica e ambientale, alla sicurezza e alla manutenzione, sia per quanto riguarda la domanda sia per l'offerta.
Il problema dell'impatto ambientale nel settore dei trasporti è già stato oggetto di studio attraverso la collaborazione di numerose Università.
Questo argomento, nell'ambito dei trasporti, rappresenta per il futuro una delle più importanti tematiche da affrontare per le quali è necessario utilizzare al meglio le più avanzate tecnologie esistenti e contemporaneamente accelerare la ricerca e l'innovazione in settori ingegneristici che a volte si discostano fortemente da quelli tradizionali degli ingegneri dei trasporti.
Con l'evoluzione dei trasporti precedentemente descritta, sebbene la soluzione di tutte le problematiche rimanga sempre nell'interazione tra domanda ed offerta, la quantità di vincoli che è necessario considerare è cresciuta in modo rilevante.

Nuove tecnologie e modifiche conseguenti
L'introduzione di nuove tecnologie richiede un notevole approfondimento dello studio dell'offerta, non solo in termini tradizionali, ma con l'utilizzo di nuove conoscenze, in particolare per ciò che concerne l'informatica e la telematica.
Le applicazioni dell'informatica e della telematica, dalle quali poi deriva la grande rivoluzione dell'automazione integrale degli ITS e dell'infomobilità, sono sicuramente le innovazioni tecnologiche che più hanno comportato un cambiamento nello stesso modo di approcciare lo studio del fenomeno dei trasporti, sia da un punto di vista conoscitivo sia da quello gestionale, organizzativo e di esercizio.
Più in generale tutte le infrastrutture dei trasporti ed i veicoli si stanno modificando per rispondere a nuovi standard prestazionali derivanti da differenti e molteplici circostanze.
Pertanto in tema di innovazioni tecnologiche verranno esaminati due grandi settori: quello delle infrastrutture e dei mezzi e quello dell'informatica e della telematica applicata ai trasporti.
C'è anche da dire che le componenti dell'offerta molto spesso stanno subendo delle modifiche dovute all'evoluzione tecnologica e tali da generare esse stesse notevoli variazioni nella domanda.
Alcuni esempi:
- l'estesa affermazione del container ha modificato completamente il trasporto delle merci via mare tanto da rendere competitiva la produzione europea nell'est asiatico;

- l'alta velocità ferroviaria ha determinato un'esplosione della domanda molto superiore alle più rosee previsioni e sicuramente non prevista da alcuni studiosi dell'economia dei trasporti, i quali ritenevano del tutto inutili gli investimenti nel settore;
- l'offerta del *low-cost* nel settore aereo, dovuta ad innovative modalità gestionali, ha prodotto una crescita esponenziale della domanda ed ha modificato i criteri di gestione di tutte le compagnie aeree.

Si potrebbe continuare con numerosi esempi sull'utilizzo dell'ITS, sul trasporto pubblico locale, ecc.

Le nuove tecnologie, infatti, vengono contestualizzate nello specifico campo di utilizzazione per i differenti settori ed altrettanto può dirsi per quanto concerne i sistemi gestionali.

C) CONTENUTI DELLA COLLANA

Inizialmente si era pensato alla necessità di far discendere la descrizione delle soluzioni tecnologiche e gestionali da un quadro di programmazione generale che potesse determinare la domanda e conseguentemente l'offerta di trasporto, per dare una logica espositiva consequenziale.

La collana avrebbe dovuto iniziare con un primo volume di inquadramento degli aspetti generali dei trasporti e della pianificazione tecnica, economica e politica, seguito successivamente dagli altri di carattere specialistico.

Tuttavia tale approccio avrebbe di sicuro comportato tempi molto lunghi.

Pertanto è sembrato più importante approfittare dello sforzo comune di tanti colleghi con i quali si è avuto modo di discutere i diversi argomenti, essendo quest'opera un lavoro collegiale derivante dalla collaborazione di un elevato numero di ricercatori, ciascuno con le proprie conoscenze specifiche e i propri approfondimenti culturali, piuttosto che aspettare la realizzazione di un perfetto inquadramento logico, che comunque è molto chiaro a tutti e che rimane sullo sfondo come riferimento culturale di tutta l'opera.

Con le differenze derivanti dai diversi casi specifici i volumi hanno uno schema logico-espositivo comune, che si articola in:

- descrizione generale dello stato dell'arte;
- metodi e criteri di programmazione;
- aggiornamento dello stato della tecnica con esposizione approfondita delle nuove metodologie e tecnologie per la progettazione;
- rappresentazione delle principali esternalità negative derivanti dai diversi processi produttivi, per tener conto dei vincoli di compatibilità ambientale, allorquando applicabile;
- descrizione dei diversi nuovi sistemi gestionali determinati dalle stesse tecnologie;
- esposizione di alcuni casi di buone pratiche.

Una delle caratteristiche dell'opera, come detto in precedenza, è data dal fatto che ciascun argomento o tema, coordinato da un professore di trasporti, è stato scritto a più mani, spesso numerose, e, quindi, con gli apporti di conoscenza e di esperienza provenienti da diverse sedi universitarie (in ordine puramente geografico, Politecnici di Torino e Milano, Università di Brescia, Padova, Venezia, Trieste, Firenze, Roma La Sapienza, Roma Tor Vergata, Roma Tre, L'Aquila, Napoli Federico II, Salerno, Potenza, Calabria, Catania, Palermo e Cagliari).

Per alcune parti dell'opera ci si è avvalsi della collaborazione di esperti esterni al mondo accademico che comunque potessero vantare una riconosciuta competenza sugli argomenti da loro trattati.

Proprio utilizzando le conoscenze e le esperienze maturate dai diversi docenti, ricercatori e specialisti si è giunti ad enucleare una serie di tematiche omogenee tra loro, che in parte sono state trattate nei volumi della Collana già editi e in parte verranno approfondite nei volumi in programma.

IL COMITATO SCIENTIFICO
Agostino Cappelli
Giovanni Corona
Bruno Dalla Chiara
Demetrio Festa
Gabriele Malavasi
Giulio Maternini
Stefano Ricci
Paolo Ritossa
Giuseppe Salvo

NOTE BIOGRAFICHE

DIRETTORE SCIENTIFICO

Giovanni Corona
Già Professore ordinario di Trasporti, Università degli Studi di Cagliari; promotore, socio fondatore e già Presidente della Società Italiana dei Docenti di Trasporti

COMITATO SCIENTIFICO

Agostino Cappelli
Professore ordinario di Trasporti, Dipartimento di Culture del Progetto (DCP), IUAV di Venezia

Bruno Dalla Chiara
Professore ordinario di Trasporti, Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI), Politecnico di Torino

Demetrio Carmine Festa
Professore ordinario di Trasporti, Dipartimento di Ingegneria Civile, Università della Calabria

Gabriele Malavasi
Professore ordinario di Trasporti, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA), Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

Giulio Maternini
Professore ordinario di Trasporti, Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio, Ambiente e di Matematica (DICATAM), Università degli Studi di Brescia

Stefano Ricci
Professore ordinario di Trasporti, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA), Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

Gian Paolo Ritossa
Già Professore ordinario di Trasporti Navali, Università degli Studi di Cagliari

Giuseppe Salvo
Professore associato di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali, Università di Palermo

SOMMARIO

A TRASPORTI, ENERGIA E AMBIENTE
Maria Pia Valentini
A1 Questione energetica e cambiamenti climatici
A2 Il peso dei trasporti
A3 Il ruolo dello sviluppo tecnologico
A4 Efficienza energetica nei trasporti: concetti generali

B RICHIAMI DI MECCANICA DELLA LOCOMOZIONE AI FINI ENERGETICI
Bruno Dalla Chiara • Nicola Coviello • Francesco Paolo Deflorio
B1 L'equilibrio di un veicolo terrestre
B2 Il fenomeno dell'aderenza
B3 Le resistenze al moto
B4 Le fasi del moto
B5 Diagrammi del moto semplificati
B6 Applicazioni numeriche

C LA RIDUZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI NEI VEICOLI
Giovanni Pede
C1 Riduzione delle resistenze al moto
C2 Processi di conversione dell'energia a bordo mezzo, le motorizzazioni tradizionali
C3 Applicazioni numeriche

D ENERGIA ED ELETTRIFICAZIONE DEI TRASPORTI STRADALI
Giovanni Pede
D1 I veicoli elettrici "puri" o a batteria
D2 Le batterie, concetti di carattere generale
D3 I supercondensatori
D4 I volani
D5 Costi e prestazioni dei sistemi d'accumulo elettrico
D6 Azionamenti elettrici
D7 I veicoli elettrici con celle a combustibile
D8 Applicazioni numeriche

E LE MODALITÀ DI RICARICA
Bruno Dalla Chiara • Nicola Coviello • Francesco Paolo Deflorio
E1 Le infrastrutture di ricarica e la ricarica rapida
E2 Interconnessione terra-bordo

F I SISTEMI DI TRAZIONE IBRIDI
Giovanni Pede
F1 Modalità di funzionamento e classificazione
F2 Risparmio energetico e ibridi
F3 Dimensionamento dei sistemi di trazione ibridi
F4 La scelta della tipologia del sistema di accumulo elettrico
F5 Applicazioni numeriche

G CONSUMO ENERGETICO NEI SISTEMI DI TRASPORTO A IMPIANTO FISSO: TRASPORTO FERROVIARIO E APM
Bruno Dalla Chiara • Nicola Coviello • Mauro Affatato • Fabrizio Bruno • Luca Castello
G1 Premessa
G2 Sistemi per la trazione elettrica
G3 Frenatura elettrica
G4 Fattori influenti sui consumi energetici in ambito ferroviario
G5 Rassegna di valori da letteratura
G6 Automated people mover (apm) con trazione a fune
G7 Applicazioni numeriche

H COMBUSTIBILI E VETTORI ENERGETICI, TRADIZIONALI E INNOVATIVI
Alessandro Agostini
H1 Combustibili tradizionali
H2 Combustibili alternativi di origine fossile
H3 Biocarburanti
H4 E-fuels
H5 Sostenibilità di biocarburanti ed e-fuels

I EFFICACIA ENERGETICO-AMBIENTALE DELLE PRINCIPALI OPZIONI TECNOLOGICHE DEI VEICOLI
Giovanni Pede
I1 Life cycle assessment (LCA) in campo automobilistico
I2 Applicazione numerica
I3 Risultati e conclusioni dello studio del JRC
I4 Aggiornamenti su LCA per i veicoli elettrici

L STRATEGIE D'INTERVENTO
Maria Pia Valentini • Maria Lelli

M CONCLUSIONI
L1 Framework
L2 Il punto di vista dell'Europa
L3 Le indicazioni dell'IEA
L4 Trasporti ed energia in Italia

TRASPORTI, ENERGIA E AMBIENTE

A

A1 Questione energetica e cambiamenti climatici

A2 Il peso dei trasporti

A3 Il ruolo dello sviluppo tecnologico

A4 Efficienza energetica nei trasporti: concetti generali

INDICE

	PREFAZIONE DEL DIRETTORE SCIENTIFICO DELLA COLLANA	4
	PREFAZIONE DELL'EDITORE	6
	NOTE BIOGRAFICHE	8
	INTRODUZIONE DEL COMITATO SCIENTIFICO	9
	SOMMARIO	15
A	**TRASPORTI, ENERGIA E AMBIENTE**	
A1	QUESTIONE ENERGETICA E CAMBIAMENTI CLIMATICI	19
A2	IL PESO DEI TRASPORTI	29
A3	IL RUOLO DELLO SVILUPPO TECNOLOGICO	33
A4	EFFICIENZA ENERGETICA NEI TRASPORTI: CONCETTI GENERALI	37
B	**RICHIAMI DI MECCANICA DELLA LOCOMOZIONE AI FINI ENERGETICI**	
B1	L'EQUILIBRIO DI UN VEICOLO TERRESTRE	47
B2	IL FENOMENO DELL'ADERENZA	47
B3	LE RESISTENZE AL MOTO	49
B3.1	Resistenze ordinarie	50
B3.2	Resistenze accidentali	52
B4	LE FASI DEL MOTO	55
B5	DIAGRAMMI DEL MOTO SEMPLIFICATI	58
B5.1	Diagramma del moto a velocità uniforme	59
	(diagramma rettangolare)	59
B5.2	Diagramma trapezio	59
B5.3	Fase di avviamento	60
B5.4	Fase di regime	60
B5.5	Fase di frenatura	60
B6	APPLICAZIONI NUMERICHE	62
C	**LA RIDUZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI NEI VEICOLI**	
C1	RIDUZIONE DELLE RESISTENZE AL MOTO	70
C1.1	Riduzione del peso dei veicoli	71
C1.2	Riduzione della resistenza di rotolamento e della resistenza aerodinamica	73
C2	PROCESSI DI CONVERSIONE DELL'ENERGIA A BORDO MEZZO, LE MOTORIZZAZIONI TRADIZIONALI	74

C2.1	Perdite e rendimenti energetici: definizioni	75
C2.2	Il rendimento organico	77
C2.3	Ciclo Otto e ciclo Diesel, rendimenti ideali e rendimenti reali	79
C2.4	Motori ad accensione comandata (benzina, GPL e metano)	82
C2.4.1	Motorizzazioni a metano, compresso in bombole o liquido in serbatoi criogenici	83 83
C2.5	Motori a ciclo Diesel e conclusioni	85
C3	APPLICAZIONI NUMERICHE	86
D	**ENERGIA ED ELETTRIFICAZIONE DEI TRASPORTI STRADALI**	
D1	I VEICOLI ELETTRICI “PURI” O A BATTERIA	95
D2	LE BATTERIE, CONCETTI DI CARATTERE GENERALE	98
D2.1	Principali parametri degli accumulatori	99
D2.2	Batterie piombo-acido	103
D2.3	Batterie alcaline	104
D2.4	Batterie a flusso	104
D2.5	Batterie ad alta temperatura	105
D2.6	Batterie litio-ione	106
D2.7	Batterie metallo-aria	110
D2.8	Sicurezza delle batterie	110
D3	I SUPERCONDENSATORI	111
D4	I VOLANI	113
D5	COSTI E PRESTAZIONI DEI SISTEMI D’ACCUMULO ELETTRICO	115
D6	AZIONAMENTI ELETTRICI	115
D6.1	Nozioni di base	116
D6.2	Motore a induzione (asincrono)	119
D6.3	Motori sincroni a magneti permanenti (PMSM e BDCM)	119
D6.4	Motori a riluttanza	120
D6.5	Confronti tra le diverse tecnologie e sviluppo convergente delle stesse	121
D7	I VEICOLI ELETTRICI CON CELLE A COMBUSTIBILE	122
D8	APPLICAZIONI NUMERICHE	125
E	**LE MODALITÀ DI RICARICA**	
E1	LE INFRASTRUTTURE DI RICARICA E LA RICARICA RAPIDA	133
E2	INTERCONNESSIONE TERRA-BORDO	137
E2.1	Ricarica di tipo induttivo	139

F I SISTEMI DI TRAZIONE IBRIDI

F1	MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO E CLASSIFICAZIONE	146
F1.1	Ibridi serie	148
F1.2	Ibridi parallelo	150
F1.3	Ibridi “split”	153
F2	RISPARMIO ENERGETICO E IBRIDI	153
F2.1	Recupero di energia in frenata	153
F2.2	Ottimizzazione del rendimento del motore primo	154
F3	DIMENSIONAMENTO DEI SISTEMI DI TRAZIONE IBRIDI	156
F3.1	Il dimensionamento su profilo di missione richiesto	158
F3.2	Il criterio delle prestazioni limite e quello delle prestazioni invariate	161
F3.3	Il grado d’ibridizzazione del veicolo ibrido	163
F4	LA SCELTA DELLA TIPOLOGIA DEL SISTEMA DI ACCUMULO ELETTRICO	164
F5	APPLICAZIONI NUMERICHE	167

G CONSUMO ENERGETICO NEI SISTEMI DI TRASPORTO A IMPIANTO FISSO: TRASPORTO FERROVIARIO E APM

G1	PREMESSA	179
G2	SISTEMI PER LA TRAZIONE ELETTRICA	182
G3	FRENATURA ELETTRICA	187
G4	FATTORI INFLUENTI SUI CONSUMI ENERGETICI IN AMBITO FERROVIARIO	188
G5	RASSEGNA DI VALORI DA LETTERATURA	196
G6	AUTOMATED PEOPLE MOVER (APM) CON TRAZIONE A FUNE	201
G6.1	Modalità operative, tipologie di morsa e tecnologie di supporto dei CAPM	202
G6.2	Consumi energetici dei CAPM	207
G7	APPLICAZIONI NUMERICHE	213

H COMBUSTIBILI E VETTORI ENERGETICI, TRADIZIONALI E INNOVATIVI

H1	COMBUSTIBILI TRADIZIONALI	223
H2	COMBUSTIBILI ALTERNATIVI DI ORIGINE FOSSILE	224
H2.1	Metano	225
H2.2	GPL	225
H3	BIOCARBURANTI	225
H3.1	Biocarburanti in Italia	226
H3.2	Tecnologie di produzione dei biocarburanti	228
H4	E-FUELS	232

H4.1 Idrogeno e le sue miscele nei motori a combustione interna (MCI) 233
H5 SOSTENIBILITÀ DI BIOCARBURANTI ED E-FUELS 235

I EFFICACIA ENERGETICO-AMBIENTALE DELLE PRINCIPALI OPZIONI TECNOLOGICHE DEI VEICOLI

I1 LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) IN CAMPO AUTOMOBILISTICO 241
I2 APPLICAZIONE NUMERICA 243
I3 RISULTATI E CONCLUSIONI DELLO STUDIO DEL JRC 244
I4 AGGIORNAMENTI SU LCA PER I VEICOLI ELETTRICI 248

L STRATEGIE D'INTERVENTO

L1 FRAMEWORK 253
L2 IL PUNTO DI VISTA DELL'EUROPA 256
L2.1 Unione europea, energia e cambiamenti climatici 256
L2.2 Indicazioni strategiche e normativa sui trasporti 257
L3 LE INDICAZIONI DELL'IEA 258
L4 TRASPORTI ED ENERGIA IN ITALIA 260
L4.1 Indicazioni programmatiche 260
L4.2 Opzioni per il futuro 263

M CONCLUSIONI 269

BIBLIOGRAFIA 279