

Sistema di comando della destinazione per ascensori double-deck

Double-deck destination control system

Janne Sorsa & Marja-Liisa Siikonen

Kone Elevators Ltd., Finlandia / Finland

SOMMARIO
Gli ascensori a due piani (*double-deck*) sono utilizzati negli edifici alti per ridurre lo spazio centrale occupato dagli ascensori. La capacità di movimentazione con gli ascensori a due piani è circa 1,5 volte la capacità di movimentazione di ascensori a piano singolo, considerando diversi schemi di traffico. In una situazione di picco in salita, gli ascensori a due piani si fermano ad ogni altro piano riducendo così il numero di fermate durante l'intero ciclo di circa la metà rispetto agli ascensori a piano singolo. Se si usa un sistema di comando della destinazione sugli ascensori a due piani, il numero di fermate durante l'intero ciclo può essere ulteriormente diminuito. In questo articolo, è presentato un sistema di comando della destinazione per gli ascensori a due piani e la relativa prestazione è confrontata con quella degli ascensori a due piani convenzionali come anche con quella degli ascensori a singola cabina.

Parole chiave: a due piani (*double-deck*), comando della destinazione, simulazione, algoritmo genetico.

1. INTRODUZIONE

Negli edifici alti, gli ascensori a due piani fanno risparmiare una notevole quantità, circa il 30%, dello spazio centrale riservato all'ascensore nell'edificio, rispetto ad ascensori a piano singolo. Gli ascensori a due piani si adattano meglio in edifici a pianta ampia con una popolazione uniforme. Il requisito di altezze di piano identiche in un edificio inizia ad essere superato poiché diventano più comuni tra i fabbricanti le distanze regolabili tra i piani degli ascensori.

L'ascensore a due piani è stato inventato negli anni '30, ma la maggior parte degli ascensori a due piani furono installati solo dopo gli anni '70. Furono prima installati nell'America del nord, e poi negli anni '90 prevalentemente in Asia e Europa. Entro un paio d'anni, ci saranno circa 700 ascensori a due piani in totale in servizio in tutto il mondo, in più di 50 edifici. Nella fase iniziale, i sistemi a due piani furono reputati leggermente lenti poiché c'erano tantissime fermate in cui solo uno dei due piani serviva le persone. Kavounas (1989) ha mostrato teoricamente che in una situazione di picco in salita, con un buon sistema, non più di un sesto delle fermate probabili dovrebbero essere quelle in cui solo un piano stia servendo (coefficiente di merito).

Negli anni '90, la tecnologia con microprocessore è stata adottata sugli ascensori a due piani e sono così diventati più efficienti. Tutti gli ascensori a due piani esistenti utilizzano il sistema di

ABSTRACT
Double-deck elevators are used in tall buildings to reduce the core space occupied by elevators. The handling capacity with double-deck elevators is approximately 1.5 times the handling capacity of single-deck elevators when considering different traffic patterns.

In an up-peak situation, double-deck elevators stop at every other floor thus reducing the number of stops during the round trip to about half compared to single-deck elevators.

If a destination control system is used with double-deck elevators, the number of stops during the round trip can be decreased further.

In this article, a destination control system for double-deck elevators is presented and its performance is compared to conventional double-deck elevators as well as to single-deck elevators.

Key words: *double-deck, destination control, simulation, genetic algorithm.*

1. INTRODUCTION

In high-rise buildings double-deck elevators save a considerable amount, about 30%, of the building elevator core space compared to single-deck elevators.

Double-deck elevators are best suited to large plated buildings with an even population.

The requirement of even floor heights in a building starts to be past as the adjustable distances between the decks become more common among the manufacturers.

The double-deck elevator was invented in 1930's, but most double-deck elevators were not installed until after the 1970's. First they were placed in North America, and later in the 1990's mostly in Asia and Europe.

Within a couple of years, there will be about 700 double-deck elevators in total in operation world wide in more than 50 buildings.

In the early phase, double-deck systems were found to be somewhat slow since there were so many stops where only one of the two decks was serving passengers. Kavounas (1989) showed theoretically that in an up-peak with a good system no more than one sixth of the probable stops should be those where only one deck is serving (figure of merit).

In the 1990's, microprocessor technology was adopted in double-deck elevators and they became more efficient.

comando collettivo completo convenzionale con pulsanti di piano di salita e discesa. Il comando della destinazione è stato lanciato sugli ascensori a piano singolo negli anni '90. Per gli ascensori a due piani, questo sistema è stato introdotto recentemente da Fortune (2005) ma questi impianti ancora non esistono.

Il presente articolo descrive i principi di comando esistenti per l'ascensore a due piani e l'utilizzo di un algoritmo genetico nei comandi convenzionali e di destinazione di ascensori a due piani. Si studia l'effetto dell'organizzazione dell'atrio ed infine si confronta la prestazione di soluzioni ascensore alternative.

2. SISTEMI DI COMANDO CONVENZIONALI PER ASCENSORI A DUE PIANI

2.1 Principi di comando conosciuti per gli ascensori a due piani

I sistemi di comando per i pulsanti di salita e discesa tradizionali si basano sul principio della manovra collettiva completa. La cabina più vicina nella direzione di corsa serve le chiamate di piano. Le chiamate di cabina registrate dalle persone all'interno della cabina sono sempre servite in ordine sequenziale. L'ascensore non cambia mai la propria direzione finché ci sono chiamate di piano ancora da servire. Normalmente, il sistema di comando assegna costantemente le chiamate di piano attive agli ascensori, il che rende possibile che il sistema di comando cambi l'assegnazione dinamicamente.

I sistemi di comando per ascensori a due piani necessitano di massimizzare le fermate coincidenti, dove ci sono persone in attesa di salire, o persone che viaggiano verso piani adiacenti. Normalmente, il sistema di comando seleziona l'ascensore che deve servire una chiamata specifica ed assume che un piano ascensore specifico servirà il piano in questione. Poi, se si verifica una chiamata di piano sul piano adiacente, il sistema di comando può anche usare l'altro piano ascensore per servire la chiamata coincidente.

La strategia su come selezionare il piano ascensore che deve servire un piano specifico riguarda le esperienze delle persone del livello di servizio. Una semplice strategia fissa sarebbe di selezionare o il piano ascensore di testa o di coda per una data chiamata di piano. Per esempio, presumiamo che l'ascensore stia viaggiando in discesa e che ci sia un'assegnazione di una chiamata di piano per tale ascensore al piano 8. Se fosse utilizzata la strategia del piano ascensore di coda, il sistema di comando assegnerebbe prima il piano ascensore superiore per servire tale piano, e poi continuerebbe controllando un'eventuale chiamata di piano al piano 7. La strategia fissa conduce a carichi squilibrati tra i piani ascensore perché un certo piano ascensore viene preferito per servire le chiamate di piano. Un altro approccio sarebbe quello di usare regole più dinamiche per determinare il piano ascensore che deve servire le chiamate di piano. Siikonen (1998) descrive una regola semplice per selezionare il piano ascensore meno affollato. Nell'esempio precedente, se il piano ascensore inferiore ha tre persone ed il piano ascensore ne ha sei, il sistema di comando selezionerebbe il piano inferiore per servire il piano 8 e poi controllerebbe l'esistenza di un'altra chiamata al piano 9. Se si utilizza la strategia dinamica, i carichi dei piani ascensori diventano più bilanciati e lo spazio nell'ascensore è utilizzato in modo più efficiente.

All the existing double-deckers use the conventional full collective control system with up and down call buttons. Destination control was launched in single-deck elevators in the 1990's.

For double-deck elevators, this system was introduced recently by Fortune (2005) but no such installations exist yet.

This article describes the existing double-deck control principles and utilization of a genetic algorithm in conventional and destination double-deck controls.

The effect of lobby arrangements is studied and finally the performance of alternative elevator solutions is compared.

2. CONVENTIONAL DOUBLE-DECK CONTROL SYSTEMS

2.1 Known double-deck control principles

Control systems for traditional up- and down-buttons are based on the principle of full collective control.

The nearest car in the travel direction serves the landing calls.

Car calls given by passengers inside the car are always served in sequential order.

The elevator never changes its direction while there are car calls left to serve.

Typically, the control system assigns active landing calls to elevators continuously, which makes it possible for the control system to change the assignment dynamically.

Double-deck control systems need to maximize the coincident stops, where there are waiting passengers on, or travelling passengers to, adjacent floors.

Typically, the control system selects the elevator to serve a particular call and assumes a specific deck will serve the floor in question.

Then, if there happens to be a landing call on the adjacent floor, the control system can use also the other deck to serve the coincident call.

The strategy for how to select the deck to serve a particular floor affects the passenger experiences of service level.

A simple fixed strategy would be to select either the leading or the trailing deck for a particular landing call.

For example, assume that the elevator is travelling downwards and there is a landing call assignment for this elevator at floor 8.

If the trailing deck strategy were used, the control system would first allocate the upper deck to serve this floor, and then continue to check a possible landing call at floor 7.

The fixed strategy leads to unbalanced loads between the decks because a certain deck is preferred for serving landing calls.

Another approach would be to use more dynamic rules to determine the serving deck for landing calls.

Siikonen (1998) describes a simple rule for selecting the less crowded deck.

In the above example, if the lower deck has three passengers and the upper deck has six passengers, the control system would select the lower deck to serve floor 8 and then check for another call at floor 9.

If the dynamic strategy is used, the loads of the decks become more balanced and the space in the elevator is utilized more efficiently.

2.2 Algoritmo genetico

Un approccio moderno è quello di utilizzare metodi matematici per ottimizzare la qualità di servizio del gruppo ascensori. L'algoritmo genetico (genetic algorithm - GA) è un metodo di ottimizzazione che è stato applicato con successo ad un problema d'assegnazione di chiamate ascensore (Tyni e Ylinen, 2001; Sorsa et al. 2003). L'algoritmo genetico è uno strumento utile per risolvere problemi d'ottimizzazione combinatoria, dove esiste un numero enorme di soluzioni ammissibili e l'ambito di ricerca non può essere esplorato così efficientemente come nei problemi d'ottimizzazione continua tradizionale (Bertsimas e Tsitsiklis, 1997).

In un problema d'assegnazione della cabina ascensore, il numero di soluzioni ammissibili è L^C , dove L è il numero di ascensori e C è il numero di chiamate di piano attive. Per gli ascensori a più piani, il numero di soluzioni è $(D \cdot L)^C$, dove D è il numero di piani in un ascensore. Ad esempio, se ci sono 10 chiamate di piano attive in un gruppo di otto ascensori a due piani, il numero di soluzioni ammissibili è 16^{10} o circa 10^{12} . Se l'elaborazione di una possibile soluzione impiega un microsecondo, l'esplorazione di tutte le possibili soluzioni impiegherebbe circa un milione di secondi, o grossomodo 11 giorni. Chiaramente, questo tipo di compito computazionale non è fattibile per il comando di gruppo, che funziona in tempo reale.

Il metodo mutua la terminologia utilizzata dalla biologia evolutiva. Una proposta di soluzione è rappresentata da un cromosoma, che codifica le variabili del sottostante problema d'ottimizzazione. Nell'assegnazione delle cabine ascensore, i cromosomi rappresentano proposte d'assegnazione per le chiamate di piano attive. I valori di una particolare variabile rappresentano gli ascensori, o i piani di un ascensore a due piani, che possono servire tale specifica chiamata di piano. Generalmente, i cromosomi nell'algoritmo genetico sono rappresentati da una stringa di numeri interi.

Nella Figura 1 qui sotto, è mostrata una situazione esemplificativa per due ascensori a due piani E1 e E2. I piani degli ascensori sono contrassegnati da "D1", "D2", "D3" e "D4". I triangoli sul lato destro dei vani di corsa ascensore rappresentano le chiamate di piano attive. Sono correlati a posizioni specifiche nei cromosomi sulla destra, che rappresentano due candidati risolutivi per lo stato attuale del sistema. I cerchi nel vano di corsa rappresentano le chiamate di cabina dei piani ascensore D1 e D2.

2.2 Genetic algorithm

A modern approach is to use mathematical methods to optimize the service quality of the elevator group.

The genetic algorithm (GA) is an optimization method that has been successfully applied to an elevator call allocation problem (Tyni and Ylinen, 2001; Sorsa et al. 2003).

The genetic algorithm is a useful tool to solve difficult combinatorial optimization problems, where a huge number of feasible solutions exist and the search space cannot be explored as efficiently as in traditional continuous optimization problems (Bertsimas and Tsitsiklis, 1997).

In an elevator call allocation problem, the number of feasible solutions is L^C , where L is the number of elevators and C is the number of active landing calls.

For multi-deck elevators, the number of solutions is $(D \cdot L)^C$, where D is the number of decks in an elevator. For example, if there are 10 active landing calls in a group of eight double-deck elevators, the number of feasible solutions is 16^{10} or about 10^{12} .

If the processing of one solution candidate takes one microsecond, exploration of all possible solutions would take about one million seconds, or roughly 11 days.

Clearly this kind of computational task is unfeasible for group control, which operates in real time.

The method borrows its terminology from evolutionary biology. A solution proposal is presented by a chromosome, which encodes the variables of the underlying optimization problem.

In elevator call allocation, chromosomes consist of allocation proposals for the active landing calls.

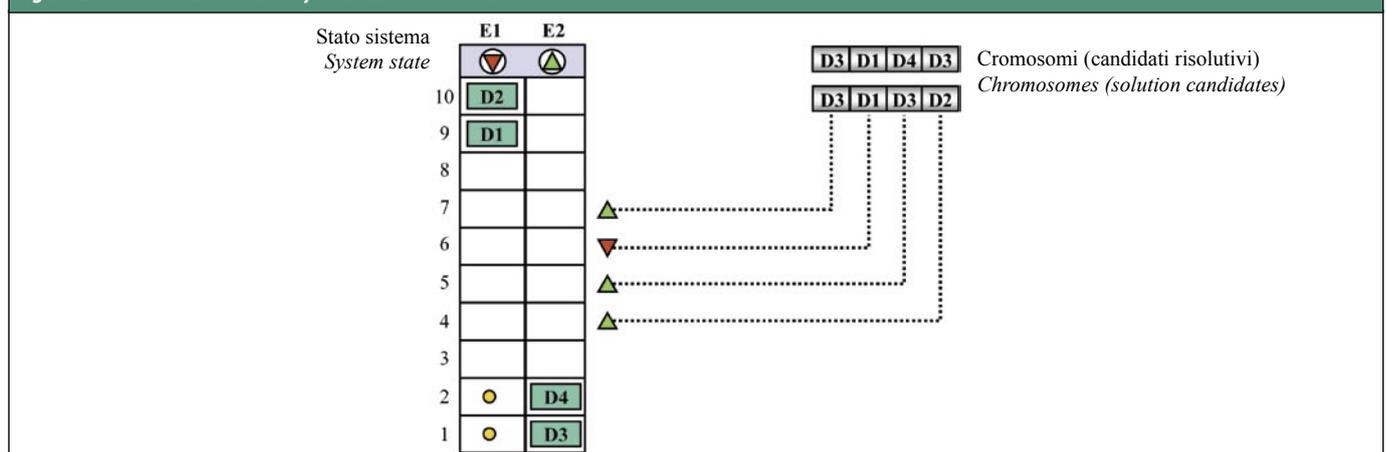
The values of a particular variable represent the elevators, or decks of a double-deck elevator, that can serve this particular landing call.

Typically, the chromosomes in the genetic algorithm are presented by a string of integers.

In Figure 1 below, an example situation is shown for two double-deck elevators E1 and E2.

The decks of the elevators are marked "D1", "D2", "D3" and "D4". The triangles on the right-hand side of the elevator shafts represent active landing calls. They are related to specific locations in the chromosomes on the right, which represent two solution candidates for the current system state. The circles in the shaft represent car calls of decks D1 and D2.

Figura 1 - Stato di un sistema ascensore e due cromosomi per GA
Figure 1 - State of an elevator system and two chromosomes for GA



L'algoritmo genetico inizia con un set (o popolazione) selezionato a caso di candidati risolutivi, cromosomi, e ne valuta l'idoneità.

Alcuni dei candidati più promettenti saranno usati come genitori, nel creare una nuova generazione di candidati risolutivi, la progenie.

Questo processo è detto ricombinazione incrociata.

Due cromosomi genitori sono presi da una ubicazione specifica dei cromosomi.

Poi i finali dei cromosomi genitori sono mischiati per creare due nuovi cromosomi figli.

Ad esempio, se i cromosomi dell'esempio precedente sono definiti con (D3 D1 | D4 D3) e (D3 D1 | D3 D2) con l'ubicazione di taglio contrassegnata da '|', la nuova progenie sarebbe (D3 D1 D3 D2) e (D3 D1 D4 D3).

L'algoritmo produce nuove generazioni fino a quando il migliore candidato non resti immutato o fino a quando non sia stato creato un numero predefinito di generazioni.

La teoria degli algoritmi genetici prevede che le proprietà favorevoli dei cromosomi sopravvivano. Nell'esempio qui sopra, l'inizio di entrambi i cromosomi è "D3 D1", il che significa che il piano inferiore dell'ascensore 2 servirà la chiamata in salita al piano 7 ed il piano inferiore dell'ascensore 1 servirà la chiamata in discesa al piano 6. Se questa si dimostrasse una buona strategia, la maggior parte o tutti i cromosomi in futuro inizierebbero con "D3 D1". L'idoneità di ciascun candidato risolutivo è valutata creando i percorsi espliciti di ciascun ascensore, presumendo che il particolare candidato risolutivo diventasse la decisione finale d'assegnazione. Il tempo stimato d'arrivo (Estimated Time of Arrival - ETA) a ciascuna fermata sul percorso è calcolato da dinamiche ascensore. Il valore d'idoneità finale è basato su questi tempi d'arrivo.

Gli obiettivi d'ottimizzazione applicabili nel problema d'assegnazione della chiamata sono il tempo di chiamata, il tempo d'attesa, il tempo di corsa e il consumo d'energia. Con tecniche d'ottimizzazione pluriobiettivo, si può risparmiare energia con traffico scarso, mantenendo un livello massimo specificato dei tempi di chiamata (Tyni, 2005). Il tempo di chiamata è definito come la somma del tempo per cui la chiamata è stata attiva ed il tempo stimato d'arrivo. Il tempo d'attesa della persona è stimato moltiplicando il tempo di chiamata precedentemente calcolato con un numero stimato di persone a monte della chiamata di piano. In un sistema di comando convenzionale, il numero esatto di persone non si conosce, ma può essere previsto dalle statistiche dei flussi di persone raccolte dal comando del gruppo (Siikonen, 1997).

I due cromosomi in Figura 1 con percorso ascensore e tempi stimati di arrivo alle fermate sono mostrati in Figura 2 qui sotto.

I triangoli nel vano ascensore indicano l'assegnazione della chiamata di piano per questo specifico ascensore. I tempi di chiamata lungo i percorsi mostrati sono elencati in Tabella 1 qui sotto, dove il rigo "Totale" indica il valore d'idoneità finale per il particolare candidato risolutivo. Per semplicità, si presume che la corsa da piano a piano impieghi due secondi e che il tempo di fermata sia di dieci secondi. Nel vero sistema di comando, i tempi di corsa da piano a piano sono calcolati esattamente da dinamiche ascensore ed il tempo d'attesa è calcolato dal numero stimato di persone che entrano o escono.

The genetic algorithm starts with a randomly selected set (or population) of solution candidates, chromosomes, and evaluates the fitness of them.

Some of the most promising candidates will be used as parents, when creating a new generation of solution candidates, the offspring.

This process is called the crossing-over.

Two parent chromosomes are cut from a specific location of the chromosome.

Then the ends of the parent chromosomes are mixed to create two new child chromosomes.

For example, if the chromosomes of the above example are denoted by (D3 D1 | D4 D3) and (D3 D1 | D3 D2) with the cut location marked as '|', the new offspring would be (D3 D1 D3 D2) and (D3 D1 D4 D3).

The algorithm produces new generations until the best candidate remains unchanged or a predefined number of generations have been created.

The theory of genetic algorithms predicts that beneficial properties of chromosomes survive. In the above example, the beginning of both chromosomes is "D3 D1", which means that the lower deck of elevator 2 will serve the up-call on floor 7 and the lower deck of elevator 1 will serve the down-call on floor 6. If this turned out to be a good strategy, most or all of the chromosomes in future generations would begin with "D3 D1".

The fitness of each solution candidate is evaluated by creating the explicit routes of each elevator, assuming the particular solution candidate would become the final allocation decision.

The estimated time of arrival (ETA) at each stop on the route is calculated from elevator dynamics.

The final fitness value is based on these arrival times.

The optimization objectives applicable in the call allocation problem are those such as call time, waiting time, journey time and energy consumption.

With multi-objective optimization techniques, energy can be saved in light traffic while maintaining a specified maximum level of call times (Tyni, 2005).

Call time is defined as a sum of the time the call has been active and the estimated time of arrival.

Passenger waiting time is estimated by multiplying the previously calculated call time with an estimated number of passengers behind the landing call.

In a conventional control system, the exact number of passengers is not known, but can be forecasted from people-flow statistics gathered by the group control (Siikonen, 1997).

The two chromosomes in Figure 1 with elevator routing and estimated times of arrivals at stops on route are shown in Figure 2 below.

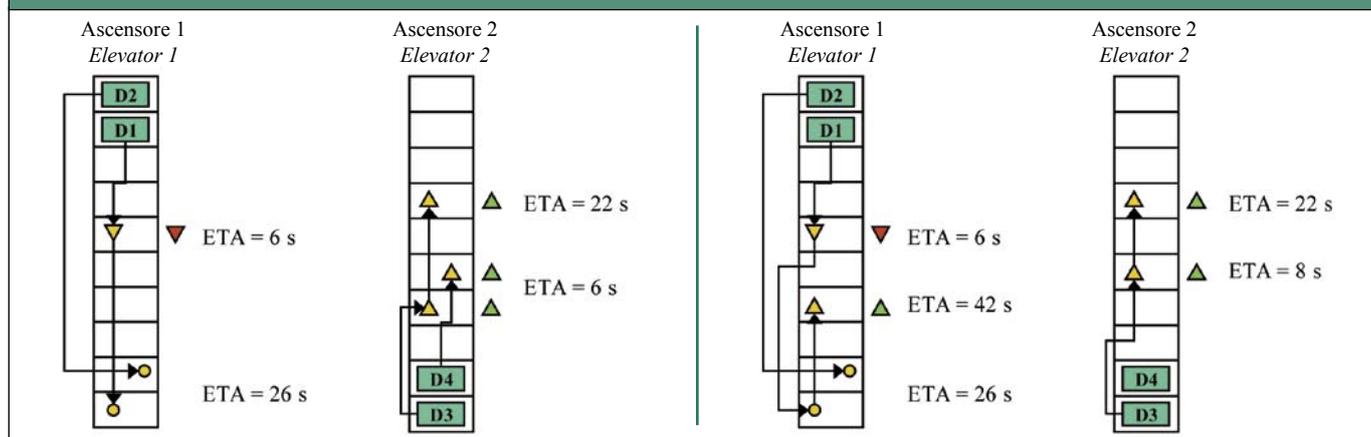
The triangles in the elevator shaft indicate the landing call allocation for this particular elevator.

The call times along the shown routes are listed in Table 1 below, where the "Total" row indicates the final fitness value for the particular solution candidate.

For simplicity, it is assumed that one floor flight takes two seconds and the stop time is ten seconds.

In the real control system, the flight times are calculated exactly from elevator dynamics and the stop time is calculated from the estimated number of passengers entering or exiting.

Figura 2 - Percorso dell'ascensore a due piani con i dati candidati risolutivi
Figure 2 - Double-deck elevator routing with the given solution candidates



È facile vedere che la soluzione a sinistra ha più peso della soluzione a destra, dove la chiamata in salita al 4° piano ha un tempo d'arrivo stimato molto lungo. Nel corso dell'esecuzione, l'algoritmo genetico produce anche candidati "cattivi" come nella soluzione a destra, ma converge sempre a soluzioni "buone", come nel lato sinistro della Figura 2. L'algoritmo genetico garantisce che alla fine sia stato esplorato un campione rappresentativo di tutto lo spazio di ricerca e che la soluzione ottimale trovata è con elevata probabilità la soluzione globalmente ottimale.

It is easy to see that the left-hand solution outweighs the right-hand solution where the up-call at the 4th floor has a very long estimated time of arrival. In the course of the execution, the genetic algorithm produces also "bad" candidates as in the right-hand solution, but always converges to "good" solutions as in the left-hand side of Figure 2. The genetic algorithm ensures that in the end a representative sample of the complete search space has been explored and the found optimal solution is with high probability the globally optimal solution.

Tabella 1 - Tempi di chiamata lungo i percorsi dei dati candidati risolutivi

Piano di chiamata	Direzione di chiamata	Candidato 1		Candidato 2	
		Piano che serve	Tempo di chiamata	Piano che serve	Tempo di chiamata
4	Salita	D3	6	D2	42
5	Salita	D4	6	D3	8
6	Discesa	D1	6	D1	6
7	Salita	D3	22	D3	22
Totale		40		78	

Table 1 - Call times along the routes of the given solution candidates

Call floor	Call direction	Candidate 1		Candidate 2	
		Serving deck	Call time	Serving deck	Call time
4	Up	D3	6	D2	42
5	Up	D4	6	D3	8
6	Down	D1	6	D1	6
7	Up	D3	22	D3	22
Total		40		78	

3. SISTEMA DI COMANDO DELLA DESTINAZIONE PER L'ASCENSORE A DUE PIANI

Invece dei pulsanti di chiamata di salita e discesa, le persone usano una tastiera numerica sul pannello di gestione della destinazione (Destination Operation Panel - DOP) per inserire il piano di destinazione. Il sistema di comando assegna immediatamente un ascensore alla persona, e lo visualizza sul DOP. Quindi, la persona cammina davanti all'ascensore assegnato e ne attende l'arrivo.

L'algoritmo genetico può essere applicato anche all'assegnazione della chiamata di destinazione per gli ascensori a due piani.

La Figura 3 mostra la differenza di comando della destinazione per la manovra collettiva completa. Il cromosoma contiene una variabile per ciascuna chiamata di destinazione, indipendentemente dal piano di partenza della persona. Le posizioni di chiamata di piano nel cromosoma sono qui sostituite dalle posizioni di chiamata di destinazione. Il sistema di comando conosce sia il piano di partenza che il piano di destinazione di ciascuna persona

3. DOUBLE-DECK DESTINATION CONTROL SYSTEM

Instead of up- and down-call buttons, passengers use a numeric keypad on the Destination Operation Panel (DOP) to enter the destination floor.

The control system immediately assigns an elevator to the passenger, and displays it on the DOP.

Then the passenger walks in front of the assigned elevator and waits for its arrival.

The genetic algorithm can be applied also to the destination call allocation for double-deck elevators.

Figure 3 shows the difference of destination control to full collective control. The chromosome contains one variable for each destination call regardless on the departure floor of the passenger. Landing call positions in the chromosome are now replaced by the destination call positions. The control system knows both the departure and destination floor of each passenger and the exact number of passengers in the system.

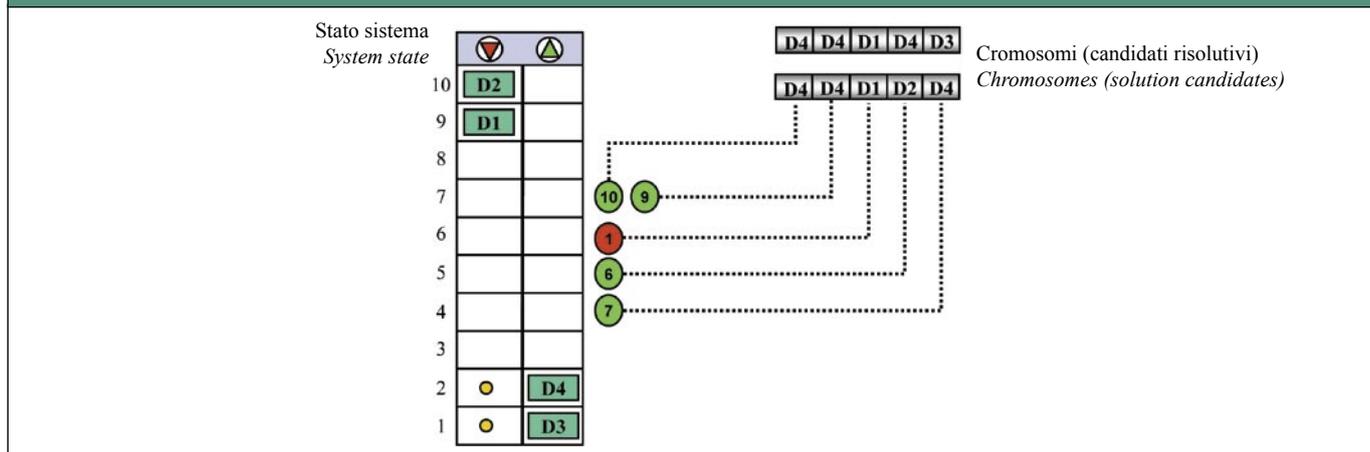
ed il numero esatto di persone nel sistema. I tempi di spostamento a piedi delle persone è calcolato dalle ubicazioni conosciute del DOP, che garantisce che la persona avrà tempo sufficiente per camminare fino all'ascensore. Il sistema di comando riserva spazio extra nella cabina ed un tempo di spostamento a piedi maggiore per i disabili. Questa funzionalità è avviata o da un pulsante di chiamata speciale nel DOP o con carte d'accesso.

The walking times of passengers is calculated from the known locations of the DOPs, which ensures that the passenger will have enough time to walk to the elevator.

The control system reserves extra space in the car and a longer walking time for disabled passengers.

This functionality is initiated either by a special call button in the DOP or by access cards.

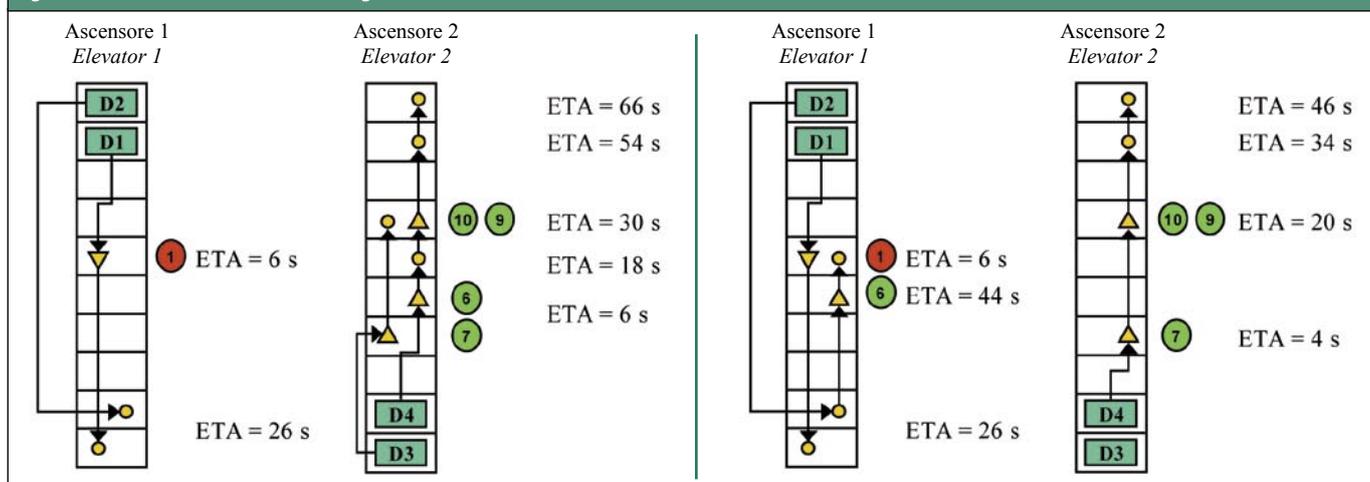
Figura 3 - Gruppo ascensore con cinque persone in arrivo che immettono chiamate di destinazione (numero all'interno del cerchio)
Figure 3 - Elevator group with five arriving passengers giving destination calls (number inside the circle)



Il percorso ascensore con chiamate di destinazione tiene conto di queste informazioni extra disponibili, come mostrato in Figura 4. Adesso è possibile stimare i singoli tempi di attesa e di corsa delle persone, utilizzando i tempi stimati di arrivo. In pratica, l'ordine e la tempistica dell'arrivo delle persone restringe la libertà del sistema di comando. Di solito, si deve assegnare solo una chiamata di destinazione poiché le altre chiamate di persone sono fisse. La Figura 4 mostra che la strategia di base di massimizzare il numero di fermate coincidenti non necessariamente porta al risultato migliore, considerando tutti gli obiettivi d'ottimizzazione.

Elevator routing with destination calls takes into account this extra information available, as shown in Figure 4. Now it is possible to estimate individual waiting and journey times of passengers by using the estimated times of arrival. In practice, the order and timing of passenger arrival restricts the freedom of the control system. Usually, only one destination call needs to be assigned as other passenger calls are fixed. Figure 4 shows that the basic strategy of maximizing the number of coincident stops does not necessarily lead to the best result considering all the optimization objectives.

Figura 4 - Percorso dell'ascensore a due piani con chiamate di destinazione
Figure 4 - Double-deck elevator routing with destination calls



Utilizzando l'intelligenza artificiale (Siikonen, 1997), il sistema di comando può cambiare l'obiettivo d'ottimizzazione secondo una condizione di traffico prevista. Il tempo d'attesa è ottimizzato durante condizioni di traffico scarso, quando l'effetto di potenziamento del comando della destinazione non è necessario. Per il

By using artificial intelligence (Siikonen, 1997), the control system can change the optimization objective according to a forecast traffic condition. Waiting time is optimized during light traffic conditions when the boosting effect of destination control is not needed. At morning up-peak and for mixed lunch-hour

traffico di picco in salita della mattina e per quello misto all'ora di pranzo, l'ottimizzazione del tempo di corsa potenzia al massimo la capacità di movimentazione del gruppo ascensore. L'ottimizzazione del tempo di corsa potrebbe portare a tempi d'attesa più lunghi ma ad un tempo minore per raggiungere la destinazione. La Tabella 2 mostra il tempo d'attesa e di corsa stimati per i candidati risolutivi della Figura 4. Il candidato 1 è chiaramente un'alternativa migliore se il criterio usato è il tempo d'attesa. D'altra parte, il candidato 2 produce un tempo di corsa medio minore.

Tabella 2 - Valori di obiettivi d'ottimizzazione per i due candidati risolutivi

Piano di partenza	Piano di destinazione	Candidato 1			Candidato 2		
		Piano che serve	Tempo di attesa	Tempo di corsa	Piano che serve	Tempo di attesa	Tempo di corsa
4	7	D3	6	42	D4	4	20
5	6	D4	6	18	D2	44	56
6	1	D1	6	26	D1	6	26
7	9	D4	30	54	D4	20	34
7	10	D4	30	66	D4	20	46
Totale			78	206		94	182

4. ORGANIZZAZIONE DELL'ATRIO

4.1 Organizzazioni pari/dispari

Indipendentemente dal fabbricante, tutti gli impianti a due piani hanno fondamentalmente lo stesso tipo d'organizzazione dell'atrio. Le persone sono guidate a prendere o l'ascensore superiore o quello inferiore se la loro destinazione è un piano pari o dispari. Nell'atrio sono utilizzati dei segnali fissi dei piani serviti per guidare le persone. Solitamente, sono necessarie delle scale mobili per portare le persone verso e dal piano dell'ascensore superiore. Può essere necessario anche un trasporto per disabili.

Nel servire il traffico in entrata, l'ascensore si ferma solo a piani alterni, diminuendo così il numero di fermate di circa la metà e aumentando la capacità di movimentazione nel picco in salita. La modalità di servizio pari/dispari è mantenuta da alcuni comandi, ma più spesso gli ascensori iniziano a servire ogni piano con entrambi i piani ascensore dopo essersi fermati alla prima chiamata di piano su un piano superiore.

4.2 Guida flessibile a entrambi i piani ascensore

Con il comando di destinazione dell'ascensore a due piani, non è più obbligatorio usare lo schema pari/dispari fisso, se i DOP sono posti al piano d'entrata vicino alle scale mobili. Quindi, il sistema di comando può guidare le persone ai piani ascensore opportuni, producendo un numero minimo di fermate. Negli atri ascensore dei piani inferiore e superiore dell'ascensore, probabilmente sono necessari DOP extra nel caso in cui una persona abbia perso l'ascensore assegnato.

4.3 Effetto delle distanze a piedi

La simulazione del picco in salita è stata condotta con intensità di traffico crescenti per studiare l'effetto dell'organizzazione dell'atrio d'accesso. Il caso base è un normale atrio con ascensore a due piani, in cui i DOP sono ubicati vicino agli ascensori. I tempi di percorrenza a piedi variano da 2 secondi a 10 secondi.

traffic, journey time optimization boosts the handling capacity of the elevator group to its maximum.

Journey time optimization may lead to longer waiting times but a shorter time to destination. Table 2 shows the waiting and journey time estimates for the solution candidates of Figure 4.

Candidate 1 is clearly the better alternative if waiting time is used as the criterion.

On the other hand, Candidate 2 produces a shorter average journey time.

Table 2 - Values of optimization objectives for the two solution candidates

Departure floor	Destination floor	Candidate 1			Candidate 2		
		Serving deck	Waiting time	Journey time	Serving deck	Waiting time	Journey time
4	7	D3	6	42	D4	4	20
5	6	D4	6	18	D2	44	56
6	1	D1	6	26	D1	6	26
7	9	D4	30	54	D4	20	34
7	10	D4	30	66	D4	20	46
Total			78	206		94	182

4. LOBBY ARRANGEMENTS

4.1 Even/odd arrangements

Independent of the manufacturer, all double-deck installations have basically the same type of lobby arrangement.

Passengers are guided to take either the upper or lower deck if they are destined either to even or odd floors.

Fixed signs of served floors are used in the lobby to guide passengers.

Escalators are usually needed to carry people to and from the floor of upper deck.

Also transportation for disabled passengers may be needed.

In serving incoming traffic, the elevator stops only at every other floor, thus decreasing the number of stops to about half and increasing handling capacity in up-peak.

The even/odd service mode is maintained by some controls, but most often the elevators start to serve every floor with both decks after they stop at the first landing call on an upper floor.

4.2 Flexible guidance to both decks

With destination double-deck control, it is not obligatory to use the fixed even/odd arrangement any more, if the DOPs are located at the entrance floor close to the escalators.

Then the control system can guide passengers to proper decks, producing a minimum number of stops.

At elevator lobbies of lower and upper decks probably extra DOPs are needed for the case where a passenger has missed the assigned elevator.

4.3 Effect of walking distances

Up-peak simulation was run with increasing traffic intensities to study the effect of the lobby arrangement. The basic case is a normal double-deck lobby, in which the Destination Operation Panels (DOPs) are located close to the elevators.

The walking times vary from 2 seconds to 10 seconds.

Un'altra situazione sorge, se i DOP sono integrati a sistemi di sicurezza in tornelli ed il sistema di comando assegna il piano di destinazione al passeggero. In questo caso, la corsa con la scala mobile causa tempi molto lunghi di spostamento a piedi per alcune persone. I tempi di spostamento a piedi variano da 2 secondi a 40 secondi. Persino in questo caso, ci sono alcune brevissime distanze da percorrere a piedi, poiché alcune persone arrivano nell'atrio senza passare attraverso i tornelli. Le distribuzioni dei tempi di percorrenza a piedi in entrambi i casi sono mostrate in Figura 5a. Le persone che devono prendere una scala mobile, dal piano terra all'atrio superiore, sono chiaramente visibili nella distribuzione intorno al segno di 35-secondi. Rispettivamente, quelli che camminano dai tornelli all'atrio del piano terra mostrano tempi a piedi di circa 20 secondi.

I tempi risultanti per raggiungere la destinazione, durante il picco in salita, sono mostrati in Figura 5b. Il tempo per raggiungere la destinazione è chiaramente più lungo per il caso in cui i DOP sono integrati nei tornelli. Questo è naturalmente prevedibile, perché il tempo a piedi è incluso nel tempo per raggiungere la destinazione. I fattori di carico della cabina, indicati vicino alle curve, mostrano che lo riempirsi degli ascensori non è tanto influenzato dalla lunga distanza a piedi. I carichi di cabina sono minori nel caso d'integrazione del DOP nei tornelli, il che indica che il comando di gruppo non può riempire le cabine in modo tanto efficiente come nel caso in cui i DOP sono vicini agli ascensori.

Another situation arises, if the DOPs are integrated to security systems in turnstiles and control system assigns the destination floor for the passenger. In this case, the journey with the escalator causes very long walking times for some passengers. The walking times vary from 2 seconds to 40 seconds.

Even in this case, there are some very short walking distances as some of the passengers arrive in the lobby without going through the turnstiles.

The walking time distributions for both cases are shown in Figure 5a. The passengers, who need to take an escalator from the ground floor to the upper lobby, are clearly visible in the distribution around the 35-second mark. Respectively, those who walk from the turnstiles to the ground floor lobby show walking times of around 20 seconds.

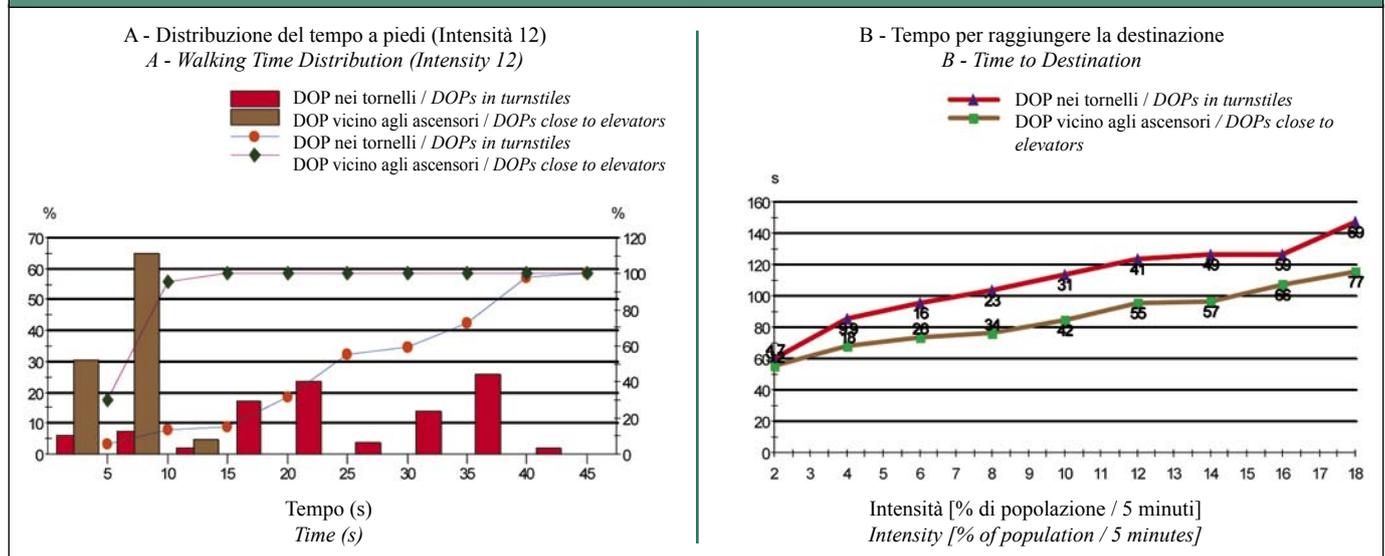
The resulting times to destination during the up-peak are shown in Figure 5b. The time to destination is clearly longer for the case where DOPs are integrated into the turnstiles.

This is of course to be expected, because walking time is included in time to destination.

The carload factors shown beside the curves show that the loading of the elevators is not greatly affected by the long walking distance. The carloads are smaller in the case of DOP integration with turnstiles, which indicates that group control cannot fill the cars as efficiently as in the case where the DOPs are close to the elevators.

Figura 5 - Distribuzione

Figure 5 - Walking time distribution for different floor layouts at 12% intensity and simulated times to destination



Secondo le simulazioni, sembra che la capacità di movimentazione del gruppo ascensore non sia interessata dall'organizzare la guida flessibile all'atrio inferiore o superiore. Tuttavia, la qualità del servizio del gruppo ascensore peggiora e sorgono delle lunghe attese nell'atrio. In questo studio, la velocità di percorrenza a piedi delle persone simulate era pari all'assunzione della velocità di percorso a piedi nel comando di gruppo.

Anche se la velocità di percorrenza a piedi assunta nel comando di gruppo è impostata ad un livello di sicurezza, lunghe distanze di percorrenza a piedi aumentano notevolmente il rischio che le persone che camminano lentamente possano perdere l'ascensore assegnato loro.

According to simulations, it seems that the handling capacity of the elevator group is not affected by arranging the flexible guidance to either lower or upper lobby.

However, the service quality of the elevator group deteriorates, and some long waits in the lobby arise.

In this study, the walking speed of the simulated passengers was equal to the walking speed assumption in the group control.

Even if the assumed walking speed in the group control is set to a safe level, long walking distances greatly increase the risk that slowly walking passengers can miss their assigned elevator.

5. CONFRONTO DELLE DISPOSIZIONI ASCENSORE ALTERNATIVE

È stato simulato il puro traffico di picco in salita in un edificio per uffici con sei vani ascensore. Nell'edificio ci sono un piano d'entrata e 18 piani occupati, ciascuno dei quali con 100 persone. Servono l'edificio sei ascensori con una velocità di 3,5 m/s. Sono stati simulati sia ascensori a piano singolo, sia ascensori a due piani, come anche un sistema di comando collettivo totale convenzionale e un sistema di comando della destinazione. Lo scopo del confronto è stato di scoprire la capacità massima di movimentazione di ciascuna di queste opzioni, in situazione di picco in salita.

Le capacità di movimentazione di picco in salita calcolate per gruppi a piano singolo convenzionali e a due piani sono 9,1% e 18,3%. Con una formula per il picco in salita per il comando della destinazione, la capacità di movimentazione è potenziata al 15,7% con ascensori a piano singolo e al 32,8% con ascensori a due piani (Sorsa et al, 2006). I parametri di prestazione di picco in salita per queste opzioni sono mostrati in Tabella 3. I valori sono calcolati con un fattore di carico cabina dell'80%, e mostrano la massima capacità di movimentazione del gruppo in ciascun caso.

Tabella 3 - Prestazione di picco in salita calcolata delle disposizioni opzionali

Ascensori	Sistema di comando	Capacità di movimentazione	Tempo di corsa andata e ritorno	Intervallo di partenza
		% di pop/5 min.	s	S
Piano singolo	FC	9,1	185,3	30,9
Piano singolo	DCS	15,7	107,2	17,9
Due piani	FC	18,3	183,4	30,6
Due piani	DCS	32,8	102,3	17,0

I tempi medi simulati per raggiungere la destinazione, per i quattro casi menzionati, sono mostrati in Figura 6 qui sotto.

Il fattore di carico cabina medio è mostrato sopra la curva. Secondo le simulazioni, le capacità di movimentazione di picco in salita sono circa le stesse di quelle calcolate in Tabella 3. Il tempo per la destinazione resta sotto i 100 secondi, con fattori di carico cabina al di sotto dell'80% in tutti gli altri casi, tranne che per gli ascensori convenzionali a piano singolo. Nel picco in salita con un sistema di comando della destinazione dell'ascensore a due piani, il tasso di fermate in cui solo un ascensore stia servendo è normalmente meno del 5% delle fermate totali.

5. COMPARISON OF ALTERNATIVE ELEVATOR ARRANGEMENTS

Pure up-peak traffic was simulated in an office building with six elevator shafts.

There is one entrance floor in the building and 18 populated floors, each of them having 100 persons. Six elevators with a speed of 3.5 m/s serve the building.

Both single- and double-deck elevators were simulated, as well as a conventional full collective control system and destination control system. The purpose of the comparison was to find out the maximum handling capacity of each of these options in up-peak situation.

The calculated up-peak handling capacities for conventional single-deck and double-deck groups are 9.1% and 18.3%.

With an up-peak formula for destination control, the handling capacity is boosted to 15.7% with single-deck elevators and to 32.8% with double-deck elevators (Sorsa et al, 2006).

The up-peak performance parameters for these options are shown in Table 3. The values are calculated with an 80% carload factor, and show the maximum handling capacity of the group in each case.

Table 3 - Calculated up-peak performance of the optional arrangements

Elevators	Control system	Handling Capacity	Round trip time	Departure interval
		% of pop/5 min.	s	S
Single-deck	FC	9,1	185,3	30,9
Single-deck	DCS	15,7	107,2	17,9
Double-deck	FC	18,3	183,4	30,6
Double-deck	DCS	32,8	102,3	17,0

The simulated average times to destination for the four mentioned cases are shown in Figure 6 below.

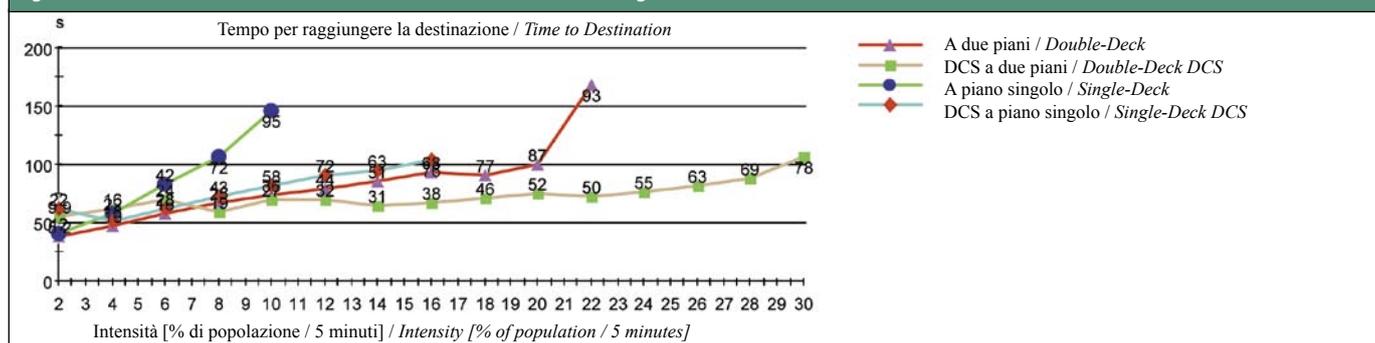
The average carload factor is shown above the curve.

According to simulations, the up-peak handling capacities are about the same as calculated in Table 3.

Time to destination stays below 100 seconds with carload factors below 80% in all other cases except conventional single-deck elevators.

In up-peak with a double-deck destination control system, typically less than 5% of all stops are those where only one deck is serving.

Figura 6 - Tempi simulati per la destinazione per diverse disposizioni ascensore
Figure 6 - Simulated times to destination for different elevator arrangements



6. CONCLUSIONI

In questo articolo è stato discusso l'effetto del comando della destinazione sui sistemi di comando degli ascensori a due piani. L'algoritmo genetico è utilizzato per assegnare le chiamate di destinazione della persona intelligentemente al miglior ascensore e al migliore piano ascensore. Gli obiettivi d'ottimizzazione variano secondo la domanda di traffico di persone. Durante un'intensità di traffico normale, i tempi d'attesa delle persone diventano brevi ma durante picco di traffico intenso, il tempo che la persona impiega per la destinazione è ottimizzato, il che aumenta la capacità di movimentazione. Il comando della destinazione porta libertà ai layout dei gruppi a due piani e alle organizzazioni dell'atrio.

Se una persona registra la chiamata già nel tornello o all'inizio di una scala mobile, le distanze a piedi per l'atrio saranno lunghe. Questo presenta una sfida per il sistema di comando, che dovrebbe considerare i tempi a piedi nell'assegnare le chiamate agli ascensori. Sono state messe a confronto le capacità di movimentazione durante il picco in salita di gruppi a piano singolo e a due piani utilizzando sei vani di corsa. La destinazione dell'ascensore a due piani aumenta la capacità di movimentazione di circa 50-60% rispetto all'ascensore a due piani convenzionale e di circa 260% rispetto ad un gruppo a piano singolo convenzionale. Il riempimento dei piani ascensore ed i carichi di cabina diventano più ottimali con l'informazione esatta del numero di persone in attesa e delle loro destinazioni.

7. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bertsimas, D. and Tsitsiklis, J.N.** (1997). *Introduction to Linear Optimization*. Athena Scientific, Belmont, Massachusetts. 587 pag.
- Fortune, J.W.** (2005). Predestination hall call selection for double deck lifts (3D encoding). *Elevator World*, Vol. 53 (8), pag. 126-133.
- Kavounas, G.T.** (1989). Elevator analysis with double deck elevators. *Elevator World*, (11). pag 65-72.
- Siikonen, M-L.** (1997). Elevator group control with artificial intelligence. Helsinki University of Technology, Systems Analysis Laboratory, Research Reports A67. 32 p. ISBN 951-22-3588-9.
- Siikonen, M-L.** (1998). Double-deck Elevators: Savings in Time and Space. *Elevator World*, Vol. 46 (7), pp. 65-69.
- Sorsa, J., Hakonen, H., Siikonen, M-L.** (2006). Elevator Selection with Destination Control System. *Elevator World*, Vol. 54 (1), pag. 148-155.
- Sorsa, J., Siikonen, M-L., Ehtamo, H.** (2003). Optimal control of double-deck elevator group using genetic algorithm. *International Transactions in Operations Research*, Vol. 10 (3), pag. 103-114.
- Tyni, T. and Ylinen, J.** (2001). Genetic Algorithms in Elevator Car Routing Problem. In: *Atti della conferenza Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2001)*, Spector, L. et al. (Eds.), San Francisco, California, United States, Morgan Kaufman Publishers, pag. 1413-1422.
- Tyni, T.** (2005), *Soft computing Control Models for Elevators*, Ph.D. Thesis, Tampere University of Technology. 145 pag. ■

Questo documento è stato presentato a **ELEVCON** Salonico 2008 (Grecia), Congresso internazionale sulle tecnologie per il trasporto verticale e pubblicato per la prima volta nel volume IAEE "Elevator Technology 17", a cura di A. Lustig (titolo originale "Double-deck destination control system"). È riprodotto per gentile concessione da parte di **IAEE**, International Association of Elevator Engineers [website www.elevcon.com].

Traduzione di Dora Rossetti

6. CONCLUSION

In this article, the effect of destination control on double-deck control systems was discussed.

The genetic algorithm is used to allocate passenger destination calls intelligently to the best elevator and deck.

The optimization objectives vary according to the passenger traffic demand. During normal traffic intensity, passenger waiting times become short but during heavy traffic peak passenger time to destination is optimized, which increases the handling capacity. Destination control brings freedom to the layouts of double-deck groups and to the lobby arrangements.

If a passenger gives the call already at a turnstile or in the beginning of an escalator, the walking distances to the lobby will be long.

This presents a challenge for the control system, which should consider the walking times in assigning the calls to elevators.

The up-peak handling capacities of single- and double-deck groups using six hoist ways were compared.

Double-deck destination increases handling capacity by about 50-60% compared to conventional double-deck and about 260% compared to a conventional single-deck group.

The filling of elevator decks and carloads become more optimal with the exact information of the number of waiting passengers and their destinations.

7. REFERENCES

- Bertsimas, D. and Tsitsiklis, J.N.** (1997). *Introduction to Linear Optimization*. Athena Scientific, Belmont, Massachusetts. 587 pp.
- Fortune, J.W.** (2005). Predestination hall call selection for double deck lifts (3D encoding). *Elevator World*, Vol. 53 (8), pp. 126-133.
- Kavounas, G.T.** (1989). Elevator analysis with double deck elevators. *Elevator World*, (11). pp 65-72.
- Siikonen, M-L.** (1997). Elevator group control with artificial intelligence. Helsinki University of Technology, Systems Analysis Laboratory, Research Reports A67. 32 p. ISBN 951-22-3588-9.
- Siikonen, M-L.** (1998). Double-deck Elevators: Savings in Time and Space. *Elevator World*, Vol. 46 (7), pp. 65-69.
- Sorsa, J., Hakonen, H., Siikonen, M-L.** (2006). Elevator Selection with Destination Control System. *Elevator World*, Vol. 54 (1), pp. 148-155.
- Sorsa, J., Siikonen, M-L., Ehtamo, H.** (2003). Optimal control of double-deck elevator group using genetic algorithm. *International Transactions in Operations Research*, Vol. 10 (3), pp. 103-114.
- Tyni, T. and Ylinen, J.** (2001). Genetic Algorithms in Elevator Car Routing Problem. In: *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2001)*, Spector, L. et al. (Eds.), San Francisco, California, United States, Morgan Kaufman Publishers, pp. 1413-1422.
- Tyni, T.** (2005), *Soft computing Control Models for Elevators*, Ph.D. Thesis, Tampere University of Technology. 145p. ■

*This paper was presented at **ELEVCON** Thessaloniki 2008, (Greece), the International congress on vertical transportation technologies and first published in IAEE book "Elevator Technology 17", edited by A. Lustig (original title "Double-deck destination control system"). It is a reprint with permission from the International Association of Elevator Engineers **IAEE** [website www.elevcon.com].*