

# Turni by Double-Click: la tecnologia al servizio dell'esperienza

di **Matteo Fischetti** > m.fischetti@turni.it

■ *L'interazione fra la preziosa esperienza dei turnisti e l'alta sofisticazione tecnologica ha consentito il raggiungimento di traguardi impensabili solo pochi anni fa.*

TURNI è un software della Double-Click di Padova per l'ottimizzazione dei turni di servizio di una azienda di trasporto. E' basato sui più avanzati ed innovativi algoritmi di Ottimizzazione e di Ricerca Operativa ed ha avuto prestigiosi riconoscimenti scientifici internazionali. TURNI trae la sua forza da una costante e proficua integrazione fra l'esperienza degli addetti alla formazione turni e le più moderne tecniche matematiche ed informatiche dell'ottimizzazione.

L'ottimizzazione dei turni del personale mediante strumenti informatici riveste un ruolo fondamentale in aziende, come quelle di trasporto pubblico locale, per le quali il costo del personale rappresenta oltre 60% dei costi complessivi. La rilevanza dell'uso di software di ottimizzazione non si limita tuttavia ai notevoli risparmi ottenibili dalle singole aziende, ma va ben oltre essendo determinata anche dalla aumentata velocità di risposta alla variazione delle condizioni al contorno (richiesta di nuovi servizi o modifica delle regole contrattuali) e dalla trasparenza nelle operazioni di creazione dei turni. I turni infatti non sono più il frutto del lavoro di un tecnico orarista esperto (il "turnista") che sfrutta nozioni e capacità tramandate oralmente nel chiuso degli uffici movimento, ma derivano dall'applicazione di un algoritmo impersonale che lavora sulla base di sole regole certificabili in quanto fornite come parametri di input al programma stesso.

La prima versione del programma TURNI è stata sviluppata nel 1996 dalla neo-constituita società Double-Click di Padova, ed è stata progettata con l'attiva partecipazione del responsabile del movimento dell'Azienda Trasporti Veneto Orientale (ATVO) di San Donà di Piave (VE), Ing. Stefano Cerchier. In quegli anni, la motivazione principale per lo sviluppo di un nuovo prodotto era l'insoddisfatto comportamento dei software presenti sul mercato per la gestione delle aziende con caratteristiche extraurbane o miste. Questi prodotti non erano infatti in grado di costruire soluzioni complete che coprissero tutte le corse, ma lasciavano scoperte innumerevoli corse "tripper" che andavano successivamente coperte dal turnista "smontando e rimontando a mano" un'alta percentuale dei turni creati automaticamente – cosa che vanificava quasi completamente l'utilità della procedura (problema non ancora del tutto risolto da vari software attualmente sul mercato). Da ciò l'esigenza di sviluppare un nuovo strumento che non gestisse l'extraurbano come semplice variante del caso urbano, richiedendo p.e. la definizione preventiva del turno macchina, ma

che applicasse metodologie tipiche del trasporto ad ampio raggio ed utilizzasse modelli di ottimizzazione fino ad allora usati con successo solo nel campo del trasporto aereo.

Rispetto al trasporto aereo, il **trasporto extraurbano su gomma** introduceva però due importanti complicazioni:

- 1) un maggior numero di corse da coprire, spesso di almeno un ordine di grandezza superiore rispetto al caso aereo;
- 2) la necessità di definire la struttura del turno macchina già durante la creazione dei turni uomo.

Il primo problema era di natura essenzialmente tecnica, in quanto richiedeva il progetto di nuovi **algoritmi di ottimizzazione ad alta "scalabilità"**, in cui cioè il tempo di calcolo e la qualità delle soluzioni non peggiorassero rapidamente all'aumentare della dimensione del problema; la base metodologica per questa innovazione è descritta nei lavori scientifici [rif. bibliografici da 4 a 8]. Il secondo problema riguardava invece la struttura stessa dei turni generati e la necessaria integrazione del turno macchina (autobus) e del turno uomo (autista), richiedendo la creazione di trasferimenti a vuoto funzionali al turno uomo ma realizzabili correttamente anche in presenza di autobus di tipologia diverse.

Questa seconda problematica è stata affrontata con successo dalla Double-Click nel 1997, anno in cui il programma TURNI è stato installato presso la **SAF di Udine**: dovendo servire linee montane con autobus particolari, quest'azienda era infatti molto sensibile alla corretta gestione delle diverse tipologie di mezzo. In questo contesto è stato sviluppato un efficace meccanismo per la generazione automatica dei trasferimenti a vuoto e della gestione delle



Fig. 1 - Un'autista al lavoro.

tipologie di autobus, per la cui analisi si è rivelata preziosa l'esperienza dei responsabili del movimento della SAF.

Nel 2000, dopo un attento confronto con le prestazioni dei software concorrenti presenti sul mercato internazionale, il programma TURNI è stato acquistato dalle **Ferrovie Olandesi** (NS Reizigers), che dal 2001 lo utilizzano con successo sia in campo operativo che per l'analisi di scenari alternativi, ottenendo risparmi certificati pari al 2% sul costo del personale viaggiante (con un risparmio per l'azienda di oltre 6 milioni di euro all'anno) [1 e 12]. L'applicazione ad una realtà di dimensioni così grandi (**6500 agenti**, fra autisti e controllori, e 29 grandi depositi) ha richiesto lo sviluppo di nuove tecniche proprietarie di ottimizzazione.

Alcune di queste tecniche innovative sono state rese note negli anni successivi e pubblicate nella letteratura scientifica internazionale in modo permettere un avanzamento dello stato dell'arte, e sono oggi note con il nome di **local branching** [9 e 11] e di **feasibility pump** [3 e 10].

Fino al 2002, TURNI è stato usato prevalentemente in aziende extraurbane o miste. Nel 2002, il programma è stato ampliato e strutturato in modo da gestire in modo ottimizzato anche il caso puramente urbano, grazie al contributo di analisi del Dott. Alberto Tilli e dell'Ing. Andrea Corsini, responsabili dell'ufficio movimento della **TRA.IN di Siena**.

Come si vede, a partire dalla sua prima versione il programma TURNI si è costantemente arricchito mettendo a frutto l'esperienza dei turnisti delle varie aziende di trasporto italiane che lo acquisivano, turnisti che hanno spesso proposto ed ispirato alcune modifiche e migliorie utili per la gestione delle più svariate normative.

L'interazione fra l'insostituibile esperienza dei turnisti e l'alta sofisticazione tecnologica degli algoritmi di ottimizzazione è stata quindi una costante nell'evoluzione del programma TURNI. A tal proposito è da citare l'apporto dato (fra gli altri) dal Sig. Erasmo Taormina della STIE di S. Vittore Olona (MI) per la gestione delle corse in base alle linee, dal Sig. Gianni Maglioli dell'**ATAP di Biella** e dall'Ing. Rino Guerra dell'**APAM di Mantova** per la gestione integrata del servizio urbano ed extraurbano, e del Dott. Aldo Bernard e dell'Ing. Silvio Sada della **TRENTINO TRASPORTI** di Trento per la gestione delle varianti settimanali dei turni base.

Il programma TURNI è attualmente operativo presso numerose aziende di trasporto italiane, fra cui: APAM di Mantova, APT di Gorizia, ATP di Carasco (GE), ARFEA di Alessandria, ATAM di Reggio Calabria, ATAP di Biella, ATM di Piombino, ATVO di San Donà di Piave (VE), Autostradale di Milano, DolomitiBus di Belluno, Gruppo SAB (ex SAB di Bergamo, SIA e SAIA di Brescia, SAL di Lecco), LaMarca di Treviso, Provincia di Venezia (Settore Mobilità e Trasporti), SADEM di Torino, SAF di Udine, SAPAV di Pinerolo (TO), STAR di Lodi, STIE di S. Vittore Olona (MI), TRA.IN di Siena, e TRENTINO TRASPORTI (ex ATESINA) di Trento (extraurbano, urbano e ferroviario).

Il programma è inoltre utilizzato quotidianamente come strumento sia operativo che di analisi dalle **Ferrovie Olandesi** (Department of Logistics, NS Reizigers) e dalle **Ferrovie Danesi** (DSB S-TOG, Copenhagen).

## Utilizzo del software

Una caratteristica importante del software TURNI è quella di poter soddisfare appieno le molteplici esigenze tipiche delle aziende di trasporto italiane, sia urbane che extraurbane o miste, in quanto gestisce in modo parametrico tutti i vincoli normativi ed i contratti integrativi in uso nelle numerose aziende che già lo utilizzano. E' cioè possibile variare la normativa da applicare agendo in modo molto semplice sui parametri che regolano i tempi di lavoro massimi/medi, le indennità da applicare, i tempi di pre/post da aggiungere ad inizio/fine ripresa, ecc. I parametri più significativi, come il numero massimo di turni e le medie di lavoro e di nastro, sono inoltre specificabili in modo differenziato a seconda del deposito di appartenenza dei turni (residenza), il che permette a TURNI di gestire in modo ottimizzato anche situazioni "miste" in cui siano presenti gestori diversi (sia urbani che extraurbani) con costi e normative differenziate. Inoltre il programma si integra in modo molto semplice in qualsiasi contesto aziendale, in quanto non presuppone la presenza di un particolare applicativo gestionale ma richiede un insieme molto semplice di dati di input, in formato testo o Excel.

L'alta sofisticazione tecnologica degli algoritmi proprietari implementati all'interno di TURNI ha il vantaggio di individuare rapidamente soluzioni molto buone del problema (tipicamente già dopo i primi minuti le soluzioni sono paragonabili a quelle manuali), e di migliorarle man mano che l'elaborazione procede. I tempi di esecuzione tipici per individuare soluzioni quasi ottimali su notebook Pentium Centrino Duo 2.0Ghz con 512 MB di RAM per problemi con circa 2000 corse (circa 200 turni uomo) sono dell'ordine di un'ora.

Elaborazioni più lunghe possono essere utili per raffinare ulteriormente le soluzioni individuate, andandone a "limare" il costo finale.

L'introduzione del software TURNI all'interno delle aziende di trasporto ha portato ad una nuova e più moderna organizzazione dell'ufficio orari ed ha significativamente aumentato la sua capacità di rispondere in tempo reale sia alle esigenze operative (cambi di orario, nuove corse) che alle necessità di simulazione della direzione (analisi di possibili nuove linee, valutazione dell'impatto di nuove regole, gare per l'acquisizione di nuovi servizi).

### I risultati ottenuti possono essere sintetizzati come segue:

- **Utilizzo operativo:** Ottimizzazione dei turni per il servizio base e per le sue varianti (ad esempio, per i giorni invernali non scolastici). Rispetto alle soluzioni manuali, si ottengono tipicamente risparmi certificabili del 2-3% sul numero di turni.

- **Inserimento di nuove corse:** Vista la possibilità data dal software TURNI di avere un miglioramento dell'offerta a parità di risorse impiegate, miglioramento altrimenti ottenibile solo con un aumento di organico, è possibile ipotizzare un potenziamento dell'offerta p.e. nelle ore di punta dei giorni scolastici a partire dalle situazioni di sovraccarico rilevate più critiche. L'utilizzo del software TURNI consente una risposta immediata alle eventuali richieste di nuove corse, con turni sempre ottimizzati rispetto alla nuova situazione del servizio.

- **Valutazione di nuove ipotesi contrattuali:** Per la sua velocità e flessibilità, il software TURNI è particolarmente adatto a valutare le proposte di modifica delle regole contrattuali in uso, consentendo una quantificazione accurata e pressoché immediata delle conseguenze che le nuove regole produrrebbero sull'effi-

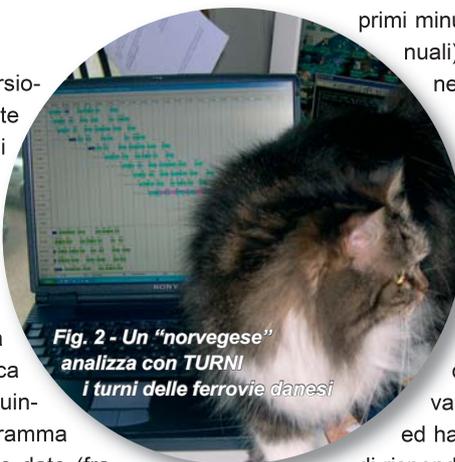


Fig. 2 - Un "norvegese" analizza con TURNI i turni delle ferrovie danesi



Fig. 3 - Le officine ATVO (VE).

cienza dei turni. Utilizzando un comune computer portatile il software TURNI permette di ottenere le prime indicazioni affidabili già dopo circa 15 minuti di calcolo (per simulazioni con un centinaio di turni), mentre risultati definitivi si ottengono dopo circa un'ora di elaborazione, a fronte dei giorni necessari per una analoga analisi manuale. Un risultato molto interessante di queste analisi riguarda il diverso peso che alcune regole hanno nel caso di generazione

## L'esperienza Apam di Mantova

La parola definitiva sulla bontà di un software applicativo spetta agli utenti finali. Il livello di gradimento del software TURNI dai parte dei suoi utilizzatori è elevatissimo, come testimoniato tra l'altro nei due articoli pubblicati nel 2005 - '06 (*MobilityLab* n°6 pag.20 *Ferrovie Olandesi* e n° 7 pag. 47 *Trentino Trasporti*) su questa stessa rivista. Qui riportiamo le impressioni "sul campo" sull'utilizzo del programma da parte di una azienda entrata recentemente nella famiglia di TURNI, dando la parola all'ing. Carlo Baldini, direttore di APAM Esercizio S.p.a., Mantova.

**D: Ing. Baldini, nel 2006 la vostra azienda ha acquistato il programma TURNI della Double-Click: può spiegarci quali sono le principali motivazioni che vi hanno spinto a scegliere questo prodotto?**

R: Da tempo la nostra società era interessata a problematiche di questo tipo. Ovviamente risparmiare sul numero dei turni di un programma di esercizio, così come saper valutare anticipatamente cosa comporta (in termini organizzativi ed economici) una determinata scelta, è importantissimo. Preciso che siamo partiti da una realtà in cui i turni venivano creati manualmente grazie alla lunga esperienza acquisita dai nostri turnisti urbani ed extraurbani. Da tempo avevamo verificato sul mercato i principali prodotti esistenti ma siamo sempre rimasti perplessi sul loro effettivo utilizzo come strumento di lavoro nell'operatività quotidiana dell'azienda. Modelli di simulazione di difficile creazione, run lunghi ed elaborati che dopo molte ore di esecuzione lasciano scoperte (cioè non assegnate a nessun turno di lavoro) parecchie corse del programma di esercizio, inspiegabili messaggi di "run time error", tutto questo ci aveva sfiduciati sulla prosecuzione del progetto.



Fig. 4 - C. Baldini, dal 2004 direttore generale Apam Esercizio.

automatica dei turni rispetto al caso di una loro definizione manuale. In particolare, regole che appaiono di solito molto vincolanti nella soluzione manuale, come ad esempio il limite massimo di durata di una ripresa nel caso di turni con due riprese, appaiono spesso ampiamente ininfluenti nel caso di soluzioni ottimizzate, una conseguenza questa dell'enorme numero di soluzioni alternative valutate internamente da TURNI.

Le regole con maggiori ripercussioni sul numero di turni nel caso di soluzioni automatiche sono tipicamente quelle che riguardano il tempo complessivo di guida. Anche in questo caso, però, il risultato dipende strettamente dall'organizzazione del servizio e dai dati del problema, e può essere quantificato solo disponendo di un affidabile metodo automatico di valutazione. Aumentando gradualmente il tempo di guida in diverse simulazioni, infatti, si nota dapprima una diminuzione del numero di turni, poi oltre un certo limite tale numero non diminuisce più nonostante l'aumento del tempo di guida consentito; in questo caso, il vincolo che impedisce l'ulteriore diminuzione del numero di turni è dato tipicamente dalla concentrazione delle corse nelle ore di punta. La determinazione esatta del punto di discontinuità (break point) permette quindi di definire in modo molto accurato il limite ottimale che consente di massimizzare la soddisfazione degli autisti e la regolarità del servizio, senza che questo si ripercuota su di una minor efficienza dei turni e quindi su di un maggior costo per l'azienda.

Poi il nostro staff tecnico ha accettato di effettuare una simulazione di prova utilizzando il programma TURNI della Double-Click. E' apparsa da subito la differenza sostanziale con gli altri prodotti esaminati. Il programma TURNI ci è immediatamente apparso come un reale strumento di lavoro nella stesura dei turni guida e nelle verifiche organizzative o contrattuali. L'elevata interazione con l'utente consente infatti un utilizzo facile e controllato del programma. Queste sono state le prime impressioni che ci hanno spinto ad approfondire l'analisi del programma.

**D: Quindi avete testato il programma su vostri dati di esercizio. Quali gli obiettivi della simulazione? E quali i risultati?**

R: Ovviamente il primo obiettivo era di verifica sul numero minimo di turni necessari per coprire l'intero servizio. Tramite un file di parametri articolato e ben documentato, abbiamo abbozzato un primo modello di simulazione sia per l'ambito urbano che per quello extraurbano. Il programma ci ha ben supportato in questa fase di calibrazione del modello grazie ad una messaggistica di errore puntuale e circostanziata. I primi risultati ottenuti hanno manifestato da subito la capacità del programma di produrre significativi risparmi in termini di numero di turni: in ambito extraurbano abbiamo riscontrato riduzioni sempre superiori al 2% rispetto alle soluzioni manuali precedentemente in esercizio.

**D: La decisione finale è stata poi quella di acquistare il programma. Ci sono stati problemi nella implementazione del programma nella vostra realtà?**

R: Dopo la fase di test iniziale abbiamo in effetti deciso di acquistare il programma. A questo punto siamo entrati nel dettaglio del modello di simulazione per allinearlo perfettamente alla nostra

[SGUE >>](#)

realtà aziendale. APAM ha una lunga storia di contratti integrativi aziendali che non hanno facilitato questa fase. Devo dire che è stato possibile implementare completamente il nostro modello di gestione, compresa l'articolata gestione dei tempi accessori di pre e di post lavoro che prevedono, in ambito urbano, un elevatissimo numero di varianti.

**D: Dopo due anni di lavoro con TURNI, qual è il bilancio APAM?**

R: TURNI è ormai diventato uno strumento operativo pienamente integrato nella nostra azienda. Abbiamo inoltre individuato altri utilizzi validi del programma. Il software TURNI consente infatti di esaminare i turni costruiti manualmente verificando la correttezza di tutte le regole definite nel modello.

Da tali analisi emerge l'elasticità con cui i turnisti spesso "chiudono" un turno magari non rispettando un cuscinetto. TURNI consente invece di ottenere dei turni di lavoro che soddisfano pienamente le regole impostate, raggiungendo inoltre una maggiore uniformità del carico di lavoro. E' questo è un aspetto molto importante che ab-

biamo sfruttato per ridefinire completamente i turni di lavoro dopo aver definito un insieme di regole di base (cuscinetti fra le corse, assegnazione delle linee a gruppi di residenza, ecc.) ottenendo, fra l'altro, una riduzione della conflittualità aziendale. Altro aspetto importantissimo è la simulazione di ipotesi e scenari alternativi.

Nel corso del 2006 APAM ha dovuto rinunciare alla storica auto-stazione di Piazzale Mondatori, destinata ad altro uso. In sostituzione sono state ottenute tre "autostazioni passanti" posizionate sul territorio. Per merito di TURNI è stato quindi possibile valutare l'impatto ed il costo del nuovo servizio che variava in modo pesante l'ingresso e l'uscita delle linee extraurbane nella città di Mantova. Una simulazione tira l'altra, un risultato fa intravedere nuove ipotesi organizzative e prospettive che si possono verificare velocemente ed in modo affidabile: accorpamenti di residenze, effetto dell'aumento di 5 minuti sulla media di lavoro, ridefinizione e semplificazione dei tempi accessori con un valore forfettizzato, ecc. L'utilizzo di TURNI porta anche a questo, e "conoscere prima di decidere" è un vantaggio enorme offerto da questo strumento.

## Sviluppi futuri

Lo sviluppo tecnologico del programma TURNI non si è certo esaurito con il passare del tempo, ma continua nel tentativo costante di fornire all'utilizzatore uno strumento sempre più potente e flessibile. Oltre ai miglioramenti algoritmici ed alle modifiche "fisiologiche" legate all'avanzamento dello stato dell'arte nel campo dell'ottimizzazione e allo sviluppo normativo nel campo dei trasporti, sono due i nuovi scenari che attualmente pongono una sfida tecnologica.

Il **primo scenario** è relativo alla possibilità di risolvere in modo unificato il problema di turnazione di un'intera settimana. Senza pretendere di calcolare contemporaneamente sia i turni che la loro effettiva rotazione (vestizione), l'obiettivo è quello di distribuire automaticamente i carichi di lavoro fra i vari giorni della settimana, fissando un valore medio settimanale e lasciando all'ottimizzatore il compito di ripartire queste medie in modo ottimale. In quest'ottica, già da un anno è attiva una collaborazione con le Ferrovie Olandesi per utilizzare una versione modificata di TURNI che elabori tutte le corse della settimana, il che pone ovviamente problemi tecnici non indifferenti per l'accresciuto numero di corse da gestire. In effetti, prove interne della Double-Click hanno recentemente spinto TURNI oltre la barriera delle 100.000 corse elaborate in un unico run (primato ancora ineguagliato dai software concorrenti), con ottimi risultati sia in termini di tempi di calcolo che di qualità delle soluzioni ottenute. Utilizzando questo nuovo strumento, le ferrovie olandesi hanno predisposto il nuovo orario 2007 ottenendo ulteriori notevoli risparmi sul numero di turni complessivi, quantificati in svariati milioni di euro all'anno [2].

Un **secondo contesto** molto interessante che attualmente viene

studiato dalla Double-Click in collaborazione con la TPS srl di Perugia è quello della stima dei costi di esercizio legati al personale viaggiante. A breve è previsto il rilascio di una versione modificata di TURNI, detta **stimaTURNI**, completamente integrata nel software VISUM e con modalità di utilizzo semplificate che ne consentano un uso agevole anche da parte di utenti che non hanno come *core business* la turnazione, come gli uffici tecnici delle Amministrazioni Locali (Comuni, Province, Regioni). Il programma stimaTURNI si avvarrà di algoritmi di calcolo particolarmente aggressivi in grado di stimare in modo molto rapido e con alto grado di affidabilità tutte le principali voci di costo di una turnazione ottimizzata (n. di turni, minuti di straordinario, diarie, altri voci specifiche), consentendo una efficace e puntuale valutazione di ipotesi alternative per la ripartizione di servizi fra aziende diverse.

Sulle prestazioni del software **stimaTURNI** e sulla sua integrazione all'interno del software **VISUM** riferiremo in un prossimo articolo su **MobilityLab**.



INFORMAZIONI: [www.turni.it](http://www.turni.it)

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. E. Abbink, M. Fischetti, L. Kroon, G. Timmer, M. Vromans, "Reinventing Crew Scheduling at Netherlands Railways", *Interfaces* 35(5), 393-401, 2005; finalista del premio INFORMS 2004 "Daniel H. Wagner Prize for Excellence in Operations Research Practice".
2. E. Abbink, J. Wout, D. Huisman, "Solving Large Scale Crew Scheduling Problems by using Iterative Partitioning", Technical Report, Erasmus University, Rotterdam, 2007.
3. L. Bertacco, M. Fischetti, A. Lodi, "A Feasibility Pump Heuristic for General Mixed-Integer Problems", *Discrete Optimization* 4, 63-76, 2007.
4. A. Caprara, M. Fischetti, P.L. Guida, P. Toth, D. Vigo, "Solution of Large-Scale Railway Crew Planning Problems: the Italian Experience" in N.H.M. Wilson (ed.), *Computer-Aided Transit Scheduling*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, 1-18, 1999.
5. A. Caprara, M. Fischetti, P. Toth, "A Heuristic Method for the Set Covering Problem", *Operations Research* 47, 5, 730-743, 1999.
6. A. Caprara, M. Fischetti, P. Toth, D. Vigo, P.L. Guida, "Algorithms for Railway Crew Management", *Mathematical Programming B* 79, 125-141, 1997.
7. A. Caprara, P. Toth, M. Fischetti, "Algorithms for the Set Covering Problem", *Annals of Operations Research* 89, 353-371, 2000.
8. M. Fischetti, A. Lodi, S. Martello, P. Toth, "A Polyhedral Approach to Simplified Crew Scheduling and Vehicle Scheduling Problems", *Management Science* 47, 6, 833-850, 2001.
9. M. Fischetti, A. Lodi, "Local Branching", *Mathematical Programming B*, 98, 23-47, 2003.
10. M. Fischetti, F. Glover, A. Lodi, "The Feasibility Pump", *Mathematical Programming A*, 104, 91-104, 2005.
11. M. Fischetti, A. Lodi, "Repairing MIP infeasibility through Local Branching", *Computers and Operations Research*, Digital Object Identifier (DOI) 10.1016/j.cor.2006.08.004, 2006.
12. L. Kroon, M. Fischetti, "Crew Scheduling for Netherlands Railways: Destination Customer", in S. Voss and J.R. Daduna (ed.s), *Computer-Aided Scheduling of Public Transport*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, 181-201, 2001.

## Autore



### Matteo Fischetti

Professore Ordinario di Ottimizzazione presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Padova.

E' fra i maggiori esperti a livello internazionale dei problemi di ottimizzazione relativi alla formazione dei turni. Ha pubblicato più di 80 lavori scientifici sulle più prestigiose riviste internazionali ed ha ricevuto alcuni premi internazionali per le sue ricerche nel campo dei trasporti.