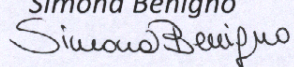
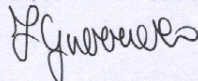


Università degli Studi della Calabria*Dipartimento di Elettronica Informatica e Sistemistica**Dottorato di Ricerca in Ricerca Operativa (MAT/09)**XX° Ciclo*

Tesi di Dottorato***Modelli e Metodi di Revenue Management per
Il Noleggio Ottimale di Mezzi di Trasporto****Simona Benigno*


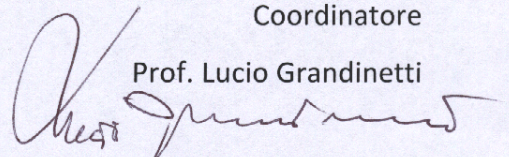
Supervisore

Prof.ssa Francesca Guerriero



Coordinatore

Prof. Lucio Grandinetti



A.A. 2006-07

A mia Mamma e a Mio Papà
Al mio Nonnino
Ai miei Parenti
Alle persone che mi vogliono Bene

Indice

Introduzione	8
1 Concetti Fondamentali	12
1.1 Definizioni di Revenue Management	12
1.2 Le fondamenta	14
1.3 Revenue Management e Decisioni	20
1.4 Un Sistema di Revenue Management	22
1.5 I principali problemi di Revenue Management	26
1.5.1 Controllo e Allocazione della Capacità	26
1.5.2 Overbooking	27
1.5.3 Segmentazione del Mercato	28
1.5.4 Upgrading	29
1.5.5 Nesting	29
1.5.6 Previsione	31
1.5.7 Pricing	34
1.5.8 Le Aste	34
1.5.9 Ottimizzazione e Ripianificazione	35
1.6 Limiti e Criticità	36
1.7 Impatto Quantitativo del Revenue Management	40
2 I campi di Applicazione del Revenue Management	43
2.1 Industria Aerea	53
2.2 Industria di Noleggio di Mezzi di Trasporto	59
2.3 La Ricerca nel Revenue Management	62
2.4 La Ricerca e L'industria del Noleggio	64

3	Modelli e Metodi di Revenue Management per il Controllo della Capacità	73
3.1	Modelli e Metodi per il Controllo di Capacità a Singola Risorsa . . .	75
3.2	Modelli Statici	79
3.3	Modelli Dinamici	80
3.3.1	Politica Ottima con Domanda e Capacità Discreta	81
3.3.2	Metodi di Soluzione Euristici	84
3.4	Modelli per il Controllo di Capacità per una Rete	85
3.4.1	Controllo Ottimo della Capacità	89
3.4.2	Controlli basati sui costi marginali	90
3.5	Modelli di Riferimento	91
3.5.1	Modello di Programmazione Lineare Deterministico	92
3.5.2	Modello di Programmazione Non Lineare Probabilistico	93
3.5.3	Modello di Programmazione Lineare di Tipo Casuale	95
3.6	Modelli di Revenue Management per le Strutture Alberghiere	96
3.7	Modelli per l'industria del Car Rental	101
3.7.1	L'algoritmo di pianificazione degli <i>upgrades</i>	102
4	Il Revenue Management per il Problema del Noleggio dei Mezzi di Trasporto	104
4.1	Formulazione del Problema	105
4.2	Approssimazioni del Modello	107
4.3	Approcci di Soluzione	118
4.4	Risultati Computazionali	121
	Conclusioni	130

Elenco delle figure

1.1	Dimensioni della Domanda	16
1.2	I prerequisiti per il Revenue Management	18
1.3	Componenti di Un Sistema di Revenue Management	23
1.4	Modello di Yeomen e Watson	25
1.5	Le problematiche del revenue management	26
1.6	Andamento delle Prenotazioni in relazione all'Overbooking	28
1.7	Esempio di Nesting	30
1.8	Integrazione delle Principali Politiche di Revenue Management	35
2.1	Posizioni delle Industrie rispetto a durata e prezzo	48
2.2	Esempio di classificazione delle attività di Revenue Management	53
2.3	Numero di Passeggeri al variare del Prezzo del Biglietto Aereo	56
2.4	Rendimento risultante in presenza di singolo prezzo	57
2.5	Rendimento risultante per Aziende con 4 Prezzi Differenti	58
2.6	Andamento del rendimento in base al tipo di classe di servizio	67
3.1	Limiti di Prenotazioni e Limiti di Protezione	77
3.2	Politica di Controllo utilizzando i costi marginali	78
3.3	Esempio di Politica Ottima	83
3.4	Esempio di una Rete di Pernottamenti	86
3.5	Esempio di una rete <i>Hub and Spoke</i>	87
3.6	Esempio di Grafo $G=(V,A)$	98
3.7	Esempio di Flusso	100
4.1	Rappresentazione Grafica della Matrice dei Vincoli A_{RILP}	110
4.2	Operazioni eseguite sui blocchi $M^k, k = 1, \dots, r - 1.$	113
4.3	Rappresentazione Grafica della Matrice dei vincoli $A_{\bar{R}ILP}$	118

4.4	Tempi di Esecuzione Medi delle politiche proposte (in seconds).	. 128
4.5	Tempi di Esecuzione Medi delle politiche proposte (in seconds).	. 129

Elenco delle tabelle

2.1	Criteri di Revenue Management	44
2.2	Settori Industriali in cui si applica il Revenue Management	45
2.3	Confronto tra i Settori che utilizzano il Revenue Management	65
2.4	Un esempio di processo di Pianificazione degli Upgrades	70
3.1	Approcci per problemi di revenue management	74
4.1	Elenco di Tipi di Furgoni	105
4.2	Rappresentazione grafica di un blocco nero della matrice dei vincoli A_{RILP}	110
4.3	Rappresentazione Grafica della Matrice dei vincoli A_{RILP} , per il caso di $T = 4$ and $r = 2$	111
4.4	Rappresentazione grafica della matrice dei vincoli A_{RILP} , per il caso di $T = 4$ and $r = 2$, dopo aver eseguito le operazioni elementari per trasformarla in una matrice intervallo	114
4.5	La matrice A_{RILP} ($T = 4, r = 2$)trasformata in una matrice intervallo	114
4.6	Caratteristiche dei problemi test	122
4.7	Confronto tra i problemi R^{LP} and \bar{R}^{LP} in relazione alla qualità della soluzione	124
4.8	Rendimento medio ottenuto applicando il modello R^{LP} model	125
4.9	Valore del Rendimento Medio ottenuto risolvendo il modello \bar{R}^{LP} model	125
4.10	Confronto tra il rendimento deterministico e il rendimento dinamico per il modello R^{LP}	126

4.11	Confronto tra il rendimento deterministico e il rendimento dinamico per il modello \bar{R}^{LP}	126
4.12	Tempo di esecuzione delle politiche proposte per il modello R^{LP} .	127
4.13	Tempo di esecuzione delle politiche proposte per il modello \bar{R}^{LP} model	127

Introduzione

Le aziende di servizi si trovano spesso ad agire in mercati altamente competitivi, con una struttura produttiva rigida e alti costi fissi e con una domanda non prevedibile e che dipende da diversi fattori esterni non controllabili.

Di fronte a tale incertezze, il management prima, ed il mondo scientifico poi, sono stati spinti a dotarsi di strumenti capaci di supportare adeguatamente lo svolgimento del processo di gestione ed il raggiungimento degli obiettivi sia di breve che di medio-lungo periodo. L'approccio sistemico a tali problematiche ha determinato il sorgere del revenue management.

Con il termine revenue management si intende l'insieme di strumenti tattico-operativi, capaci di prevedere il comportamento dei clienti a livello microeconomico, con l'obiettivo di ottimizzare congiuntamente l'offerta dei prodotti o servizi, la loro disponibilità e i rispettivi prezzi, per massimizzare la redditività. In altri termini, la gestione del rendimento è l'insieme di strategie di prezzo e di sistemi informatici per allocare la giusta capacità, al giusto cliente, nel posto giusto, al momento giusto, con l'obiettivo di ottenere la rendita economica più elevata possibile e facendo corrispondere in maniera ottimale domanda e offerta.

In pratica, le tecniche del revenue management sono sviluppate con l'obiettivo primario di estrapolare, da una serie di dati relativi al mercato, alle vendite, alla disponibilità di pagamento dei clienti, le informazioni necessarie per definire l'approccio più adatto per incrementare i ricavi e, quindi, la redditività aziendale. Esse permettono di reagire in maniera celere e adeguata ai cambiamenti del mercato.

La ricerca scientifica nell'ambito del revenue management è stata indirizzata principalmente verso lo sviluppo di modelli e metodi per affrontare i problemi che sorgono nel settore del trasporto aereo. Soltanto negli ultimi anni, le tecniche di revenue management sono state applicate ad altri contesti di interesse pratico, quali

quello alberghiero, quello del noleggio di auto e a quello della ristorazione.

Il settore del noleggio di mezzi di trasporto presenta delle caratteristiche che lo rendono adatto ad essere gestito utilizzando un processo di revenue management (capacità relativamente fissa, servizio deperibile, servizi vendibili in anticipo, domanda variabile e casuale, mercato segmentabile). Tuttavia, pochi sono i contributi nella letteratura scientifica di applicazioni delle tecniche del revenue management a tale settore. Inoltre, poche sono le agenzie di noleggio a livello internazionale, e nessuna a livello nazionale o locale, che adottano tale tecnica di gestione.

Sulla base di tali considerazioni e dell'interesse di analizzare in maniera più approfondita un ambito attinente al revenue management non ancora del tutto esplorato, ma sicuramente di altissimo potenziale, tale lavoro di tesi rappresenta il primo tentativo di applicazione delle tecniche di revenue management al caso del noleggio ottimale di mezzi di trasporto.

L'obiettivo principale è quello di definire approcci innovativi per affrontare il problema di un operatore logistico che vuole noleggiare i propri mezzi di trasporto, in modo tale da massimizzare i ricavi. Per tale operatore, un prodotto di un certo tipo, è un mezzo caratterizzato da un certo livello di capacità, che può essere noleggiato per un certo periodo di tempo. L'operatore può adottare la politica degli *upgrades*, ovvero soddisfare la richiesta di un certo mezzo con un mezzo di capacità superiore.

Il problema preso in esame viene rappresentato mediante un modello di programmazione dinamica e vengono sviluppate diverse tipologie di politiche di controllo per la sua soluzione.

Il presente lavoro è strutturato in quattro capitoli.

Nel capitolo (1) vengono introdotti le definizioni e i concetti fondamentali del revenue management. Il capitolo (2) è dedicato alla descrizione dei settori in cui le tecniche di gestione del rendimento sono state applicate con successo.

Nel capitolo (3) vengono esaminate le politiche e i modelli di revenue management, che hanno costituito la base di riferimento per lo sviluppo dei modelli e metodi proposti, per affrontare il problema del noleggio ottimale di mezzi di trasporto.

Nel capitolo (4) viene fornita una descrizione del problema oggetto di studio e viene presentata una formulazione matematica del problema, mediante un modello di programmazione dinamica. Vengono, quindi, descritte alcune approssimazioni di tale modello, di cui vengono analizzate le

proprietà teoriche fondamentali e le politiche di controllo utilizzate per risolvere il problema.

Il capitolo (4) si conclude con la presentazione dei risultati computazionali, collezionati su ampio insieme di problemi test, al fine di valutare l'efficacia dei metodi proposti e la bontà delle soluzioni ottenute.

Ringrazio la Prof.ssa Francesca Guerriero, che con pazienza e grande professionalità, mi ha permesso di portare avanti il lavoro svolto durante il mio Dottorato di Ricerca. Grazie Francesca, per tutte le conoscenze che mi hai trasmesso. Il tuo esempio mi accompagnerà sempre nella mia carriera futura. Ringrazio l'Ing. Giovanna Miglionico per la collaborazione offerta durante il mio lavoro di tesi. Ringrazio, ancora, il Prof. Musmanno, il Prof. Conforti e la Prof.ssa Beraldi e le mie colleghe e colleghi.

Capitolo 1

Concetti Fondamentali

1.1 Definizioni di Revenue Management

Le definizioni di revenue o yield management presenti in letteratura sono tante e molto simili tra loro, quella che più comunemente viene utilizzata per far comprendere le principali peculiarità del processo di gestione del rendimento è stata introdotta da Sheryl E. Kimes. Egli afferma che il revenue management è il processo di vendita del prodotto giusto, nel giusto posto, nel giusto momento, al giusto cliente, al giusto prezzo al fine di massimizzare il ricavo (*...the process of allocating the right type of inventory to the right kind of customer at the right price so as to maximize revenue or yield*)[19]. Ralph D. Badinelli e Michael D. Olson affermarono, invece, che il termine yield management, viene usato per indicare gli approcci utilizzati per massimizzare la redditività di un albergo, attraverso la discriminazione del prezzo e le politiche di prenotazione (*the term yield management is used to label many approaches to maximising profitability of a hotel through manipulation of its pricing and booking policies*)[44].

Robert Cross [8] osservò il *revenue management* da diverse angolature, introducendo le seguenti definizioni:

- un sistema per allocare le risorse in maniera efficiente, massimizzando la redditività, attraverso previsioni dinamiche delle attività individuali di ciascun consumatore (*a means of allocate efficiency that maximizes economic wealth through dynamically forecasting the self-seeking activities of each individual consumer*);

- fissare i livelli e la disponibilità dei prodotti ed il livello di prezzo per massimizzare il ricavo (*ket level and optimize product availability and price to maximize revenue growth*);
- un sistema integrato di processi che considera, al contempo, le persone ed i sistemi reali con l'obiettivo di comprendere l'andamento del mercato, anticipando il comportamento d'acquisto dei consumatori e rispondendo in maniera tempestiva, al fine di sfruttare tutte le opportunità offerte (*an integrated set of business processes that bring together people and systems with the goal of understanding the market, anticipating customer behavior and responding quickly to exploit opportunities that present themselves*).

A tal proposito, Chiang W.C et all [50] parlano indistintamente di revenue management o yield management, attribuendo a tale termine il seguente significato: *la progettazione e la gestione di insiemi di servizi con l'obiettivo di massimizzare il rendimento*.

In quanto segue, i termini revenue management e yield management verranno utilizzati indistintamente. Per quanto concerne la traduzione italiana del termine *yielding* si propendere per: resa, prodotto, raccolto.

In alternativa si potrebbe utilizzare una traduzione più accurata utilizzando il termine di rendita o dividendo. Fino agli anni settanta il termine yield aveva una connotazione prettamente economico finanziaria inerente al mercato ed alle azioni: *yield* era ed è il dividendo sulle azioni di borsa e la curva di yielding è il margine di guadagno sulla singola azione in un determinato periodo di tempo. Da quando il processo di Revenue Management è diventato fondamentale nelle aziende di servizi, tante e diverse definizioni sono state date ma tutte si riconducono alla definizione di Sheryl E. Kimes. La definizione classica dello *yield* (rendimento o rendita) è il rapporto tra il ricavo effettivamente realizzato dall'azienda e il ricavo ottenibile utilizzando tutta la capacità disponibile:

$$Yield = \frac{R_p}{R_r}. \quad (1.1)$$

1.2 Le fondamenta

Le aziende di servizi si trovano spesso ad agire in mercati altamente competitivi, con una struttura produttiva rigida e alti costi fissi e con una domanda non prevedibile e che dipende da diversi fattori esterni non controllabili.

Di fronte a tali incertezze, il management prima, ed il mondo scientifico poi, sono stati spinti a dotarsi di strumenti capaci di supportare adeguatamente lo svolgimento del processo di gestione ed il raggiungimento degli obiettivi sia di breve che di medio-lungo periodo. L'approccio sistematico a tali problematiche ha determinato il sorgere del revenue management, che fa riferimento all'insieme delle metodologie che rendono possibile la massimizzazione della redditività dell'azienda [4], attraverso l'utilizzo di modelli matematico statistici, che ponderano e bilanciano convenientemente le peculiarità insite nella struttura produttiva con le esigenze espresse dai consumatori.

Questa tecnica gestionale presuppone, pertanto, l'esistenza di una domanda governata da leggi probabilistiche gestibile attraverso una manovra sui prezzi associata ad adeguate tecniche di marketing [44]. A questa si associa la tipica struttura produttiva caratterizzante le *moderne* aziende di servizi, dove i costi fissi, i costi non controllabili, i costi vincolati, quelli che sinteticamente si definiscono i costi della complessità, rappresentano, in termini relativi, la netta prevalenza. Utilizzato dapprima dalle compagnie aeree e progressivamente esteso ad altre aziende nel settore turistico, ma applicabile ad ulteriori tipologie di aziende appartenenti al settore dei servizi, il revenue management costituisce, nello scenario poc'anzi delineato, uno strumento fondamentale per l'implementazione e la realizzazione di un processo gestionale di tipo feed-forward¹. Il beneficio diretto, è costituito dall'ottimizzazione dei ricavi, resa possibile da una strutturata e sistematica attività di ricerca e *cattura/soddisfazione* [21] dell'intera domanda potenziale. Il tutto giustamente bilanciato con le potenzialità insite nell'attuale capacità produttiva, contenendo il rischio derivante da mancati ricavi ed individuando nuovi segmenti di domanda da servire.

Tale beneficio delle politiche di gestione del rendimento, si esplica in maniera diretta sul conto economico, generando un aumento dei componenti positivi cui

¹Feed-Forward è la fase di controllo del processo gestionale a impulsi, basato su tecniche previsionali. I dati raccolti sono utilizzati come input

si associa un aumento certamente molto meno che proporzionale dei componenti negativi [2]. I benefici indiretti sono molteplici: rafforzamento della correlazione tra strategia e processi operativi con conseguente aumento dell'efficacia delle operazioni di pianificazione e controllo, razionalizzazione gestionale delle risorse, incremento dell'attenzione al cliente e della sua fidelizzazione, incremento del patrimonio informativo aziendale e della consapevolezza della sua rilevanza nonché delle tecnologie ad esso associate.

Il revenue management è utile per le industrie di servizio, in cui il mercato è segmentato secondo classi di prezzo e in cui fondamentale è l'analisi previsionale della domanda, in quanto ha portato alle aziende del settore l'espansione del proprio mercato di vendita e l'aumento del proprio rendimento. Fino a poco tempo fa, le strategie per massimizzare la redditività erano applicate esclusivamente al settore aereo, questo per molto tempo ha limitato l'uso in altre realtà industriali, come nel settore manifatturiero. Per poter utilizzare questo strumento in realtà differenti, è necessario comprendere quali siano i prerequisiti per la sua applicazione.

In linea di principio, le tecniche per migliorare la redditività aziendale possono essere applicate in qualunque settore o impresa, in cui la gestione tattica della domanda è importante. Diversi sono i fattori che determinano la domanda per un'impresa. Fra questi, quelli che risultano fondamentali per un processo di revenue management sono: la tipologia del cliente o segmento di mercato che l'impresa soddisfa; i diversi prodotti o servizi che l'impresa vende; i canali di distribuzione che utilizza e la variabile tempo.

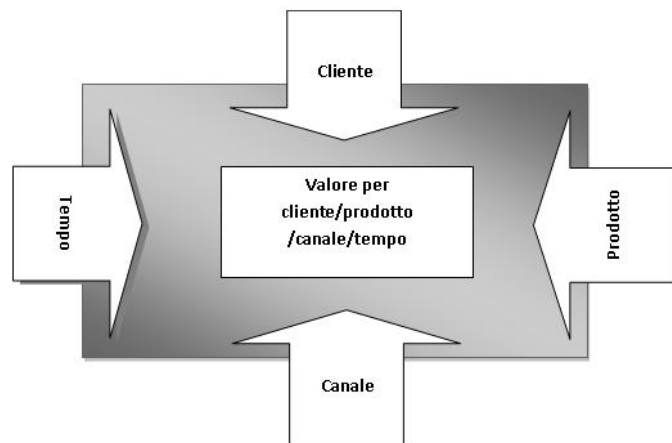


Figura 1.1: Dimensioni della Domanda

Nella figura 1.1, dove sono rappresentati i quattro elementi che influenzano la domanda, il rettangolo al centro rappresenta il valore che un singolo cliente attribuisce ad un determinato prodotto o servizio, disponibile in un dato canale in un certo momento. Tutte e quattro le dimensioni indicate sono correlate tra loro, di conseguenza devono essere prese in considerazioni congiuntamente per stabilire la tattica di revenue management. E' importante evidenziare il comportamento dei clienti spesso influenza il legame tra i fattori descritti, si pensi, ad esempio, al caso in cui il cliente scelga prodotti succedanei o decide di anticipare o posticipare gli acquisti.

In questo contesto le decisioni di prezzo e quantità che un'impresa prende possono influenzare la domanda per prodotti correlati o la domanda per uno stesso prodotto nel tempo. Inoltre quando diversi prodotti vengono realizzati sfruttando la stessa capacità produttiva (limitata) le interrelazioni fra i quattro fattori evidenziati influenzano la domanda. Ciò avviene, per esempio, quando accettare un ordine per un prodotto in un dato momento implica rinunciare all'opportunità di vendere un secondo prodotto. Tali dipendenze tra i fattori rendono le decisioni relative alla gestione della domanda più complesse e la valutazione del *trade-off* che ne deriva è uno degli aspetti centrali del revenue management.

In relazione alla complessità del processo di gestione della domanda, è fondamentale comprendere il contesto in cui è possibile applicare il revenue management.

L'uso intelligente dei principi di revenue management può essere di ausilio per incrementare il ricavo e la redditività in quelle aziende di servizio e manifatturiere che possiedono i seguenti prerequisiti in figura 1.2:

- **Eterogeneità della domanda e possibilità di segmentazione della clientela:** L'eterogeneità della domanda dipende dal fatto che i clienti hanno diverse e varie preferenze d'acquisto e diversa propensione alla spesa. Più ampia è l'eterogeneità nei bisogni dei clienti, maggiore è la possibilità di sfruttare le potenzialità offerte dal Revenue Management, per massimizzare i ricavi all'interno di differenti segmenti di mercato. In ogni caso, l'azienda deve avere il potere di mercato per imporre la differenziazione di prezzo ed evitare l'arbitraggio. Ad esempio, nell'industria aerea è possibile individuare due grossi segmenti di mercato i vacanzieri e coloro che viagg-

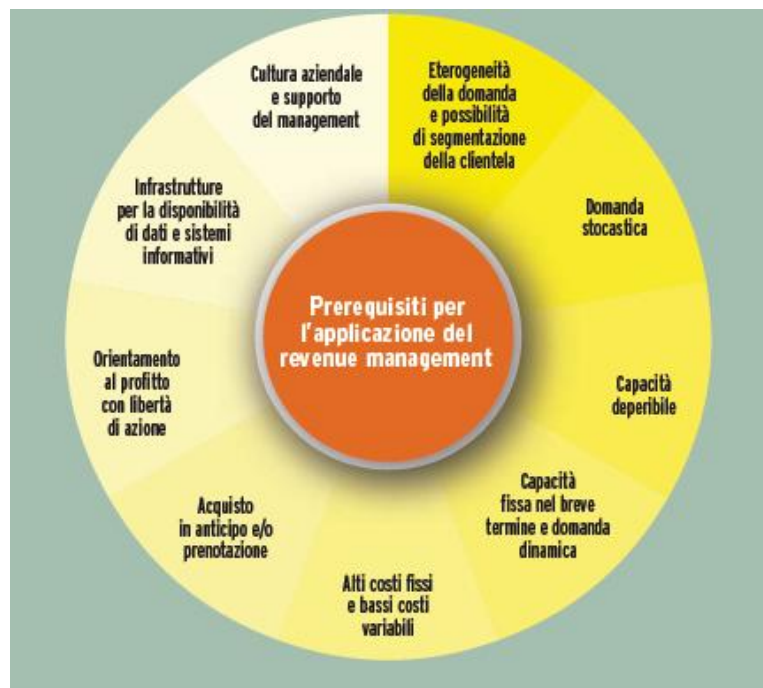


Figura 1.2: I prerequisiti per il Revenue Management

giano per lavoro (*business*), il primo segmento risulta sensibile al prezzo, il secondo no, ed è il segmento di mercato che utilizza spesso il trasporto aereo per i propri spostamenti.

- **Domanda Stocastica:** Se la domanda è stocastica e varia in base ai segmenti di clientela, gli approcci classici relativi alla pianificazione della produzione non possono essere applicati direttamente. La sfida consiste nell'assegnazione dinamica della capacità ai segmenti di clientela, con diversa elasticità di prezzo e diverso intervallo di tempo tra il momento di arrivo dell'ordine e quello di consegna. Tipicamente, una domanda conosciuta con largo anticipo è caratterizzata da una elevata elasticità di prezzo e un rischio limitato, mentre una domanda che nasce con un breve preavviso ha una elasticità limitata e un alto rischio.
- **Capacità Deperibile:** Caso in cui risulta necessario l'uso di risorse esterne per produrre un servizio, in assenza dei quali nessun servizio può essere

prodotto e nessuna risorsa interna può essere usata per sostituirli. La capacità non può essere, quindi, conservata sotto forma di servizi che possono essere usati in futuro. Nel caso di produzione di beni su ordinazione la deperibilità della capacità produttiva diventa rilevante, quando sono chiaramente definite le specifiche del cliente su qualità, volumi e tempo di produzione.

- **Capacità Fissa nel Breve Periodo e Domanda Dinamica:** Quando, nel breve periodo, la capacità è fissa e la domanda varia, l'azienda si trova ad affrontare una serie di problemi, tra i quali la gestione di eccessi di domanda non soddisfatta e capacità produttiva sotto utilizzata. Nel primo caso, l'azienda rinuncia a profitti addizionali, mentre nel secondo insorgono alti costi a causa delle ripartizioni di costi fissi su un limitato numero di unità prodotte. Questi fenomeni descrivono un'azienda che non è capace, o non ha la possibilità, di sincronizzare la capacità produttiva e la domanda per un efficiente uso della capacità stessa. Quindi la gestione della domanda può essere raggiunta soltanto adottando una strategia di differenziazione di prezzo.
- **Alti Costi Fissi e Bassi Costi Variabili:** La parte del settore dei servizi in cui è applicato il revenue management è tipicamente caratterizzato da alti costi fissi e bassi costi variabili. Ad esempio, i costi di servizio per ciascuna persona in un certo volo aereo, come ad esempio il pasto, risultano molto bassi.
- **Acquisto in Anticipo e/o Prenotazione:** I servizi possono essere prenotati prima di essere prodotti. Le possibilità/opportunità di vendita anticipata rappresentano un fattore di sicurezza per le imprese che riescono ad attuarle. Date le caratteristiche del sistema produttivo o di offerta di un servizio, il vendere anche solo una parte della capacità disponibile, in anticipo, consente una gestione più efficiente, fornendo al contempo elementi di certezza in un sistema in cui domina l'aleatorietà.
- **Aziende orientate al profitto con libertà di azione:** Dal momento che l'utilizzo delle tecniche di revenue management porta ad accettare o rifiutare l'evasione di un ordine, definito in termini di quantità, qualità, prezzo e tempo di consegna, l'azienda fornitrice deve avere la libertà legale, economica

e morale di decidere se accogliere o meno la richiesta del cliente. Questa situazione si concretizza nell'industria delle trasformazioni. Tuttavia, in specifici settori, come, ad esempio, della sanità, la libertà di azione non è nè legalmente nè moralmente possibile (si pensi ad esempio all'allocazione di organi per trapianti).

- **Infrastrutture per la disponibilità di dati e di sistemi informativi:** Al fine di modellare la domanda e completare una pianificazione di revenue management sono necessari dati attendibili e sistemi di supporto affidabili.
- **Cultura Aziendale e Supporto del Management:** Un'azienda con una cultura aziendale aperta all'innovazione e alle nuove tecnologie, dove il revenue management viene accettato e implementato dal personale, è un prerequisito spesso trascurato, ma estremamente importante sia nel settore dei servizi sia in quello delle trasformazioni. Lo stesso discorso vale per il supporto al management.

Come detto in precedenza, il settore in cui il revenue management è stato applicato con successo quello del trasporto aereo, da cui sono state rilevate le caratteristiche essenziali che un'azienda deve possedere per poter utilizzare con successo tale strategia manageriale [1].

E' comunque importante evidenziare che le metodologie del revenue management sono utilizzate anche in altri settori, quali le strutture alberghiere, le agenzie di noleggio auto, navi da crociera, le ferrovie. Altre aziende che presentano tutte le caratteristiche essenziali sono ad esempio corsi di golf, il trasporto di merci, la sanità, i programmi di utilità, la radiodiffusione della televisione, le stazioni termali, la pubblicità, le telecomunicazioni, biglietterie, i ristoranti e le *web conferencing*.

1.3 Revenue Management e Decisioni

Ogni strategia di revenue management richiede una serie di decisioni che sono particolarmente importanti, in quanto incidono in maniera determinante sul tipo di approccio di revenue management che la singola azienda deve implementare. In particolare, è possibile individuare tre principali tipi di decisioni che riguardano il revenue management [29]:

1. **Decisioni di Prezzo:** Esse riguardano decisioni in merito alla strategia di prezzo, includendo decisioni relative a singoli prezzi, piuttosto che alla struttura di prezzo di intere linee di prodotto o servizio, la gestione dei prezzi in un arco temporale piuttosto che nel ciclo di vita di un prodotto, l'allineamento di prezzi a livello internazionale, gli sconti, etc.
2. **Decisioni di Quantità:** Esse riguardano le decisioni relative all'allocazione dell'inventario o dei prodotti ai diversi segmenti di mercato o canali; alla scelta di accettare o rifiutare un ordine; di non vendere un certo prodotto in un certo mercato in un dato momento; di vendere un certo prodotto in momenti successivi o in un altro mercato.
3. **Decisioni di Tipo Strutturale:** Si riferiscono all'approccio di segmentazione o differenziazione, che tipo di vendita utilizzare (per esempio prezzo di listino piuttosto che negoziazioni o bandi di concorso piuttosto che aste, ecc.), come articolare l'offerta di singoli prodotti o servizi, quali insiemi di prodotti comporre, definire le condizioni di vendita (per esempio cancellazioni o rimborso) ecc.

Tutte e tre le decisioni risultano importanti, quale sia la principale dipende dallo specifico contesto aziendale e di settore nel quale l'azienda opera. Le strategie relative al prezzo o alle quantità variano da impresa a impresa incidendo in maniera decisiva sulla strategia di revenue management scelta dalla direzione, in quanto possono limitare la flessibilità nella reazione al mercato a livello tattico.

Se, per esempio, un'impresa di autonoleggi promuove una tariffa speciale estiva per uno specifico gruppo di vetture, essa non avrà più la flessibilità di cambiare il prezzo in quel dato periodo.

Lo stesso discorso vale per le decisioni sulle quantità, ad esempio quando un hotel decide di assegnare un certo numero di stanze ad un'agenzia turistica per un determinato periodo e tali stanze non possono essere, in quello stesso periodo, più utilizzate dall'hotel.

L'utilizzo del controllo di capacità è tipico nel settore del trasporto aereo e ferroviario, in quanto i diversi prodotti non sono altro che biglietti diversi venduti a diverse condizioni, questi biglietti fanno parte però della stessa capacità disponibile.

La decisione di utilizzare approcci di revenue management basati sui prezzi piuttosto che sulla quantità può variare all'interno di uno stesso settore. Settore di riferimento può essere quello aereo se si pensa alle nuove compagnie "low cost" che tendono a utilizzare il prezzo come variabile tattica.

In questi ultimi anni, sono stati individuati approcci innovativi, che permettono alle imprese di non rimanere legate in maniera troppo rigida alle decisioni prese relative al prezzo o di quantità. Un esempio è il *demand-driven dispatch* applicato nelle compagnie aeree, ossia l'assegnazione dinamica di aereomobili di diverse dimensioni, ad ogni singola tratta, in base alla domanda per un ben determinato volo; gli aereomobili vengono messi in un pool virtuale di aerei senza essere assegnati ex ante a determinate tratte [34]. Altre compagnie aeree, come la Lufthansa e Air-Dolomiti, hanno sperimentato l'utilizzo di partizioni mobili per riallocare i posti di classe economica a quella business e viceversa, anche poche ore prima della partenza, per rispondere ai cambiamenti della domanda. Simili approcci vengono utilizzati dalle aziende di noleggio auto, che spostano le proprie vetture in diverse città, per esempio in concomitanza di fiere e grandi eventi per variare la capacità disponibile.

Le decisioni di tipo strutturale sono più strategiche che tattiche e si riferiscono per esempio all'approccio di segmentazione o differenziazione o al formato di vendita da utilizzare.

1.4 Un Sistema di Revenue Management

Ogni sistema di revenue management, indipendentemente dalla specifica implementazione, può essere visto come caratterizzato da quattro componenti principali: analisi dei dati, previsione della domanda, ottimizzazione e controllo [14].

Le informazioni relative ai prezzi e alla domanda sono raccolte, immagazzinate ed elaborate durante l'analisi dei dati. La previsione della domanda usa questi dati per predire la domanda futura dei segmenti di clientela e altri fenomeni come *no shows*² o cancellazioni.

All'interno del processo di ottimizzazione, la capacità disponibile è attribuita

²Con il termine no-show si vuole indicare un cliente titolare di una prenotazione che però non si presenta al check in. Inutile sottolineare come fenomeni di questo tipo compromettano sensibilmente la gestione dello sfruttamento della capacità disponibile e la conseguente possibilità di generare componenti positivi di reddito.

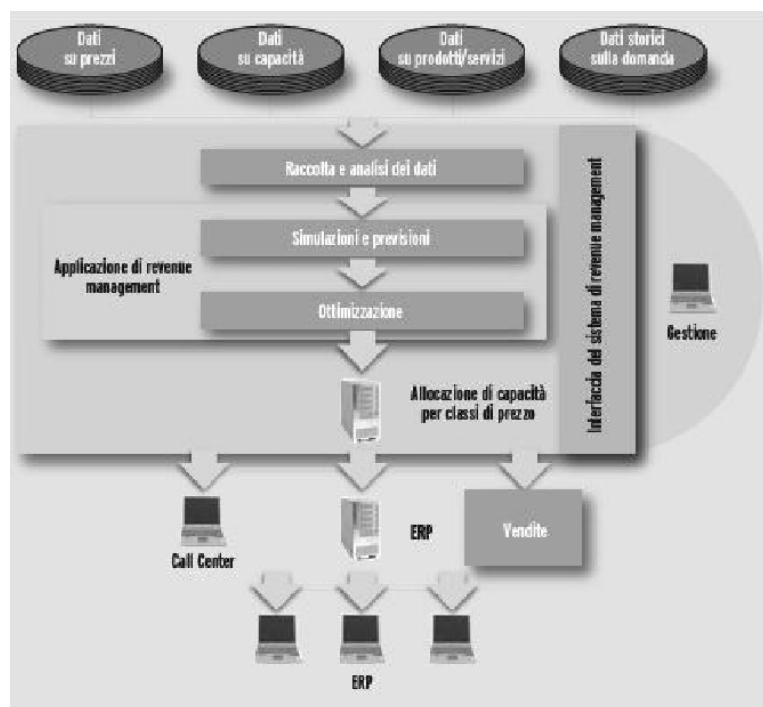


Figura 1.3: Componenti di Un Sistema di Revenue Management

ai segmenti di clientela, in base ai dati previsti, al fine di massimizzare i profitti. I risultati di questo processo di ottimizzazione sono per esempio quote di *overbooking limits*³, ovvero limiti di prenotazione della capacità, *bid prices*⁴, ovvero offerte, sconti, ecc. Una quota comprende la massima capacità attribuita a un segmento di clientela, mentre un *overbooking limits* determina la capacità per un segmento di clientela come per tutte le classi di clientela con il prezzo più basso. In questo modo ai segmenti di clientela con prezzi più bassi, ovvero quelli a basso valore, possono avere accesso alla capacità produttiva.

Il controllo del sistema di revenue management determina se la richiesta del singolo cliente può essere accettata oppure no, basandosi su tecniche di controllo come le quote, limiti di prenotazione o prezzi ombra. Una strategia di controllo, basata sulle quote di capacità, prevede che la richiesta è accettata se è ancora

³PAUL DAVIS (1994) definisce l'overbooking per le linee aeree come un conscio tentativo per bilanciare il maggior ricavo ottenuto dal far volare un aereo pieno contro il costo derivante dal dover lasciare clientela terra (*Overbooking is the conscious attempt to balance the increased revenue obtained from flying full aircraft against the cost of leaving customers behind*)

⁴Bid Price è il cosiddetto prezzo ombra, il prezzo massimo che un cliente è disposto a pagare per un certo bene.

disponibile sufficiente capacità nel segmento produttivo associato. Utilizzando i prezzi ombra, invece, la richiesta è accettata se il prezzo del cliente è altrettanto alto quanto il prezzo dell'offerta. Ovviamente la scelta di utilizzare un controllo di capacità piuttosto che quello basato sul prezzo dipende dall'azienda e dalla possibilità che la stessa ha di poter cambiare i prezzi o i volumi nel breve periodo.

Un approccio alternativo per rappresentare un sistema di revenue management è stato sviluppato da Yeomen e Watson [24]. In particolare, come evidenziato in figura(1.4), le varie caratteristiche di un potenziale sistema di revenue management sono aggregate nelle seguenti tre dimensioni principali:

- **previsione:** analizzare dati storici, conoscere i clienti, i loro bisogni, le loro abitudini e combinare i fattori quali il tempo, il rischio, i comportamenti di prenotazione, per ricavare le informazioni necessarie al processo di massimizzazione del rendimento.
- **persone:** nel processo di gestione del rendimento l'apporto delle risorse umane è fondamentale. Nonostante l'importanza dei metodi di previsione, delle tecnologie informatiche e delle strategie utilizzate, è comunque il manager a prendere le decisioni finali.
- **strategie:** il revenue management è un processo di supporto alle decisioni e ogni azienda ha bisogno di una strategia personalizzata, caratterizzata da opzioni, scenari, simulazioni, metodi e tattiche che guidano le decisioni di yielding.

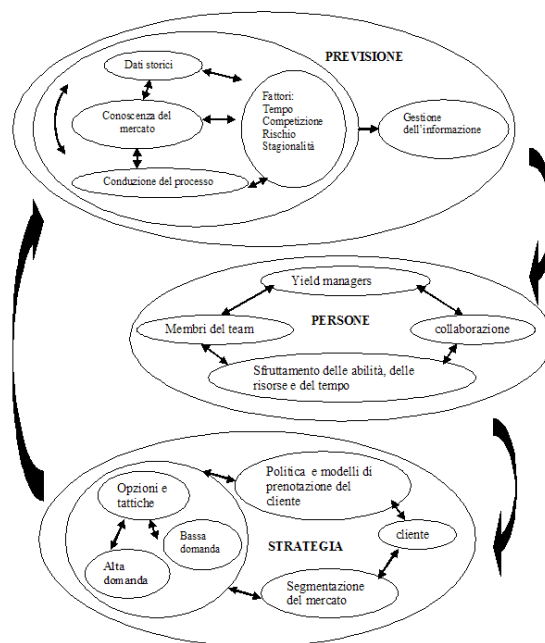


Figura 1.4: Modello di Yeomen e Watson

1.5 I principali problemi di Revenue Management

Le principali problematiche che devono essere affrontate in un processo di revenue management (vedi figura 1.5) possono essere raggruppati nelle seguenti categorie: il controllo di capacità o controllo dell'inventario; overbooking; segmentazione del mercato; upgrading; nesting; previsione; gestione dei prezzi; le aste; ottimizzazione.

Il fatto di categorizzare le diverse problematiche non implica che siano completamente isolate le une dalle altre, anzi è possibile trovare correlazione tra ognuna di esse. Ad esempio, Feng et al. nel 2006 definirono un modello che integra la politica di prezzo e la politica di allocazione della capacità. Le aste, a loro volta, non sono altro che una politica particolare di prezzo. In quanto segue, verrà data una breve descrizione delle diverse problematiche evidenziate.

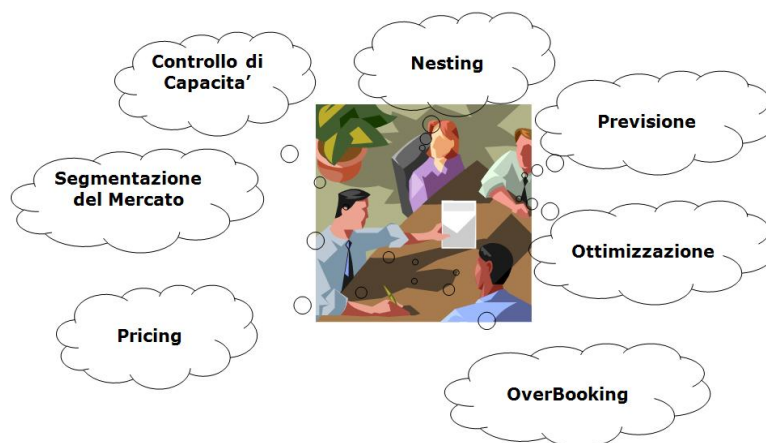


Figura 1.5: Le problematiche del revenue management

1.5.1 Controllo e Allocazione della Capacità

Obiettivo del controllo di capacità è di determinare la quantità di inventario da allocare a ciascuna risorsa o a un insieme di differenti risorse, in modo tale da massimizzare il rendimento o profitto atteso.

Ad esempio, nell'industria aerea il controllo di capacità si riferisce al controllo dei posti disponibili sull'aeromobile. Il controllo di capacità può avvenire sia nel caso di una singola risorsa o nel caso più complicato di una rete di risorse.

Le decisioni che sono alla base di questi modelli, sono quelle di selezionare il numero di prenotazioni da accettare per ciascuna classe di domanda, che utilizzano la stessa risorsa o lo stesso insieme di risorse. E', quindi, necessario un bilanciamento tra il rischio di mancata vendita o quello di contrazione dei ricavi. Se il primo supera il secondo ovviamente si tenderà ad aumentare le unità assegnate ai segmenti a tariffa bassa. Viceversa si ipotizza un aumento delle prenotazioni, e conseguenti acquisti, da parte dei segmenti di domanda a cui è associato il prezzo più alto, riservando, anche, una quantità maggiore di unità di risorsa. Tuttavia, l'allocazione delle unità di risorsa per le diverse classi di domanda, dovrà essere il più possibile dinamica in modo tale da poter soddisfare le richieste di una certa risorsa in qualunque momento. Molte delle attuali tecniche di controllo della capacità utilizzano metodi di previsione, che comunque risultano difficili da applicare, onerosi dal punto di vista computazionale e con risultati non sempre soddisfacenti.

1.5.2 Overbooking

La politica di overbooking fa esplicito riferimento alla gestione della capacità produttiva e si traduce nell'accettazione di un numero di prenotazioni superiore alla effettiva disponibilità di unità di servizio. Il fine è quello di contenere, da un lato il rischio di mancata vendita, e dall'altro quello derivante da possibili rifiuti da parte della clientela. Operando in questa direzione si sostiene comunque un costo caratterizzato da una componente finanziaria e da una non finanziaria.

L'onere finanziario è rappresentato dall'indennizzo che l'impresa è disposta ad accordare al cliente e sarà strettamente dipendente dalla politica commerciale. E' consuetudine riconoscere al cliente che si presenta al *check-in* e per il quale non è più disponibile l'unità di servizio, una sistemazione alternativa dotata di medesimi standard qualitativi o perfino di qualità superiore. Inutile rilevare come i costi aggiuntivi dell'operazione siano a carico dell'azienda.

La perdita non finanziaria si associa alla caduta di immagine insita nella impossibilità di soddisfare la richiesta di un cliente malgrado la sua prenotazione nella figura (1.6).

L'overbooking è una parte rilevante e molto delicata del revenue management. Vari sono i fattori da tenere in considerazione nella definizione del numero massimo di prenotazioni da accettare: possibilità di *no-show* o cancellazioni che, come

più volte detto, originano una mancata vendita; costo opportunità della piena occupazione; valore connesso alla perdita di un cliente; reali possibilità di offrire sistemazioni alternative; costi delle sistemazioni stesse.

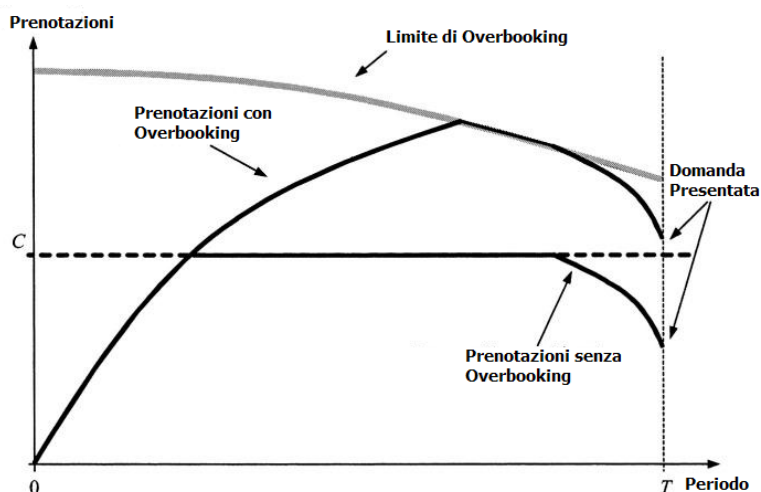


Figura 1.6: Andamento delle Prenotazioni in relazione all'Overbooking

1.5.3 Segmentazione del Mercato

La segmentazione deve partire da un'attenta conoscenza dei bisogni della clientela, delle loro motivazioni, nonché del loro comportamento d'acquisto. L'obiettivo rimane immutato ed è quello di soddisfare le richieste del consumatore. La massimizzazione dei ricavi si consegue appunto grazie all'opportuna gestione del *connubio* prezzo-differenziazione. Le classi di prenotazioni possono essere differenziate in relazione a diversi fattori: il tipo di servizio o il prodotto; il tempo e le condizioni di acquisto; il prezzo; le caratteristiche del cliente; il canale di vendita e così via. Un esempio di segmentazione del mercato è il servizio aereo che definisce i propri clienti come *business* e *leisure*, ossia i primi sono generalmente sensibili al tempo e sono disposti a pagare un prezzo più alto per la flessibilità del servizio, mentre i secondi sono più sensibili al prezzo, e disposti ad acquistare i servizi richiesti anche in anticipo allo scopo di usufruire della tariffa scontata.

1.5.4 Upgrading

Un'altra politica molto interessante nell'ambito del revenue management è l'upgrading, che consiste nell'assegnare, se sussistono le condizioni per farlo, ad alcuni clienti un prodotto o un servizio di categoria superiore o prezzo superiore rispetto a quelli richiesti dai clienti stessi. Ovviamente se pensiamo al noleggio di auto, l'upgrading consiste nell'affittare un'auto di categoria superiore rispetto a quella richiesta, nel caso degli aerei è vendere un posto business ad un cliente leisure. Il vantaggio derivante dall'applicazione di tale politica consente di soddisfare il maggior numero di richieste, evitando perdita di immagine dovuta al rifiuto delle prenotazioni e utilizzare le risorse di inventario che potrebbero rappresentare un'opportunità persa di guadagno. Una tale politica nel breve periodo potrebbe rappresentare una *diluizione* del rendimento.

1.5.5 Nesting

La politica di nesting fa riferimento alla gestione delle unità di vendita da attribuire ad ogni singolo segmento tariffario. L'obiettivo è quello di garantire che, in qualunque momento del processo di vendita, la disponibilità associata ed una predefinita classe tariffaria risulti inferiore a quella associata alle classi inferiori. A tal fine a livello di sistema di prenotazione, si applica una forma di annidamento gerarchico (*nesting*) tra le disponibilità delle diverse classi tariffarie. Esso consiste nel definire delle classi di prenotazione e relative tariffe e determinare la disponibilità di ogni classe; la disponibilità di ciascuna classe tariffaria è pari alla somma della disponibilità della classe in oggetto e delle classi inferiori.

A titolo esemplificativo si suppone di 3 classi di prezzo, denotate come Y, B e M. Seguendo la logica di nesting, ovvero la situazione riportata in figura 1.7:

$$Y = Y + B + M \quad (1.2)$$

$$B = B + M \quad (1.3)$$

$$M = M \quad (1.4)$$

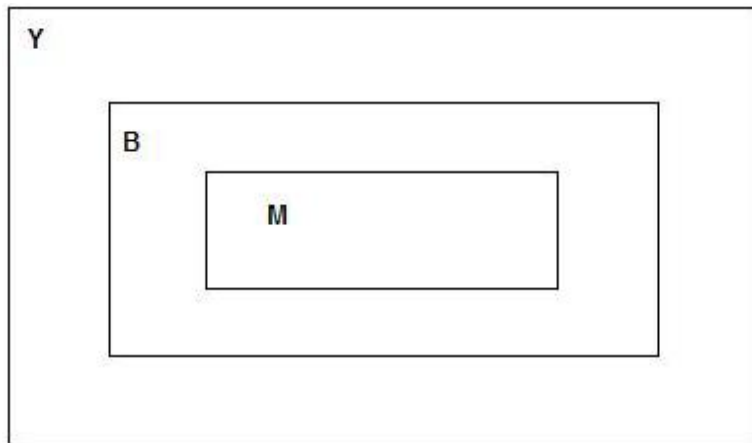


Figura 1.7: Esempio di Nesting

In particolare, la vendita di un'unità di classe M comporterà il decremento nelle disponibilità di tutte le classi; in maniera analoga la vendita di B decrementa la disponibilità di B e Y.

In letteratura si parla di *virtual nesting*, diffuso nel settore aereo nei sistemi *hub and spoke*. Il crescere della domanda o voli in coincidenza, piuttosto che di voli diretti, impone la gestione integrata delle tratte e rende necessario determinare il valore di ogni singolo passeggero, che dipende sia dalla tariffa pagata che dall'itinerario percorso. E' stato anche dimostrato che il nesting è uno dei metodi migliori per contrastare l'errore delle previsioni della domanda, e quindi, di una cattiva gestione dell'offerta.

1.5.6 Previsione

I principali autori [42] individuano nella previsione della domanda la seconda fase fondamentale del processo di revenue management, l'integrazione con la segmentazione analizzata in precedenza è sequenziale. Si devono effettuare stime separate per ogni segmento di clientela, in quanto, diversi sono i comportamenti d'acquisto e non uniformabili sono le variabili decisionali che li influenzano. Il tutto implica l'adozione di politiche sia di prezzo, che di marketing più largamente intese, non standardizzabili. Il modello di previsione, qualunque sia il contesto di applicazione, si differenzia dagli schemi tradizionali.

Per quanto concerne le strutture turistico ricettive, per esempio, si basa su due variabili temporali:

- un tempo x precedente la data di fruizione del servizio ed il numero di prenotazioni pervenute fino a quella data;
- le prenotazioni associabili ad ogni singolo giorno.

Il monitoraggio delle prenotazioni giornaliere permette di avere informazioni sull'andamento temporale con cui queste sono pervenute. Tale andamento viene rappresentato dalle curve di prenotazione [23], che saranno puntualmente definite per i giorni trascorsi e frutto di approssimazione per gli orizzonti temporali futuri. La sequenza cronologica delle prenotazioni registrate rappresenta, invece, l'andamento storico della domanda. Questo parametro può essere agevolmente desunto dai dati raccolti nelle giornate che precedono un preciso istante temporale.

La disponibilità di entrambe queste serie di dati ha portato a ritenere che si potessero implementare modelli di previsione più accurati da una loro trattazione congiunta.

Nell'ambito dell'approccio combinato i modelli utilizzati possono, a loro volta, basarsi sulla combinazione di strumenti tradizionali dell'analisi di previsione dando luogo a modelli definiti ibridi. Si possono, ad esempio, applicare modelli di analisi delle serie storiche alle serie temporali delle prenotazioni. Ciò che effettivamente interessa il management non è però il numero di prenotazioni, anche se questo è il primo dato che muove il modello decisionale, ma il numero effettivo di unità di servizio vendute. L'operatività del revenue management non può pertanto basarsi unicamente sulla previsione delle prenotazioni. Alcune variabili che peraltro sfuggono a qualsiasi tipo di ipotesi previsionale, fanno sì, che non vi sia coincidenza perfetta tra il numero di richieste ricevute ed il numero di unità realmente acquistate dal consumatore.

Una corretta gestione ed allocazione della capacità produttiva deve, in qualche modo, considerare anche le ipotesi di: *no-show*, cancellazioni, *showup*, *sell-up*⁵, *recapture*⁶, *check-out* anticipato o posticipato⁷, ecc. Per una corretta previsione degli andamenti futuri che tenga in considerazione tutte queste variabili sono possibili due ipotesi alternative.

Una prima, certamente più complessa sotto il profilo tecnico, ma necessariamente più puntuale in termini di risultati ottenuti, si fonda sulla previsione separata di tutte le variabili in precedenza menzionate e permette l'implementazione di accorte politiche di *overbooking*. Le metodologie di previsione non potranno essere definite a priori in maniera univoca, ma di fronte ad ogni caso concreto si adatteranno sia alle variabili oggetto di scelta, che al contesto in cui si inseriscono. In questo modo l'andamento futuro dei volumi di vendita sarà ipotizzato considerando congiuntamente l'andamento delle prenotazioni e le variabili *distorsive*.

Un approccio alternativo esula dalle prenotazioni ricevute e formula le sue ipotesi sul numero di unità di produzione effettivamente vendute. La semplicità

⁵Con detta terminologia si identificano quei clienti che non avendo trovato disponibilità all'interno della tariffa scelta accettano comunque di usufruire del servizio ad un prezzo più elevato.

⁶Termine utilizzato dalle compagnie aeree per indicare quei passeggeri che non avendo trovato disponibilità sul di un volo, non vengono persi perché la loro richiesta si trasforma in una prenotazione su di un altro volo della medesima compagnia.

⁷Questa terminologia viene utilizzata dalle strutture ricettive per indicare una interruzione anticipata di un soggiorno o il suo prolungamento oltre il termine stabilito.

tecnica ed operativa di questa alternativa si scontra, come è agevole comprendere, con la minor utilità (o efficacia) gestionale. Non è però così possibile supportare politiche di overbooking che sono invece un punto nodale del revenue management. In ottica revenue, uno degli aspetti più problematici è la stima dell'andamento della domanda non soggetta a vincoli. Intendendo con detta espressione quella parte di clientela che sarebbe possibile soddisfare se la struttura produttiva avesse capacità illimitata e non vi fossero restrizioni⁸.

Posto che uno degli obiettivi dell'intero processo decisionale è inserire dei limiti alle prenotazioni da accettare, sarebbe necessario disporre di una stima accorta della domanda effettiva e non soltanto di quella osservata.

In alcuni settori, la sistematica registrazione delle richieste non tradottesi in prenotazioni, può costituire il modo più diretto per stimare la domanda latente che sommata alle prenotazioni consentirebbe di determinare la domanda totale non soggetta a vincoli. In concreto, però, la registrazione di tali richieste non è così diffusa ed inoltre non tutte le richieste che non sfociano in prenotazioni costituiscono domanda latente: non possono rientrare in questa categoria i diretti declini dei potenziali clienti, ma soltanto i rifiuti da parte della struttura produttiva. Sia per quanto riguarda il settore ricettivo, che il trasporto aereo, sono state individuate metodologie statistiche tese alla stima della domanda totale non vincolata, anche se per il primo gli autori non giungono ad una formalizzazione definita del modello da utilizzare.

Infine, è necessario ricordare come il processo di erogazione di queste tipologie di servizi turistici sia composto da più fasi. In precedenza si faceva riferimento alle diverse possibili tratte che compongono un biglietto aereo acquistato da un unico soggetto per un particolare spostamento. Allo stesso modo, un'unità di servizio nel campo della ricettività turistica può essere acquistata per un arco temporale composto da più giorni. Proprio per questo motivo è necessario che il sistema di revenue fornisca un modello capace di considerare, in maniera univoca, l'intera erogazione e non ogni sua singola fase. A questo punto è agevole concludere come il dato oggetto di interesse siano gli arrivi che contraddistinguono ogni singolo giorno, integrati però da informazioni sul periodo di permanenza. Potrebbero

⁸Si è più volte sottolineato il fatto che una delle caratteristiche delle aziende interessate al revenue management sia la rigidità della struttura produttiva, la sua impossibilità ad essere modificata almeno nel breve

talvolta rendersi necessarie stime su quello che sarà l'effettivo giorno di partenza.

1.5.7 Pricing

Obiettivo dei modelli di prezzo è quello di determinare il giusto prezzo per i diversi gruppi di clienti e di variare il prezzo nel tempo per massimizzare il rendimento. Le politiche di pricing utilizzano il prezzo come variabile di controllo, stabiliscono il prezzo migliore per i vari insiemi di clienti, devono risultare flessibili in modo da poter cambiare dinamicamente i prezzi. Caratteristica importante dei prodotti è di non avere un valore fisso, piuttosto il valore dipende dal momento dell'acquisto e i prodotti devono avere valori differenti per ciascun insieme di clienti.

Il valore di un prodotto non coincide con il prezzo, piuttosto dipende dalla percezione che il cliente ha di esso. La distinzione tra valore e prezzo è essenziale per comprendere che il revenue management ha come obiettivo quello di individuare diversi prezzi per uno stesso prodotto. Il valore del prodotto può cambiare nel tempo a causa dell'invecchiamento del prodotto stesso e della stagionalità. Ad esempio, si possono avere clienti che pagano un prezzo maggiore in anticipo per assicurarsi il servizio o la flessibilità dello stesso. La politica di prezzo dipende strettamente dalla domanda di un segmento di clientela in un certo periodo di tempo.

1.5.8 Le Aste

Le aste offrono, nell'ambito del revenue management, la possibilità di imporre una differenziazione dei prezzi di primo grado riuscendo a estrarre l'intero guadagno del consumatore o perlomeno raggiungere un livello di prezzo che si avvicina molto alla massima disponibilità di pagamento del cliente, senza la necessità di studiare in maniera approfondita la curva di domanda o la disponibilità di pagamento del cliente. Esistono molti approcci per modellare le aste. Quello più comunemente usato è "independent private-value model". Partendo dall'ipotesi che tutti coloro che partecipano all'asta siano razionali, ossia le loro offerte sono tali da massimizzare il proprio guadagno, è possibile identificare strategie dominanti che conducono a un equilibrio.

1.5.9 Ottimizzazione e Ripianificazione

Ottimizzare nell'ambito del revenue management vuol dire decidere se accettare oppure non accettare una certa richiesta. La situazione ideale è di avere prenotazioni in anticipo da parte dei clienti che pagano il prezzo più alto rispetto ai clienti che pagano il prezzo scontato e che non si verificano *no-shows* o cancellazioni. Nella realtà questo non succede, infatti i clienti *business*, che utilizzano i servizi per esigenze lavorative, prenotano in tempi successivi rispetto ai clienti *leisure*, che utilizzano il servizio esclusivamente per vacanza. Ogni volta che si prende una decisione, sia essa di accettazione della richiesta o di allocazione della capacità, è necessaria la ripianificazione dell'intera attività in quanto ogni azione influenza la massimizzazione finale del rendimento. L'idea di base è che un cliente che ha effettuato una prenotazione per un certo prodotto o servizio potrebbe cancellare pochi giorni prima di usufruire del prodotto o servizio la sua prenotazione. Poiché i fattori che influenzano le decisioni nel gestire il rendimento sono differenti, è necessario avere un sistema in grado di adattarsi alle diverse situazioni che si presentano.

Tutte le politiche descritte nelle sottosezioni precedenti possono integrarsi tra loro, come evidenziato in figura 1.8

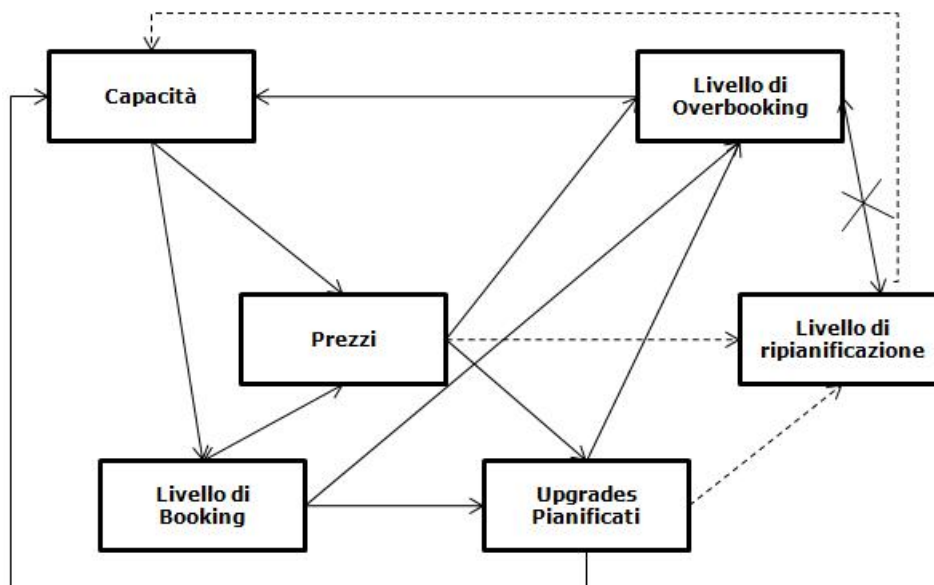


Figura 1.8: Integrazione delle Principali Politiche di Revenue Management

1.6 Limiti e Criticità

Le tecniche di revenue sono nate in un contesto operativo dove l'obiettivo fondamentale era quello di risolvere problemi che si ripresentavano quotidianamente, compromettendo sensibilmente le opportunità di generare reddito [22].

La prima conseguenza è stata il sorgere di alcuni pregiudizi che hanno poi pesantemente compromesso le effettive possibilità di applicazione o diffusione.

1. Il *revenue management* è un sistema computerizzato. L'approccio al revenue management viene immediatamente correlato ad un sistema computerizzato ed alle sue capacità di prevedere la domanda, ottimizzare la gestione della capacità produttiva limitando le politiche di sconto. In realtà, invece, non si tratta né di un sistema computerizzato né di un insieme di tecniche matematiche, ma di un modo per aumentare il volume di vendita migliorando i servizi per rispondere alle esigenze del mercato. Certamente il supporto informatico è indispensabile, solo grazie a questo ausilio si possono sfruttare appieno le capacità previsionali. Al contempo, il supporto di un adeguato modello matematico di ottimizzazione, rende il sistema inevitabilmente più solido e capace di supportare il perseguimento degli obiettivi. In assenza di questo si rischierebbe di banalizzare l'intero processo. Il tutto non si esaurisce con questo, altri elementi sono necessari come la diffusione di una cultura direzionale orientata al revenue, un ripensamento delle politiche di vendita e la disponibilità di un prodotto in linea con detta filosofia.

Riferendoci all'unità di vendita offerta è agevole comprendere come numerose aziende hanno visto fallire i loro tentativi in quanto non sono state capaci di ridefinire il processo di vendita. La politica tariffaria non deve far percepire al consumatore di acquistare il medesimo servizio, con le medesime caratteristiche, nel medesimo istante temporale ad un prezzo diverso. Un ruolo fondamentale è, quindi, dato dalle logiche di segmentazione della domanda. Pensare, pertanto, alla gestione del rendimento unicamente come ad un sistema computerizzato non solo è riduttivo, ma spesso induce la compagine direzionale a prendere decisioni errate, fondamentalmente prive di congrui supporti logici.

2. Il *revenue management* riduce le possibilità di controllo dei collaboratori.

Un programma di gestione del rendimento offre informazioni allo staff manageriale, consentendo di supportare al meglio il processo decisionale. Nel contempo, permette di definire piani di azione strutturati che, pur lasciando operare in prima linea i collaboratori, inquadrano con estrema precisione quelli che sono i compiti e le azioni da svolgere.

Il maggior coinvolgimento degli operatori certamente non significa che si perdano le possibilità di controllo. Al contrario, le possibilità di errore tendenzialmente si riducono e si consolidano le tecniche che permettono di massimizzare le possibilità di *guadagno*, assicurandosi il raggiungimento di un dato livello di soddisfazione della clientela.

3. *Il revenue management funziona soltanto quando la domanda è superiore all'offerta.* La parte del sistema di gestione del rendimento maggiormente conosciuta è quella relativa alle politiche di *overbooking*. Si è così indotti a pensare che il tutto sia utile solo quando ci si trova nell'agevole posizione di dover scegliere quale tipo e quanta parte della domanda potenziale dover soddisfare.

Detta situazione non rappresenta il quotidiano per numerose realtà e si ritiene che le tecniche di revenue siano uno strumento utile solo ad una piccola *élite*. La previsione della domanda è uno degli elementi base del processo di revenue. Il management deve essere messo nella condizione di conoscere quali saranno i periodi di restrizione al fine di stimolare la domanda potenziale. Il revenue management aiuta a modificare la struttura tariffaria e a controllare le vendite al fine di ottenere un migliore sfruttamento della capacità produttiva. Il suo fine pertanto non è quello di gestire picchi di domanda che superano l'offerta potenziale, ma quello di favorire un migliore sfruttamento della capacità produttiva.

4. *Revenue Management uguale prezzi scontati.* Anche in questo caso quello che si è indotti a pensare è che il revenue non introduca niente di innovativo, ma sia semplicemente una politica di vendita basata sulla riduzione del prezzo nei periodi in cui la domanda è contenuta e conseguente aumento nei periodi in cui la stessa è elevata. In realtà, invece, il revenue management si focalizza su quanto è necessario vendere di un determinato prodotto ad un

determinato prezzo in un preciso istante temporale. Non suggerisce cambiamenti tariffari, ma indica quando aprire e chiudere determinate classi di prezzo. Le metodologie utilizzate per monitorare l'andamento della domanda sono un indispensabile supporto alla strutturazione tariffaria. Un programma di revenue informa il management quando la struttura dei prezzi necessita di un cambiamento ed indica la direzione verso la quale, detto cambiamento, deve essere indirizzato.

5. Il *revenue management* è incompatibile con un buon servizio. Seguendo in maniera speculare le indicazioni fornite da un modello tariffario basato sulla chiusura e sul cambiamento della classe, si potrebbe essere indotti a rifiutare una richiesta di servizio da parte di un cliente abituale, oppure si potrebbe rischiare di rinunciare a segmenti con più elevata propensione al ritorno. I sistemi di revenue però non si limitano a trattare le possibilità offerte nel breve periodo, ma tendono ad investire un arco temporale medio lungo. Un'altra area particolarmente sensibile al mantenimento di un dato livello di servizio è quella dell'overbooking.
6. Il *revenue management* è troppo complicato. Un sistema di revenue management non deve essere complicato. Deve tenere conto della complessità dell'ambiente, includendo anche gli eventuali limiti tecnici di un'impresa. Spesso sono le idee più semplici ad avere successo. Quello che si rende necessario è un processo di sofisticazione successiva. All'inizio è necessario creare una cultura aziendale orientata in questo senso, poi l'effettivo utilizzo del sistema ne imporrà una revisione cui potrà conseguire una maggior complessità. Specie in realtà dove il *turnover* degli operatori è elevato si rende necessario disporre di un processo testato ed affidabile.
7. *Revenue Management non può risolvere i MIEI problemi.* Spesso gli imprenditori o i manager sono portati ad affermare che il revenue management non sia applicabile all'interno delle loro realtà produttive. Detta affermazione è sostanzialmente corretta, i sistemi che verosimilmente questi hanno incontrato non sono riproponibili nelle loro aziende. Non bisogna dimenticare però che ogni realtà produttiva ha le sue caratteristiche ed il sistema di revenue management è diverso all'interno di una compagnia aerea piuttosto che

in un'azienda turistico ricettiva, ma persino i singoli alberghi hanno bisogno di processi diversi che tengano in considerazione le loro singolarità.

8. *Il revenue management automaticamente aumenta il profitto.* Il revenue management supporta un processo fattivo di aumento della redditività, ma se non realizzato correttamente può anche favorire un'inversione di tendenza e, quindi, causare una contrazione nei profitti. Comunque sono ormai numerose le tecniche che permettono una congrua misurazione degli impatti sulla redditività generati da una decisione.
9. *Le imprese, utilizzando il revenue management, non devono cambiare niente.* Le tecniche di revenue possono essere introdotte in numerose realtà produttive. Un'implementazione di successo consente di aumentare la capacità di generare reddito da parte dell'azienda garantendo, al contempo, una più elevata soddisfazione della clientela. Varie misurazioni di performance devono essere elaborate per assistere il management nella quantificazione dei benefici. A detto proposito sono di grande ausilio i supporti informatici che, elaborando serie storiche, consentono di formulare ipotesi assai realistiche circa gli andamenti futuri. Un processo di revenue pertanto impone una modifica nel processo gestionale. Le politiche di vendita praticate dalle compagnie aeree o dalle strutture alberghiere per livellare andamenti variabili della domanda, non possono essere confuse con un sistema integrato di revenue, altri sono gli elementi da inserire e solo una completa coordinazione permette di ottenere successi.
10. *Le imprese non possono utilizzare il revenue management se non lo fanno anche i concorrenti.* Il revenue management aggiunge un livello di complessità al sistema tariffario generalmente praticato dalle aziende. Ad un unico livello di prezzo precedentemente stabilito se ne possono aggiungere numerosi altri, così come possono modificarsi gli standard di servizio offerti in corrispondenza di ognuno di essi. Il grado di efficacia di questi, come di altri strumenti di vendita, dipende evidentemente anche dal comportamento posto in essere dalla concorrenza. Questo però è vero comunque, lo scenario competitivo influenza e compromette le possibilità di vendita, ma il maggior rigore con cui operano le aziende orientate al rendimento assicura un ben-

eficio aggiuntivo indipendentemente da quanto posto in essere dai consumatori. Non si può, quindi, prescindere dal comportamento dei concorrenti, ma le loro tecniche, i loro processi decisionali, non inficiano il successo del sistema di revenue se realizzato adeguatamente. Il successo delle linee aeree americane, che per prime hanno sperimentato queste tecniche è certamente una testimonianza che aggiunge fondamenti alle affermazioni fatte.

Il revenue management non è un metodo per porre rimedio a situazioni di scarsa redditività presenti in alcune imprese, né una politica di vendita che spinge il consumatore ad acquistare comunque lo stesso servizio a prezzi più elevati.

Può, invece, essere pensato come una sofisticazione, una evoluzione dei modelli gestionali che consente di aumentare le possibilità di reddito da parte dell'azienda. Imponendo questa cultura si riescono a soddisfare meglio i bisogni del consumatore e se ne migliora la soddisfazione. Il livello di efficacia di un processo di revenue management dipende, evidentemente, dalle caratteristiche del modello stesso e dalle effettive possibilità di implementazione. Non dimentichiamo che ogni realtà ha caratteristiche proprie ed ogni particolare deve essere inserito all'interno del sistema, solo così si possono ottenere i benefici prospettati.

1.7 Impatto Quantitativo del Revenue Management

Sebbene molte compagnie e ricercatori affermano che il revenue management abbia fornito grandi benefici, poca parte della letteratura si è occupata dell'impatto quantitativo dell'implementazione di tale tecnica. L'importanza dell'impatto si può riscontrare in alcuni lavori nei quali vengono presentati modelli e metodi di revenue management per una specifica industria o per una specifica compagnia.

Orkin [20] nel suo lavoro, in cui esamina un caso particolare di applicazione di tali tecniche, afferma che le strutture alberghiere possono beneficiare dall'applicazione di sistemi di revenue management. In particolare, afferma che il tasso medio di tutte le prenotazioni dello Hyatt Regency è cresciuto dopo l'adozione delle tecniche di yield management.

Smith e altri autori quantificano i benefici dello yield management nel settore aereo in aree specifiche. In particolare, si evidenzia come l'overbooking ha prodotto un incremento nel rendimento di \$225 milioni nel 1990. Dopo l'installazione del

sistema DINAMO, le allocazioni di sconti portarono ad un incremento del rendimento di oltre \$100 milioni per anno. Poiché il sistema DINAMO portò ad un'automazione di molti compiti che prima venivano svolti manualmente, la produttività crebbe più del 30% tra il 1988 e il 1990 (un valore di un milione di dollari all'anno). L'impatto riportato durante i tre anni precedenti alla pubblicazione dell'articolo è stato stimato pari a 1.4 bilioni di dollari. Dal confronto con il profitto dell'American Airlines durante quegli stessi tre anni (\$892 milioni), è possibile capire come lo yield management possa rappresentare uno strumento di gestione molto potente.

Geraghty e Johnson (1997) attribuiscono al revenue management l'uscita dell'autonoleggio National dalla crisi. Il sistema di yield management adottato alla National pare abbia incrementato il profitto di 56 milioni di dollari solo nel primo anno.

Nel caso del settore alberghiero, la domanda per soggiorni di più giorni e la durata dei soggiorni sono valori incerti. Tuttavia, considerare questi fattori con l'aiuto del revenue management può far incrementare il rendimento, come ha dedotto Weatherford [31], che nei suoi lavori indica un incremento di rendimento di circa il 2.94% nel caso degli hotels, ovvero un incremento di milioni di dollari ogni anno. Di seguito vengono presentati alcuni casi che testimoniano l'impatto altamente positivo dell'adozione di un sistema di revenue management.

- Lo yield management ha generato un incremento del rendimento di 1.4 miliardi di dollari negli ultimi tre anni, creando una struttura di pricing che risponde in modo adeguato ai cambiamenti della domanda relativa ad ogni singolo volo (R.L.Crandall, Chairman e CEO of AMR, 1992).
- Il sistema di yield management dell'America Airlines ha generato almeno un miliardo di dollari di incremento del rendimento annuale (Tom Cook, Presidente della SABRE Decision Technologies, Giugno 1998).
- La Ford Motor Co. stava *lentamente godendo* di un'enorme ondata di profittabilità tra il 1995 e il 1999, le vendite dei veicoli negli USA crebbero del 6 percento, da 3.9 milioni di unità a 4.1 milioni di unità. Ma il rendimento era cresciuto solo del 25 percento, e i profitti si innalzarono del 250 percento, da circa 3 miliardi di dollari a 7.5 miliardi. Di questi 4.5 bilioni di dollari, Lloyd Hansen, responsabile del marketing e delle vendite globali

della Ford, stima che circa 3 bilioni di dollari provengono da una serie di iniziative di revenue management (CFO Magazine, Agosto 2000).

- Il revenue management ha salvato la National Car Rental. Kevin Geraghty, Aeronomics Inc.

Inoltre, ci sono dei casi in cui l'applicazione di metodi di revenue management da parte della concorrenza ha condotto alcune compagnie alla bancarotta. L'esempio più eclatante è sicuramente il caso della compagnia aerea People Express.

Capitolo 2

I campi di Applicazione del Revenue Management

La ricerca scientifica nell'ambito della gestione del rendimento ebbe inizio circa 40 anni fa, nel 1966, quando l'America Airlines implementò un sistema di prenotazione (SABRE) [29], il quale permetteva di poter controllare i posti riservati sugli aerei.

Il vero importante lancio del revenue management si ebbe, però, nel 1978 con *Airline Deregulation Act* che diminuì il controllo sui prezzi e che portò rapidi cambiamenti ed una rapida innovazione nell'industria aerea.

I sistemi per la massimizzazione del rendimento si sono evoluti in questi ultimi anni tanto da essere diventati un importante fattore di successo per le compagnie aeree, per gli alberghi, per le agenzie di noleggio di auto e automezzi in genere e in molte altre industrie di servizio e manifatturiere.

Il revenue management permise una sostanziale crescita del fatturato (dai 300 milioni ai 500 milioni di euro) delle compagnie di trasporto aereo come la US Airlines e la Delta Airlines.

I lavori presenti in letteratura, riguardanti i problemi di gestione del rendimento delle compagnie aeree, sono tantissimi, e solo negli ultimi anni le tecniche di revenue management si sono diffuse nelle altre industrie.

Nel 2004, Gallego e Phillips introdussero il concetto di prodotti *flessibili* per la gestione del rendimento. Essi definirono un *prodotto flessibile* come un insieme di due o più alternative, tipicamente sostitutive, prodotti offerti da un fornitore

vincolato ad usare un processo di vendita o di prenotazione. In questo modo è possibile considerare non solo la vendita di prodotto, ma anche di servizi. Ecco perché la ricerca ha applicato i modelli di revenue management in una vastità di industrie dove i fornitori offrono prodotti *flessibili*.

Le industrie in cui le tecniche di revenue management ebbero inizialmente più successo furono le compagnie aeree, gli alberghi e le compagnie di noleggio auto. Esse hanno caratteristiche molto simile tra loro. I loro prodotti - servizi risultano essere deteriorabili, la domanda dei loro prodotti è suddivisa nel tempo, hanno alti costi fissi e bassi costi variabili nel breve periodo, tutti i criteri a cui un'azienda deve rispondere per poter applicare le tecniche di massimizzazione del rendimento. In tabella 2.1, viene riportata una sintesi delle caratteristiche dei tre settori classici di applicazione del revenue management.

Criteria di Revenue Management	Linea Aerea	Alberghi	Noleggio Auto
Segmentazione del Mercato	Mercato Segmentato: Business e Leisure	Stessa strategia del Settore Aereo	Stessa strategia del Settore Aereo
Capacità Fissa	Posti a Sedere in un Aereo	Camere	Flotta auto
Unità di Inventario Deteriorabile	Posto su un volo	Camera per notte	Giorno del Noleggio
Bassi Costi Variabili per Unità Incrementali	Cibo per passeggeri	Pulizia Stanze	Pulizia Auto
Prenotazioni in Anticipo	Sì (anche anno)	Sì	Sì
Previsione della Domanda	Stagionale, giornaliera, in base al momento del giorno, o altro	Stagionale, giornaliera, - altro	Stagionale, giornaliera, in base al momento del giorno, o altro

Tabella 2.1: Criteri di Revenue Management

Il successo del revenue management in queste industrie, ha portato la ricerca scientifica ad applicare i concetti di massimizzazione del rendimento ad altre realtà industriali come: ristoranti, casinò, trasporto merci, servizi internet, e l'affitto di appartamenti. Queste industrie rispondono ai criteri di revenue management riportati in 1.

In tabella 2.2 sono stati messi in evidenza i settori industriali tradizionali per il revenue management e quelli non tradizionali.

Berman nel 2005, affermò che il revenue management è un meccanismo efficiente di allocare un servizio con una ben fissata capacità e di utilizzare meccanismi di sconti su larga scala.

Tradizionali	Non Tradizionali
Linee Aeree	Trasmissione Energia
Noleggio Auto	Healthcare
Alberghi	Broadcast
Crociere	Produzione
Tour Operators	Golf
Trasporto Merci	Reti Televisive
Linee Ferroviarie	Vendita al Dettaglio
Ristoranti	Vendita di Beni Immobili
	Distribuzione di Gas Naturale
	Ospedali
	Organizzazioni No Profit
	Aste
	Altre

Tabella 2.2: Settori Industriali in cui si applica il Revenue Management

Di seguito sono indicate le principali azioni, caratterizzanti un processo di revenue management, per i settori industriali elencati in precedenza [50]:

Ospitalità

- **Alberghi:** Offrono pacchetti speciali per i periodi di bassa richiesta; utilizzando politiche di overbooking per compensare alle cancellazioni e ai no-shows.
- **Ristoranti:** Attraggono i clienti offrendo prezzi scontati in periodi di bassa richiesta, facendo pagare tariffe piu' alte ad esempio nelle cene del venerdì' e del sabato.
- **Attrazioni:** Stabiliscono differenti prezzi di ingresso, sconti per gruppi, tariffe scontate per i membri.
- **Crociere e Traghetti:** Offrono classi di prezzo luxury ed economy; cambiano frequentemente i prezzi in relazione all'andamento della domanda; vendono piu' biglietti dei posti disponibili per controbilanciare i noshows o le cancellazioni.
- **Casinos:** Offrono servizi complementari come stanze, biglietti, regali, sconti, ecc. basati sulla disponibilità dei clienti a pagare.
- **Saune:** Determinano il prezzo basandosi su fattori quali il tipo di luogo in cui viene fornito il servizio, la durata e il tipo di servizio.

- **Resort:** Propongono differenti pacchetti per differenti clienti.
- **Golf:** Stabiliscono prezzi variabili in relazione al tempo in cui viene svolto il corso.
- **Eventi Sportivi e di Intrattenimento:** Determinano il prezzo del biglietto di un evento basandosi su fattori quali i gusti del consumatore e la zona del posto a sedere; stabiliscono il prezzo del biglietto stagionale; determinano il numero di biglietti venduti per ogni segmento di posti.
- **Conferenze:** Offrono differenti pacchetti e tariffe per soddisfare le differenti richieste dei clienti.

Trasporto

- **Linee Aeree:** Offrono classi business ed economy; modificano il prezzo frequentemente in relazione alla domanda; applicano politiche di overbooking per bilanciare possibili no-shows e cancellazioni.
- **Rental Cars:** Sono spesso modificati i prezzi in relazione alla domanda, soddisfano prima la richiesta della parte della flotta piu' costosa; accettano o rifiutano le richieste di prenotazione basandosi sul controllo della durata del noleggio
- **Navi:** Propongono sconti per far aumentare la domanda.
- **Ferrovie:** Dividono i clienti in classe standard e prima classe; offrono prezzi differenti sulla base del giorno di partenza e del momento del giorno di partenza.
- **Carico Navi e Trasporto:** Determinano il prezzo in base allo spazio della cabina, alla posizione e al comfort; determinano la dimensione ottimale del carico e la capacità per ogni classe.

Servizi Innovativi

- **Servizi IT e servizi Internet:** Distribuiscono risorse umane, capacità computazionale e capacità di rete tra i segmenti di utenti e determinano prezzi appropriati per ogni segmento, i clienti appartenenti alle classi piu' elevate verranno serviti prima.

- **Servizi di rete cellulare:** Il controllo delle chiamate ammesse è basato sulla priorità del cliente, coloro che appartengono a classi più elevate verranno serviti prima.

ServiziMisti

- **Vendita al Dettaglio:** Utilizzano prezzi scontati per massimizzare il rendimento dalle vendite di un prodotto stagionale.
- **Produzione:** Determinano il giusto prezzo per ogni prodotto, per ogni segmento di clienti in relazione alle condizioni del mercato.
- **Immagazzinamento e Trasmissione Gas Naturale e Petrolio:** Stabiliscono il giusto prezzo per i servizi di trasporto in modo tale che gli oleodotti siano pieni.
- **Gestione dei Progetti:** Utilizzano capacità di pianificazione e di programmazione per riservare capacità specifiche ai clienti in grado di pagare prezzi più alti per avere attività critiche.
- **Affitto Appartamenti:** Stabiliscono tariffe ottimali per unità individuali, modificano i prezzi in base alla concorrenza, alla domanda e all'offerta e si occupano di un aggiustamento ottimale dei prezzi stessi.
- **Gestione Vacanze:** Offrono sconti sulle prenotazioni, sconti per i bambini, riduzione delle vendite in ritardo per aumentare la domanda.

E' possibile classificare le industrie che utilizzano tecniche di massimizzazione del rendimento considerando due variabili fondamentali: il controllo della durata e il prezzo basato sulla domanda [28], così come illustrato nella figura 2.1

		prezzo	
		<i>fisso</i>	<i>variabile</i>
durata	<i>Prevedibile</i>	1 Cinema Stadi e Arene Spazi pubblici Centri Conferenze	2 Camere di hotel Posti in aereo Noleggio Auto Crociere
	<i>Non prevedibile</i>	3 Ristoranti Corsi di golf	4 Assistenza Sanitaria Ospedali

Figura 2.1: Posizioni delle Industrie rispetto a durata e prezzo

Le differenti attività dipendono dalle possibili combinazioni di queste [27]. I settori tradizionali, come l'industria aerea, alberghi e noleggio di auto, sono abili nell'applicare prezzi variabili con servizio di durata fissata e sono adatte per un'applicazione di successo del revenue management.

Teatro, cinema, stadi sono settori in cui la durata è prevedibile e il prezzo è fissato (primo quadrante), mentre ristoranti, corsi di golf, hanno una durata non prevedibile. I centri di cura offrono servizi la cui durata non prevedibile, a prezzi variabili.

Nel secondo quadrante si trovano le aziende che applicano con successo il revenue management e sono in grado di gestire contemporaneamente capacità e prezzo adottando appropriati cambiamenti.

Per poter applicare al meglio le tecniche di gestione del rendimento, le aziende dei diversi settori dovrebbero controllare e migliorare la durata di erogazione di un servizio attraverso metodi interni, che non coinvolgono il consumatore, e esterni, che coinvolgono i consumatori.

I metodi interni includono la regolazione e la riorganizzazione del sistema di consegna. Ad esempio, un ristorante potrebbe gestire in maniera più efficace il servizio ai tavoli per incrementare la velocità e il ricambio dei clienti, o un albergo potrebbe agire sugli arrivi previsti dei consumatori, quindi sulla previsione del numero di clienti che arriveranno in un determinato giorno e richiederanno un soggiorno di una certa lunghezza, o sull'implementazione di un controllo dell'inventario più rigido (per esempio, i controlli sulla durata del periodo di permanenza o l'overbooking).

I metodi esterni includono tasse e garanzie di prenotazioni (per esempio, le prenotazioni di aerei e di albergo sono garantite da una carta di credito), oppure restrizioni sul comportamento dei consumatori (ad esempio, i clienti di un albergo che lasciano l'albergo in ritardo devono pagare una tassa aggiuntiva).

Molte aziende hanno deciso di gestire la durata internamente, per non intaccare la soddisfazione del cliente.

Il prezzo determinato in base alla variazione della domanda (domanda alta prezzo alto, domanda bassa prezzo basso) ha avuto successo in un gran numero di industrie ed è basato sulla premessa della discriminazione del prezzo.

Gli economisti sostengono che segmenti differenti di clientela hanno bisogni e elasticità di prezzo differenti e che i prezzi ed i servizi dovrebbero essere destinati a

soddisfare le loro esigenze. Offrendo prezzi multipli, essenzialmente per lo stesso servizio, le aziende possono aumentare il rendimento riducendo l'eccedenza di costo per il consumatore. Nonostante i vantaggi legati all'attuazione delle politiche brevemente descritte, molte aziende sono spesso riluttanti ad effettuare tali pratiche a causa dell'effetto potenzialmente negativo sulla soddisfazione del cliente. Per massimizzare, in modo profittevole, l'utilizzo della loro capacità, molti fornitori di servizi hanno complessi sistema di prezzi, ottenuti con l'ausilio di un calcolatore.

Tali sistemi, tra cui i sistemi di revenue management (SRM), impiegano tecniche che includono sconti sui primi acquisti, limitate vendite iniziali a questi prezzi scontati e l'overbooking della capacità [26, 51]. I sistemi di revenue management sono stati sviluppati per la prima volta nella metà degli anni 80 nell'industria aerea. L'obiettivo base è quello di modificare il prezzo nel tempo, in modo da utilizzare tutta la capacità disponibile per soddisfare le richieste. Un albergo, ad esempio, potrebbe far pagare un prezzo pari a 100 euro per una certa data in futuro. Se l'albergo per quella data satura la propria capacità, l'adozione del sistema di revenue management determina un aumento di prezzo per il numero limitato di stanze rimanenti. SRM sofisticati modificano i prezzi, in base al numero di prenotazioni iniziali, e di solito le prenotazioni non vengono più accettate se si supera il numero di stanze disponibili. In pratica, il SRM tende a soddisfare la domanda partizionando il tempo in periodi discreti, facendo pagare prezzi scontati nei primi periodi, e riservando della capacità per i periodi successivi, utilizzando delle restrizioni sulle vendite nei periodi iniziali. Ad esempio, un SRM potrebbe dividere il tempo per comprare un biglietto aereo in 3 periodi: 21 giorni prima del volo, 7-21 giorni prima del volo, nei 7 giorni prossimi al volo. I prezzi spesso variano da periodo a periodo, per esempio, 200, 250 e 300 euro, rispettivamente. Implementare tali strategie di prezzo non è semplice e richiede la disponibilità di sofisticati SRM (ad esempio HERO e AIRMAX) per partizionare il tempo, stabilire i prezzi e i limiti per le vendite ad ogni tariffa.

Un SRM è costruito soprattutto su una base di ricerca operativa, di marketing e economia. Nel definire le diverse strategie di prezzo bisogna considerare quali fattori influenzano la profittabilità di tale strategia, quando i prezzi delle vendite in anticipo potrebbero superare i prezzi dell'acquisto *last-minute* e viceversa, quando è profittevole limitare le vendite in anticipo e riservare della capacità per gli arrivi *last-minute*. Le risposte a queste domande dovrebbero interessare i fornitori di

servizi che stanno considerando di adottare SRM. Un altro metodo per poter classificare le aziende che utilizzano il revenue management è quello di considerare il valore che ogni cliente associa al prodotto/servizio e il modo in cui si verificano le richieste dei clienti per quel prodotto/servizio.

I sistemi di revenue management dipendono essenzialmente da due fattori: la valutazione del servizio o del prodotto da parte del cliente e la natura degli arrivi degli utenti che richiedono il servizio/prodotto. Possiamo definire due segmenti di mercato, che variano in base alla valutazione del consumatore, e tre classi di servizio, basate sulla natura degli arrivi.

Consideriamo, ad esempio, un mercato composto da due segmenti, dove uno dei segmenti ha una più alta valutazione del servizio rispetto all'altro.

Il segmento che associa un valore maggiore al servizio è disposto a pagare di più per usufruirne. Di solito questo segmento viene indicato come il segmento *insensibile al prezzo (price-insensitive)*, nel senso che considera più importanti altri fattori. L'altro segmento, invece, è il segmento di mercato *sensibile al prezzo (price-sensitive)*.

In base alla natura degli arrivi dei clienti le classi di servizio che si possono individuare sono le seguenti.

Gruppo 1: In questo gruppo possono essere incluse quelle attività che prevedono che i primi arrivi siano clienti appartenenti al segmento price-sensitive (cioè, i clienti con una più bassa valutazione del servizio o prodotto interessati ai bassi prezzi di prenotazione). I consumatori che richiedono prima il servizio o prodotto sono disposti a pagare meno di quelli che comprano dopo.

La clientela appartenente al segmento *price insensitive* invece, arriva, dopo oppure ha una maggiore preferenza nell'acquistare successivamente (cioè, per questo tipo di segmento acquistare in un periodo precedente risulterebbe meno vantaggioso in termini di flessibilità). Esempi dei servizi appartenenti a questo gruppo includono le linee aeree, gli alberghi e i servizi di noleggio di auto.

Gli studi

sull'argomento suggeriscono che i primi arrivi, nel caso di linee aeree, sono generalmente individui o famiglie che hanno pianificato le loro vacanze o altri viaggi personali in anticipo, per i quali ha un costo bassissimo l'impegno

di prenotare con largo anticipo mentre inciderebbe negativamente un più alto costo di acquisto successivo. Di solito questi tipi di servizi si ritrovano nel settore dei trasporti dove ci sono sempre i clienti che viaggiano per lavoro che richiedono il servizio dopo gli altri clienti e che determinano questi tipi di differenziazioni.

Gruppo 2: Questi servizi prevedono che i primi arrivi siano quelli del segmento price insensitive (cioè, i consumatori con relativi prezzi di prenotazione più alti). In questo caso, i clienti che arrivano prima sono disposti a pagare di più di quelli che comprano dopo. Esempi di servizi appartenenti a questa classe includono attività quali il panettiere, i servizi relativi alla telefonia cellulare, e le vendite al dettaglio di alta moda. I primi clienti che arrivano in un pastificio, al mattino, sono i più motivati e vogliono avere a disposizione la più ampia disponibilità e possibilità di scelta di torte e di dolci, per un'importante festa che si terrà in serata. I primi clienti che entrano in un negozio di telefonia o di articoli di alta moda sono i più desiderosi di acquistare quegli articoli, rivelando molta disponibilità nell'affrontare tutte le possibili condizioni di acquisto. Gli altri clienti arrivano dopo presumibilmente perché essi hanno meno bisogno di quel servizio/prodotto. Quindi, coloro che arrivano dopo saranno anche meno disposti a pagare un prezzo alto, al contrario dei primi.

Gruppo 3: Questi servizi riguardano gli arrivi dei clienti non legati ai prezzi di prenotazione. I clienti che arrivano prima sono disposti ad avere prezzi simili di prenotazione di quelli che arrivano dopo. Per questa classe, il tempo di arrivo non è legato al tipo di segmento. Ad esempio servizi di catering, servizi di riparazioni e servizi di giardinaggio. Gli arrivi dei clienti sono generalmente casuali rispetto ai prezzi di prenotazione. Nel caso di servizi di catering, i clienti che arrivano in ritardo (e che vogliono servizi immediati) sono quei clienti che hanno un grande bisogno del servizio. Tuttavia, è anche possibile che i clienti che prenotano il servizio molto in anticipo, lo facciano per usufruire del servizio in uno specifico momento futuro, ma con un uguale bisogno del servizio dei clienti precedenti. In questo caso, la mancanza di differenza nei prezzi per prenotazione che arrivano più o meno in anticipo nel

tempo, impedisce di utilizzare il tempo di arrivo per dedurre la disponibilità di un cliente a pagare un prezzo più o meno alto per il servizio.

Il sistemi tradizionali di revenue management vengono applicati con maggiore successo, producendo notevoli vantaggi, ai servizi del primo tipo. La tabella in figura 2.2 riassume le caratteristiche delle tre classi di servizio descritte in precedenza.

		<i>Segmento insensibile al prezzo</i>	
		<i>Preferiscono arrivare dopo (alto costo di prenotazione)</i>	<i>Preferiscono arrivare prima (basso costo di prenotazione)</i>
<i>Segmento sensibile al prezzo</i>	<i>Preferiscono arrivare prima (basso costo di prenotazione)</i>	Gruppo 1	Gruppo 3
	<i>Preferiscono arrivare dopo (alto costo di prenotazione)</i>	Gruppo 3	Gruppo 2

Figura 2.2: Esempio di classificazione delle attività di Revenue Management

2.1 Industria Aerea

La storia dell'industria aerea inizia nel 1914 con Tony Jannus, pilota di aerei che fece volare il primo passeggero da St. Peterburg a Tampa. Con un semplice calcolo standard venne calcolato un costo per ciascuna persona per miglio percorso, di conseguenza venne fissato un costo del biglietto di \$5 per persona e un addizionale di \$0.05 per sterlina per persona fino ad un massimo di 200 sterline, che includeva il peso della persona e quello dei bagagli.

Il primo Maggiore di St. Petersburg, A.C. Pheil offrì \$400 per essere il primo passeggero, questo mette ben in evidenza che il valore del prodotto (posto in un aereo) non è lo stesso ma varia in relazione alla percezione che ogni singola persona ha del bene stesso.

La distinzione tra il valore e il prezzo è alla base del *core business*, proprio perchè tutti possono essere beneficiari del libero mercato di prodotti, servizi. Le compagnie aeree, usando tecniche di massimizzazione del rendimento, non fanno

altro che stabilire differenti valori di uno stesso prodotto da vendere a differenti persone.

La Jannus airlines non ebbe molto successo anche a causa della stagionalità del servizio. A metà del 1930 l'aereo non era ancora un mezzo di trasporto popolare e la maggior parte della popolazione americana lo utilizzava per inviare la posta.

Nel contempo, l'industria aerea cominciò a costruire nuovi aerei più confortevoli, crescendo sempre di più tanto che il Governo degli Stati Uniti focalizzò la sua attenzione in questo settore.

Nel 1938 il Presidente Franklin D. Roosevelt firmò l'Atto Civile Areonautico, esso stabilì una agenda di governo, la CAB (*Civil Areonautic Board*), che ebbe come obiettivo quello di regolare i costi, le rotte e la frequenza dei voli.

In particolare, fu definito un singolo prezzo per un dato volo, calcolato secondo la teoria del costo-base: si definì il prezzo come combinazione del costo e del profitto. I prezzi calcolati, però erano lontani dalle possibilità economiche di più persone, infatti molti voli in partenza erano vuoti e questo fu percepito come un'opportunità di rendimento perso. A questo punto molte compagnie aeree cominciarono a offrire prezzi più bassi rispetto alle compagnie presenti sul mercato.

Nel 1940, la United Airlines offrì posti a basso costo per il voli da San Francisco a Los Angeles. Nel 1948 Capital Airline offrì prezzi scontati per le tratte Chicago-New York. Fu proprio la Capital Airlines che introdusse l'idea della *seconda classe* con prezzi differenti rispetto alla prima classe, già presente. Questi esperimenti portarono un maggior numero di richieste da parte dei consumatori. Ovviamente la CAB non parlava di *low cost*.

Dal 1949 molte compagnie aeree cominciarono ad offrire prezzi differenziati. La United Airlines non operò sul mercato per un bel pò di tempo, perchè i suoi aerei vennero utilizzati nella Seconda Guerra Mondiale.

Nel 1950 la Pacific Southwest Airlines riprese le attività delle United Airlines, infatti offrì voli low cost tra San Francisco e Los Angeles. Nel frattempo venne modificata anche la CAB che regolamentò i low costs. Questo portò ad un mercato altamente competitivo.

Nel 1960 le compagnie aeree riconobbero i benefici dei low costs, che vennero applicati ai voli in certe ore del giorno, in certi giorni della settimana catturando parecchi clienti. Non c'era nessun vero controllo sul numero di posti da riservare

a tariffe basse, per cui dovevano cercare delle politiche economiche convincenti per l'approvazione della CAB.

Nel corso degli anni si è verificata una successione di eventi nell'industria della linea aerea che ha influenzato il processo di implementazione delle nuove tecniche di revenue management: le tariffe super-scontate negli ultimi anni del 1970 e la deregulation degli schemi e dei prezzi nel 1979. Le compagnie aeree interne non erano soggette a controlli federali per cui la CAB dovette adeguarsi.

Le grandi compagnie aeree, come l'American Airlines che cominciò a perdere quote di mercato a causa delle piccole compagnie low costs, si trovò di fronte ad aerei mezzi vuoti ecco che pensò, nel 1977, di introdurre una nuova politica dei prezzi chiamata *Super Saver Fares*, che consisteva nell'utilizzare sconti per prenotazioni che dovevano essere fatte 21 giorni prima della partenza.

La flessibilità del tempo garantì alla compagnia clienti sensibili e non sensibili al prezzo. Obiettivo della compagnia aerea era quello di trovare il numero di posti ottimale da associare alle tariffe basse e quello da associare alle tariffe piene. Questo perché da un lato vendere a prezzo pieno implica la possibilità che l'aereo parta vuoto, mentre a prezzo basso si corre il rischio di diluire il rendimento. L'American Airlines fu, anche, una delle prime compagnie che sperimentò con successo il revenue management, ad oggi essa utilizza le politiche tipiche del revenue management: overbooking, allocazione di sconto, e gestione del traffico. Essa implementò i metodi di revenue management, utilizzando risorse elettroniche più sofisticate per automatizzare molte decisioni di prezzo e di gestione della capacità. Il primo sistema software scelto da tale compagnia fu il SABRE (semi-automated business research environment) implementato nel 1966. Il sistema successivo di revenue management per l'American, DINAMO (dynamic inventory e maintenance optimizer) fu implementato nel 1988. In Europa, i primi esperimenti di Revenue Management si ebbero presso la British Airways, KLM Royal Dutch Airlines, Aer Lingus offrirono tariffe simili nei primi anni '70 tra la Gran Bretagna e l'Olanda e la Gran Bretagna e l'Irlanda.

L'esplosione del Revenue Management si ebbe con Littlewood nel 1972 [32] definì una regola di decisione che avrebbe aiutato la British Airways ad accettare il numero ottimale di prezzi scontati in un ambiente con solo due prezzi. L'allocazione dell'inventario e la gestione del prezzo furono cruciali per una buona performance per la massimizzazione del rendimento, ovviamente queste dipende

da una buona analisi dei dati che stabiliscono le caratteristiche di ciascun volo. E' possibile osservare con un semplice esempio che offrendo due o più prezzi scontati si ha un aumento sostanziale del rendimento. Nella figura 2.3 mette in evidenza come il numero di clienti aumenta decrementando i prezzi e viceversa.

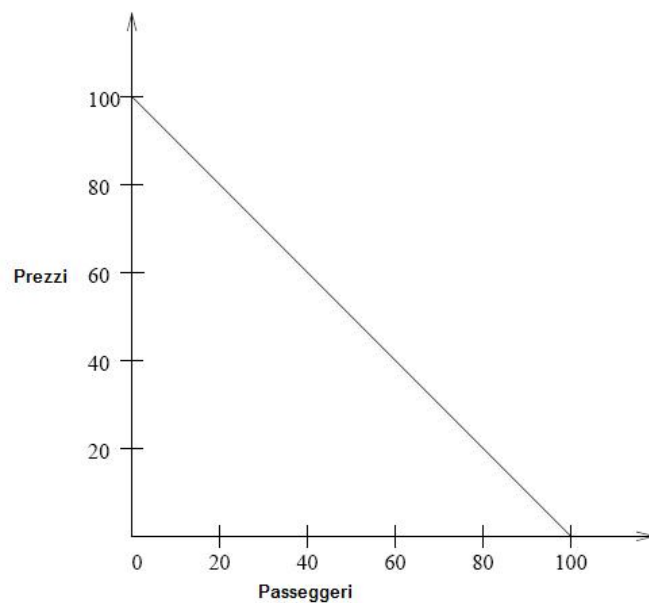


Figura 2.3: Numero di Passeggeri al variare del Prezzo del Biglietto Aereo

Data la curva di domanda in figura 2.3, nel caso in cui un'azienda offre un solo prezzo, il massimo rendimento si ottiene in corrispondenza \$50. Graficamente in 2.4, il rendimento massimo si ottiene considerando un rettangolo con vertice sulla curva stessa e utilizzando le seguenti relazioni:

$$\text{rendimento} = (50 \text{ passeggeri}) * (\$50 \text{ per passeggero}) \quad (2.1)$$

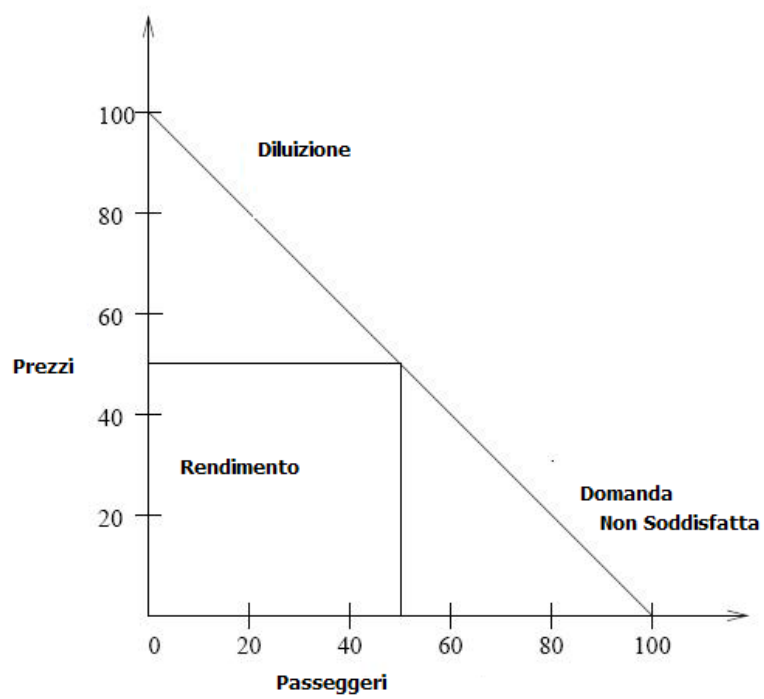


Figura 2.4: Rendimento risultante in presenza di singolo prezzo

Se le compagnie aeree hanno una diversificazione dei prezzi, esse potenzialmente possono catturare più quote di mercato, incrementando così il rendimento. Nella figura successiva 2.5 è possibile osservare il rendimento di compagnie aeree che offrono quattro tariffe differenti.

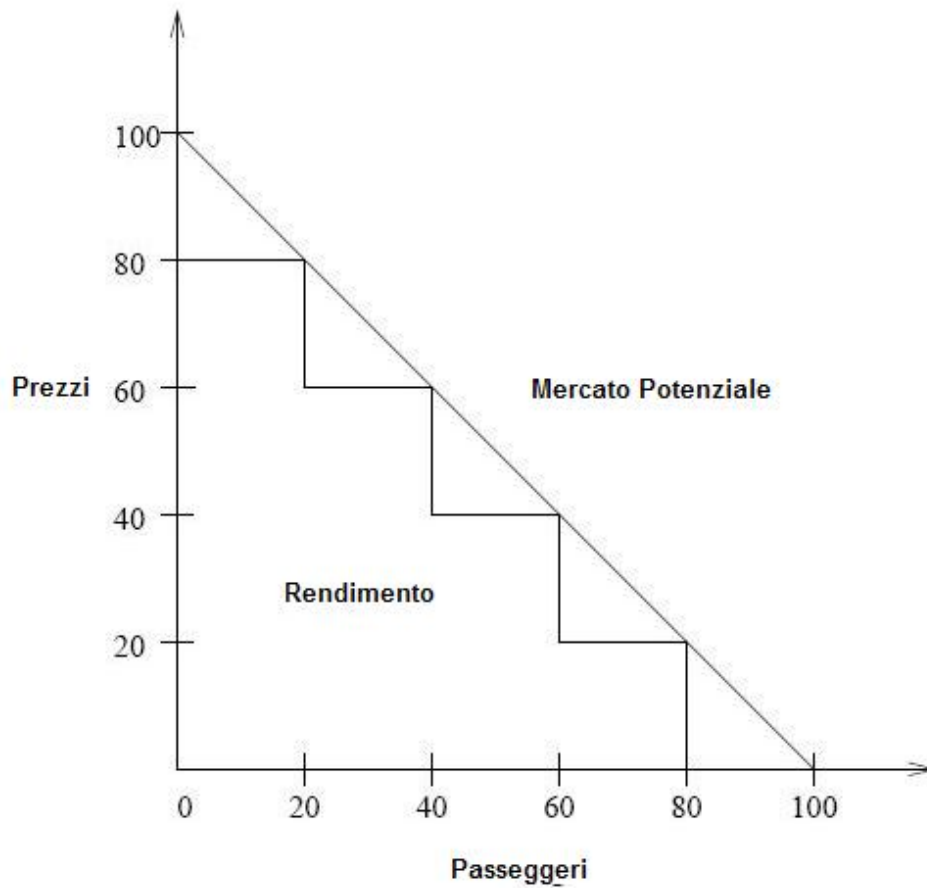


Figura 2.5: Rendimento risultante per Aziende con 4 Prezzi Differenti

Nel 1981 People Express iniziò ad operare nei mercati di servizio tra Newark a Norfolk, Virginia o Columbus e Ohio. In queste zone il traffico era denso ma non quello aereo. Essa non ebbe alcun concorrente. La compagnia aerea facendo politiche di low costs aveva catturato un nuovo mercato di viaggiatori che generalmente utilizzavano i bus o i treni. Nel frattempo ci fu il controattacco dell'America Airlines che portò fuori dal Mercato la People Express. La compagnia di bandiera americana ebbe molto successo con *Super Save*, che portava il cliente ad essere sensibile al tempo di prenotazione, e fu anche molto importante per le politiche di revenue management, che si basano sulle tecniche di overbooking, diversificazione di prezzi, controllo del flusso del traffico. Nel 1992 l'America Airlines semplificò la struttura delle tariffe. La semplificazione voleva rendere meno complicata la gestione dei prezzi e del controllo dei posti. Essa offrì 3 classi di prezzo da \$195 a \$380 contro le 13 classi di prezzo precedenti. L'esperimento mostrò che le richieste dei biglietti a prezzi più alti non cambiò, ma la domanda decrementò. I clienti sensibili al tempo non erano influenzati dal decremento delle tariffe, ma la compagnia aerea decrementò il rendimento. I clienti sensibili al prezzo rifiutarono di pagare di più. Ecco perchè la compagnia decise di mantenere una struttura estremamente complessa dei prezzi [9].

2.2 Industria di Noleggio di Mezzi di Trasporto

Come il settore del trasporto, aereo anche il settore del noleggio di mezzi di trasporto possiede tutte le caratteristiche per un'ottimale applicazione delle politiche di revenue management. In realtà, in letteratura, sono poche le applicazioni di riferimento. In questa sezione si è indicato noleggio dei mezzi di trasporto in modo generico, dove non si considerano solo le auto ma anche autocarri, autoarticolati, celle frigorifere e tutti quei mezzi che possono essere utilizzati per il trasporto merci. In questo settore, però, gli unici riferimenti sono relativi alle agenzie di noleggio di auto. Le attività di noleggio offrono un'efficace alternativa di costo alla proprietà in molti settori dell'economia. L'insieme di prodotti che vengono offerti per il noleggio si estende dai semplici e meno costosi articoli quali le videocassette, i dvd, a quelli più costosi quali le automobili, i rimorchi e le attrezzature da costruzione. Al di là di alcune evidenti differenze, tutte le attività di noleggio possiedono delle caratteristiche comuni: una compagnia di noleggio acquista e mantiene un inven-

tario di prodotti che vengono usati dai clienti per un limitato periodo di tempo. In genere, le durate del noleggio sono limitate rispetto alla vita del prodotto, e i prodotti diventano disponibili per noleggi futuri anche poco dopo che sono ritornati a far parte dell'inventario. Il settore del noleggio di automezzi ha sempre subito le conseguenze dell'applicazione di bassi prezzi per l'affitto di un mezzo di trasporto passeggeri o merci. Affinché un'attività di autonoleggio fornisca alti profitti, particolare attenzione deve essere rivolta deve essere caratterizzato da una notevole attenzione alla gestione efficace dell'inventario, in modo tale da garantire la sua massima utilizzazione. Geraghty e Johnson [36] spiegano che negli ultimi anni del 1980 l'industria del noleggio auto negli Stati Uniti attraversò un periodo non felice a causa dei bassi margini di profitto. Come risultato diretto di questa situazione nel 1990 molte compagnie di noleggio furono sostituite da produttori di automobili, che noleggiavano la loro produzione in eccesso. Di conseguenza, la saturazione dell'offerta di automobili disponibili per il noleggio causò la caduta dei prezzi.

Inoltre, Geraghty e Johnson evidenziano l'irrazionalità del sistema di prezzo adottato allora nei autonoleggi. All'inizio degli anni '90, il costo di un'automobile disponibile per il noleggio in un qualsiasi autonoleggio subì un incremento. Inoltre, la domanda delle automobili prodotte in America del Nord crebbe a causa del miglioramento della qualità di tali automobili e questo, ovviamente, comportò un costo supplementare per le agenzie di autonoleggio che venivano rifornite da queste case produttrici. Inoltre, come sottolineato da Carroll e Grimes [5] dopo la "deregulation" del settore aereo la proporzione dei clienti leisure, rispetto ai clienti corporative, è aumentata e di conseguenza il settore del noleggio ha dovuto occuparsi della variazione di domanda e attuare gli opportuni cambiamenti. Ai clienti corporative si faceva pagare un prezzo fisso per noleggiare un'automobile, la cui tariffa era già stata negoziata fra la società di autonoleggio e le aziende convenzionate. Prima dell'applicazione del revenue management al settore del noleggio, la domanda raggiungeva un picco durante la settimana soprattutto in luoghi vicini agli aeroporti a causa dell'alto tasso di clienti corporative, e raggiungeva il massimo nei fine settimana nelle maggiori aree metropolitane a causa delle richieste dei clienti leisure. Nel periodo di alta domanda, ad esempio durante metà settimana, le richieste di molti clienti, diversi dai clienti corporative, venivano respinte dalla compagnia di autonoleggio, e questo, ovviamente, determinava il fatto che

nei periodi di bassa domanda il gestore del autonoleggio si ritrovava con macchine non utilizzate nel parcheggio. Inoltre, i clienti leisure potevano, e ancora possono, prenotare più di una macchina e non pagare nessuna penale per un'eventuale cancellazione della prenotazione. Come risultato di queste politiche e in assenza di revenue management, i casi di no-shows qualche volta eccedevano il 50% delle prenotazioni.

La tecnica del revenue management è stata utilizzata per la prima volta nel settore del noleggio mezzi di trasporto agli inizi del 1990. L'industria del autonoleggio presenta caratteristiche simili all'industria aerea. L'unità deperibile nell'ambito del autonoleggio è il giorno di noleggio poiché un'automobile non noleggiata in quel giorno, e quindi ferma in un parcheggio, è considerata un'opportunità di guadagno persa per sempre. La flotta è una risorsa che può essere considerata limitata, cioè il numero di mezzi a disposizione non supera alcuni livelli e non subisce cambiamenti sostanziali nel breve periodo. Inoltre, questo tipo di attività economica tende a segmentare il mercato, in base alla differenziazione di prodotto e di prezzo. Ad esempio, come in molte altre applicazioni, un modo per incrementare il rendimento è offrire tariffe scontate ai clienti sensibili al prezzo, cercando di attrarli con tariffe più alla loro portata. Tuttavia, questo modo di agire nel settore del noleggio non è così remunerativo come nel settore aereo. I metodi più comunemente utilizzati nel settore del noleggio auto per attrarre e segmentare la clientela, e soprattutto i clienti leisure, sono quindi la differenziazione dei prodotti, con l'offerta di differenti tipi di automobili, e la differenziazione di prezzo, con l'applicazione di tariffe scontate per il noleggio, ad esempio, di Sabato, le tariffe più basse per il noleggio durante i fine settimana[5]. Un'altra differenza tra l'industria aerea e l'industria dell'autonoleggio è che i clienti non sono sensibili al prezzo come nel settore aereo, questo però dipende dal basso grado di differenziazione di prezzo adottato nei autonoleggi. Inoltre, i cambiamenti di prezzo che raggiungono valori superiori a quelli della concorrenza possono influenzare drasticamente la domanda, poiché le caratteristiche che differenziano i vari autonoleggi non sono così marcate. Una delle principali differenze tra il revenue management del autonoleggio e la sua applicazione alle linee aeree è il grado con cui i prezzi cambiano[7]. Un'azienda di autonoleggio possiede classi di prezzo discrete per i differenti tipi di automobili (economy piuttosto che *luxury*) ma cambia i prezzi in modo dinamico all'interno di queste classi su base giornaliera. Nelle linee aeree

la tariffa all'interno di una classe di prezzo non varia sostanzialmente. Uno degli aspetti più importanti nell'industria del autonoleggio che non viene, perché non utile, considerato in quella aerea è la durata del noleggìo. Questo ha delle implicazioni forti per la previsione della domanda, perché c'è bisogno di informazioni sul numero di giorni per i quali i clienti noleggeranno un'auto.

2.3 La Ricerca nel Revenue Management

La ricerca nel campo del revenue management ha una lunga tradizione se si pensa al settore aereo, ma può considerarsi relativamente nuovo se si pensa ad applicazioni in altri settori. Mc Gill e Van Ryzin hanno dato una descrizione dettagliata della ricerca nelle quattro aree principali: previsione, overbooking, controllo della capacità e gestione del prezzo [33]. Ad oggi un'altra visione d'insieme sulla ricerca nel campo del revenue management è stata data da Chang et al., che descrive in modo dettagliato i contributi scientifici e le aree tradizionali e non tradizionali del revenue management [50]. Il controllo dell'inventario in presenza di più classi di prezzo ha avuto un ruolo importante nell'ambito della ricerca scientifica a partire dalla regola di Littlewood che consisteva nella scelta di accettare o rifiutare prenotazioni a tariffe scontate con l'obiettivo di migliorare la performance delle compagnie aeree [32]. Questa regola venne applicata in presenza di due classi di prezzo. Successivamente questo risultato venne esteso a più classi di prezzo da Belobaba [41], che propose l'euristica EMSR (*Expected Marginal Seat Revenue control*) che ha come obiettivo quello di individuare una strategia ottimale di prenotazione in presenza di voli a singola tratta. Questa procedura risulta ottima nel caso di due sole classi di prezzo e subottima in presenza di più classi di prezzo che assumono una ben precisa distribuzione della domanda.

Van Ryzin e McGill riformularono la EMSR in un nuovo modello EMSRb ottenendo migliori approssimazioni al limite di approssimazione ottima [43]. Molte sono state le ricerche che sono state svolte sulle tecniche ottime per la gestione della capacità come il booking limit, che si descriverà nel capitolo successivo. In quanto segue il termine booking limit e limite di prenotazione verranno utilizzati indistintamente.

Curry propose un modello di rete approssimato[10]. Vari sono stati gli approcci utilizzati per risolvere il problema di aziende in presenza di una singola

risorsa. In particolare si cita Gosavi et al. che nel 2002 definirono un modello per il controllo di capacità con singolo-risorsa, considerando più classi di prezzo, overbooking, arrivi di richieste concomitanti di clienti di classi diverse, e annullamenti casuali e classi-dipendenti [3]. Successivamente nel 2003, Bertsimas e Shioda presentarono due classi di modelli di ottimizzazione per il problema del ristorante. Utilizzarono un modello di programmazione stocastica intera, un modello di programmazione dinamica approssimato nel caso di un ristorante che non accetta prenotazioni. Viceversa usarono un approccio stocastico del gradiente per risolvere un modello di prenotazione statico e un approccio dinamico approssimato per risolvere dinamicamente l'assegnazione dinamica dei posti nel ristorante [12].

Nel 2005, Koide e Ishii considerarono una politica di assegnazione di stanze in un albergo in presenza di sconti, cancellazioni e overbooking, ma senza no-shows [49].

Savin et al. nel 2005 considerarono il problema dell'allocazione della capacità per un'azienda di noleggio in presenza di due classi di clienti [48]. Zhang e Cooper, sempre nel 2005, simularono il controllo dell'inventario di un insieme di voli paralleli tra una stessa origine e una stessa destinazione con la scelta dinamica dei voli da parte dei clienti [15].

I modelli per la gestione di una singola rotta non potevano essere utilizzati con l'espansione delle reti aeree *hub-and-spoke*. Ecco che la ricerca cominciò ad orientarsi verso problemi su reti. I principali approcci utilizzati furono: formulazioni di modelli matematici, sviluppo di metodi di controllo basati sui segmenti, sul virtual nesting, sui prezzi ombra. I dettagli di queste ricerche presentati nei lavori di Van Ryzin et al. nel 1999 e di Chang et al. nel 2007. De Boer et al. misero a confronto diversi modelli di programmazione lineare per il controllo dell'inventario dei posti in un aereo ed, in particolare, proposero un modello di programmazione stocastica, includendo come caso speciale un modello deterministico [16]. Feng e Xiao nel 2001 definirono il problema del controllo dell'inventario di una specifica linea aerea, la quale ha più origini, un solo *hub* e una sola destinazione. Essi proposero un modello matematico per il controllo stocastico per l'allocazione dei posti tra rotte con origini diverse e la stessa destinazione e in presenza di regole di controllo ottimo [53].

Bertsimas e Popescu nel 2003 proposero un algoritmo basato su un modello di approssimazione dinamica per risolvere problemi di revenue management su reti

dinamiche e stocastiche e osservarono che il loro modello portava a valori di rendimento più alto dei modelli di bid price [11]. Moller et al. nel 2004 presentarono un approccio di programmazione stocastica. Essi usarono scenari ad albero per approssimare la domanda di tipo stocastico. Il loro approccio non richiese alcuna assunzione sulla distribuzione della domanda o della correlazione del processo di prenotazione. Il modello di revenue management venne modellato come problema di programmazione stocastica multistadio e risolto attraverso l'uso di tool per la programmazione lineare [37]. El-Haber e El-Taha nel 2004 formularono un processo di Markov a tempo discreto, orizzonte finito, per risolvere il problema del controllo dei posti di una linea aerea a due tratte in presenza di classi di prezzo, cancellazioni, *no-shows* e *overbooking*. Inoltre generalizzarono il modello nel caso di multi-tratte. Osservarono che le soluzioni ottenute erano abbastanza vicine alla soluzione ottima [45].

Il caso degli alberghi differisce dal caso degli aerei per la struttura della rete che rappresenta la lunghezza della permanenza, in particolare la domanda per la permanenza di più notti e la lunghezza della permanenza non sono note con certezza. Un modello per rappresentare questo problema è stato presentato nel 2005 da Lai e Ng, essi svilupparono un modello di programmazione stocastica a cui hanno applicato approcci di programmazione robusta per trovare la soluzione [25]. Quest'ultimo modello è stato utilizzato, in questo lavoro di tesi, come base per rappresentare matematicamente il problema del noleggio ottimale di mezzi di trasporto.

2.4 La Ricerca e L'industria del Noleggio

La ricerca nel settore dei mezzi di trasporto non è molto vasta, nonostante sia molto simile al problema degli alberghi e in alcuni casi del settore aereo, in letteratura non sono presenti molti contributi. Secondo Chiang et al., le pubblicazioni riguardanti tale settore sono: Geraghty e Johnson [52]; Carroll e Grimmes [35]; Anderson et al. [6]; Savin et al. [48]. Nel settore di vendita e noleggio di automobili, Geraghty et al. e Carroll hanno dato una dettagliata descrizione delle tecniche di revenue management al settore di vendita e di noleggio di automobili. In particolare, essi hanno descritto rispettivamente l'implementazione del sistema di revenue management della National e della Hertz, aziende leader di noleggio. Entrambe le compagnie hanno incorporato i loro precedenti sistemi di comunicazione e di supporto alle de-

cisioni nel nuovo sistema di revenue management. Inoltre, Geraghty et al. hanno proposto algoritmi per l'implementazione dei modelli di previsione della domanda, per la pianificazione degli upgrades, di prezzo, e di overbooking. Diversamente, Anderson et al hanno proposto un nuovo approccio di revenue management nel settore del noleggio delle auto. In particolare, a partire da queste attività di ricerca è stato possibile individuare le varie caratteristiche tipiche dell'industria del noleggio di mezzi di trasporto. Nonostante il revenue management trovi le sue origini nell'industria aerea, la sua applicazione alle industrie di noleggio è più complessa. I sistemi di autonoleggio devono occuparsi di un inventario più variabile, una gestione più decentralizzata, e un più largo insieme di opzioni per i clienti rispetto ai sistemi di revenue management aerei o degli alberghi, come messo in evidenza dalla seguente tabella 2.3:

Parametri	Compagnia aerea	Albergo	Noleggio Auto
Unità di capacità	Posto	Stanza	Auto
Numero di tipi di risorse	2-3 (ad esempio posti in 1a classe o in classe coach)	2-10+	5-20+
Capacità di una locazione fissa o variabile	Fissa	Fissa	Variabile
Mobilità della capacità	Piccola	Nessuna	Considerevole
Numero di prezzi possibili per unità	Molti (3-7+)	Pochi (2-3+)	Molti (4-20+)
Durata dell'utilizzo	Fissa	Variabile	Variabile
Sconti corporativi	Occasionali	Si	Si
Capacità gestita localmente o centralmente	Centrale	Centrale/locale	Centrale/locale

Tabella 2.3: Confronto tra i Settori che utilizzano il Revenue Management

Con riferimento al settore del noleggio di auto le *previsioni della domanda* vengono divise in due categorie, la previsione della durata del noleggio e la previsione dei noleggi correnti. La prima non è altro che una previsione della domanda per i giorni, le settimane o i mesi successivi, che include le previsioni della domanda per tutte le durate di noleggio possibili offerte dalla compagnia di autonoleggio, e quindi la previsione per i noleggi di un giorno, di tre giorni, di una settimana, di un mese, ecc..

Il secondo tipo è una previsione di quante automobili saranno in noleggio in una specifica data. Tuttavia, è opportuno considerare anche il fatto che circa il 10-20% dei clienti modificheranno la durata del loro noleggio, prolungando o accorciando i giorni in cui terranno l'auto. I due livelli disaggregati di previsione della domanda permettono di raggiungere differenti risultati. In particolare, la previsione della durata dei noleggi viene effettuata per stabilire una politica ottimale di gestione delle prenotazioni, ma anche della capacità il cui utilizzo deve essere distribuito tra i noleggi di diversa durata, mentre le previsioni del numero di noleggi meno necessarie per stabilire la politica di prezzo da adottare. Inoltre, la previsione è una combinazione di una previsione di lungo termine, ricavata da un'analisi delle informazioni passate raccolte, e una previsione di breve termine che è basata sul numero di prenotazioni attese. Le misure di prestazione includono anche valutazioni relative alla domanda persa, misurata attraverso il numero di richieste respinte e gli *shoppers*, che richiedono informazioni sulle tariffe ma scelgono di non noleggiare. Inoltre, la previsione viene utilizzata anche per stabilire il potenziale numero di *no shows* e *walk-ups*. I *no-shows* costituiscono un grande problema di gestione, perché rappresentano domanda prevista persa, ma anche aumento della disponibilità di capacità. I *walk-ups*, d'altra parte, introducono opportunità significative. Un manager può evitare una situazione di sovra-vendita non accettando domanda di tipo *walk-up*. D'altra parte può gestirla stabilendo una certa quantità di inventario da mettere da parte per affrontare la situazione. Al contrario, i *managers* possono sfruttare i *walk-ups* attraverso un prezzo aggressivo per compensare il fatto di non aver seguito il processo di prenotazione e, quindi, gli inconvenienti che ne possono derivare. Un'altra caratteristica del revenue management è la necessità di *segmentare il mercato* in clienti sensibili al prezzo e clienti sensibili al tempo. In particolar modo, nel settore del noleggio auto, i clienti sono suddivisi in clienti *corporate*, simili ai viaggiatori business delle linee aeree, e i clienti *leisure*.

Come gli altri settori di servizio, anche quello del noleggio dei mezzi di trasporto, tenta di catturare una maggiore quota di mercato coinvolgendo un maggior numero di clienti *leisure*, senza però tralasciare il vantaggio sul rendimento potenziale ricavabile dai clienti che sono disposti a pagare un prezzo più alto. Inoltre, i differenti modelli di automobili differenziano le richieste dei clienti *leisure* da quelle dei clienti *corporate*. I noleggi scontati che coinvolgono la giornata di Sabato e le tariffe più basse nei fine settimana, stimolano un aumento della domanda in questi giorni in cui di solito è più bassa. La persone che hanno bisogno di un'automobile per motivi di lavoro tipicamente noleggiano auto di media grandezza, mentre i clienti *leisure* preferiscono automobili che appartengono a classi più economiche, ad esempio utilitarie.

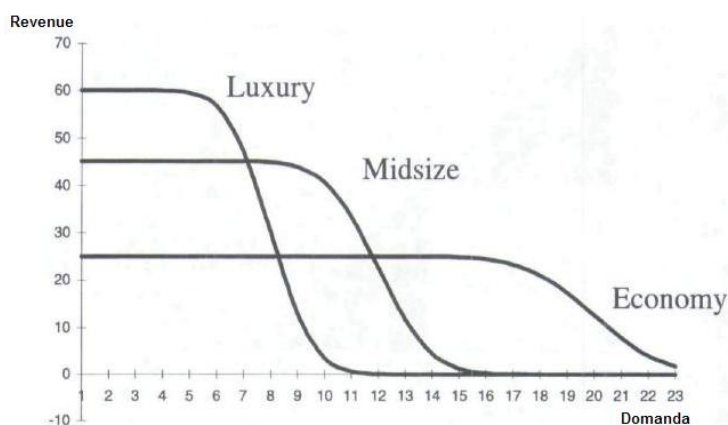


Figura 2.6: Andamento del rendimento in base al tipo di classe di servizio

In figura 2.6 è possibile osservare come vengono assegnate le auto in relazione alle classi di domanda e al rendimento atteso.

Tuttavia, bisogna dire che il settore del noleggio non ha così successo o esperienza, come quello aereo, nell'applicazione di metodi o restrizioni particolari che spingono i clienti a seguire le regole per usufruire di un servizio consono ai loro bisogni e alle loro potenzialità, ad esempio il tentativo di convincere i clienti più sensibili al prezzo [52] a prenotare in anticipo in modo da ottenere una tariffa scontata. Inoltre, le restrizioni sull'acquisto anticipato evitano la diluizione del rendimento¹. Per la pianificazione della flotta si devono considerare tutti gli aspetti appena descritti ma anche l'onere e il vantaggio per un autonoleggio di possedere un tipo di flotta piuttosto che un altro. In genere, il costo di avere un auto di medie dimensioni nella flotta è più alto per la compagnia di autonoleggio rispetto al costo di gestione di macchina economica, ma non significativamente più alto. Se però questa differenza viene inglobata nel costo di acquisto del mezzo da parte dell'agenzia di noleggio auto, ovviamente il costo di acquisto associato al primo tipo di auto sarà maggiore di quello del secondo tipo, così come se la distinzione viene considerata nella definizione del prezzo di noleggio, l'auto di medie dimensioni potrebbe avere un prezzo di noleggio più alto, ma i costi di pulizia, di parcheggio, i vari costi operativi potrebbero essere simili tra i differenti tipi di auto.

Dal momento che i più alti rendimenti si ottengono noleggiando le auto di tipo *luxury*, la pianificazione della flotta dovrebbe essere fatta cercando di prevedere la domanda per questo tipo di auto ma anche la possibilità di ottenere più clienti, rispetto alla domanda prevista, disposti a pagare un prezzo più alto. Quindi avere un numero maggiore di auto di media grandezza in flotta, rispetto alla domanda di questo tipo di automobili, evita la possibilità di dover respingere un cliente in grado di pagare un prezzo più alto per un'auto più costosa. Inoltre, si dovrebbe, di conseguenza, diminuire il numero di auto di livello più basso. Tutto questo evita, inoltre, di rifiutare un cliente *leisure* poiché il cliente potrebbe essere accontentato con il noleggio di un'auto di livello superiore ad un prezzo minore (politica di *upgrades*), piuttosto che perdere l'opportunità di guadagno lasciando i mezzi inutilizzati. Come vedremo in seguito, questo tipo di politica è difficilmente adottato nei casi reali di noleggio dei mezzi di trasporto.

¹termine usato per descrivere il possibile rendimento perso fornendo un servizio a prezzo basso a un certo numero di clienti in grado di pagare un prezzo più alto.

La pianificazione degli *upgrades* coinvolge la definizione della capacità disponibile. Ad esempio, un cliente leisure che noleggia un'auto di media grandezza invece di un'auto economy, perché non più disponibile, causa la diminuzione della disponibilità delle auto di media grandezza per tutti i giorni per cui durerà il noleggio. La previsione per i noleggi nei giorni seguenti verrà messa a punto per considerare il cambiamento e le azioni necessarie da dover affrontare se la capacità di una delle classi di auto coinvolte negli *upgrades* è già abbastanza ristretta. La Tabella 2.4 illustra quanto detto. La quantità disponibile per il noleggio nella maggior parte dei casi è maggiore della flotta disponibile, perché la domanda in eccesso viene soddisfatta comunque dalla capacità delle altre classi.

Classe	Flotta	Domanda prevista	Capacità rimanente	Domanda in eccesso	Qtà disponibile per noleggio
Full-size 4 porte	230	165	65		165
Full-size 2 porte	50	60		10	60
Mid-size	400	370	30		370
Economy	100	40	60		40
Subcompact	20	165		145	165

Tabella 2.4: Un esempio di processo di Pianificazione degli Upgrades

Anche il concetto di *nesting* è differente rispetto al settore aereo, poiché i clienti disposti a pagare un prezzo alto per avere un certo tipo di servizio non sono disposti ad accettare un servizio di classe inferiore (ad esempio, auto piccole), offerto ai quei clienti che non si preoccupano della qualità, ma piuttosto di avere un prezzo basso.

Le migliori applicazioni del revenue management al settore del noleggio offrono una soluzione anche al problema dell'overbooking che provoca, nei casi migliori, generazione di rendimenti incrementali. Geraghty e Johnson propongono un algoritmo che permette l'overbooking [35], quindi l'accettare un numero maggiore di prenotazioni rispetto alla capacità disponibile, nel sistema di prenotazione per ogni classe di auto fino a che, ad uno stabilito livello di overbooking, il costo atteso di una sovra-vendita, che magari non viene soddisfatta, è uguale al costo di un'auto ferma. L'overbooking ha un maggiore impatto nell'industria del noleggio auto. Mentre nelle linee aeree i clienti, ai quali viene annullata la prenotazione, possono volare sul prossimo volo disponibile con un incentivo quale un biglietto gratis, i clienti che prenotano un'auto non sono disposti ad accettare un tale ripiego. La previsione e la pianificazione accurata dell'overbooking è molto importante durante i periodi di picco per evitare le perdite legate ad un overbooking gestito male. Quindi conviene comunque tentare di attuare l'overbooking. Anche questo aspetto di yielding non viene applicato a pieno nei casi reali.

Il settore del noleggio è molto competitivo e, infatti, prima che le tecniche di revenue management fossero applicate in maniera profittevole alla gestione delle più importanti attività di autonoleggio, quali la National, la competizione era il fattore che guidava la determinazione dei prezzi. Era molto importante stabilire il prezzo sul livello di quello dei concorrenti nei periodi di bassa domanda, poiché una politica opposta poteva essere devastante.

Tuttavia, se si stabilisce un prezzo simile a quello della concorrenza, che però è troppo basso nei periodi di alta domanda può essere svantaggioso. Il prezzo è una funzione della previsione della domanda e della capacità disponibile[35]. Il prezzo deve essere adeguato precisamente ai cambiamenti dei due fattori. Per esempio, se la domanda eccede la capacità di noleggio il prezzo cresce, e in caso contrario decresce. Inoltre, modificare le tariffe in un certo periodo, influenza le tariffe per gli altri periodi.

Un altro modello di prezzo nel noleggio di auto, è stato proposto da Anderson,

Davison, e Rasmussen[6]. E' un approccio completamente differente da quelli analizzati in questa sezione. Inoltre, il modello non considera regole di revenue management particolari, come l'overbooking, e gli autori suppongono che il noleggio auto offra un solo tipo di prodotto, e che possano avvenire prenotazioni anche molto in anticipo. Il prezzo viene descritto da un'equazione differenziale stocastica, che permette di decidere se accettare una richiesta di prenotazione o aspettare una richiesta futura con un profitto potenzialmente maggiore ad ogni istante di tempo e ogni decisione influenza le altre.

In questo caso si tratta di una tecnica di prezzo dinamico stabilita sulle caratteristiche della variazione del prezzo stesso, mentre il caso precedente vede la dipendenza del prezzo dalla domanda e dalla capacità.

Capitolo 3

Modelli e Metodi di Revenue Management per il Controllo della Capacità

In questo capitolo, l'obiettivo è descrivere le applicazioni classiche delle tecniche di revenue management. In particolare, verranno analizzati i metodi basati sul controllo della capacità per una singola risorsa. Per risorsa si intende, ad esempio, il numero di posti per una singola tratta di un aereo, e per più risorse, nel caso dei posti in presenza di più tratte connesse tra loro, essi rappresentano la base di partenza per i modelli e i metodi definiti per la massimizzazione del rendimento per il noleggio di mezzi di trasporto, che saranno descritti nel capitolo 4. In letteratura, gli approcci modellistici e i metodi risolutivi sono applicati, nella maggior parte dei casi, ai problemi dell'industria aerea e degli hotels, solo negli ultimi anni sono stati utilizzati tali risultati in altri contesti. In particolare, i modelli di revenue management proposti in letteratura sono riportati nella tabella 3.1 [50]:

Approcci e tecniche	
Programmazione lineare	Cooper (2002), Miller e al. (2004), Plt (2004)
Programmazione intera	Bertsimas e Shioda (2003)
Albero degli scenari	Miller e al. (2004)
Modello di Markov	Brumelle e Walczak (2003), El-Haber e El-Taha (2004), Lindemann e al. (2004), Aviv e Pazgal (2005), Feng e Gallego (2000)
Programmazione dinamica	Bertsimas e Popescu (2003), Bertsimas e Shioda (2003), Brumelle e Walczak (2003), El-Haber e El-Taha (2004), Bertsimas e de Boer (2005a), Savin e al. (2005)
Metodi bid-price	Kraft e al. (2000)
Algoritmo del gradiente stocastico	Karaesmen e van Ryzin (2004), Bertsimas e de Boer (2005a)
Programmazione stocastica	Lai e Ng (2005)
Simulazione	Oliveira (2003), Anjos e al. (2004), Kimes e Thompson (2004), Zhang e Cooper (2005), Bertsimas e de Boer (2005a)
Approccio teoria dei grafi	Kuyumcu e Garcia-Diaz (2000)
Learning Approach	Gosavi e al. (2002)
Adaptive algorithm	van Ryzin e McGill (2000)
Algoritmo di machine learning	Neuling e al. (2004)
Ottimizzazione matematica gerarchica	Cote e al. (2003)
Algoritmo del punto fisso	Friesz e al. (2005)
Approccio tempo continuo	Kosten (1960)
Ottimizzazione robusta	Koide e Ishii (2005), Lai e Ng (2005)

Tabella 3.1: Approcci per problemi di revenue management

3.1 Modelli e Metodi per il Controllo di Capacità a Singola Risorsa

In questa prima parte di analisi dei modelli e metodi di revenue management, sono stati presi in esame i modelli basati sul controllo della capacità in presenza di una singola risorsa. Due esempi tipici sono: la vendita dei posti su una singola tratta di un aereo e la vendita di stanze di un hotel per una certa data ad un certo prezzo. Nella pratica, i modelli basati sulla quantità sono spesso utilizzati per affrontare problemi di *network revenue management*, che comunque vengono risolti considerando una risorsa per volta. Ecco perché spesso risulta importante analizzare i modelli a singola risorsa, perché vengono, spesso, risolti nelle singole fasi delle euristiche che risolvono i modelli a più risorse.

Si suppone di considerare un'azienda che vende il singolo prodotto o servizio secondo n-classi di prezzo distinte. Ad esempio, se si pensa alle compagnie aeree e agli hotels, queste classi di prezzo non sono altro che i livelli di sconto con condizioni di vendita differenziate e vincolate da opportune restrizioni. I prodotti saranno venduti in distinti e mutuamente esclusivi segmenti di mercato. Le unità di capacità sono assunte essere omogenee e i clienti richiedono una singola unità di capacità per ciascuna risorsa. Obiettivo di questa classe di modelli è di allocare in maniera ottimale la capacità della singola risorsa per ogni classe di prezzo. L'allocazione deve essere fatta dinamicamente così come dinamico è l'arrivo della domanda. Le industrie di viaggio utilizzano nella maggior parte dei casi dei sistemi informatici per la prenotazione, con diversi meccanismi di controllo della disponibilità. Ovviamente i meccanismi dipendono dal sistema spesso costoso e difficile da cambiare. I modelli si differenziano in relazione al tipo di controllo di capacità utilizzato. Di seguito, vengono descritte brevemente le principali politiche di controllo:

- **Booking Limits:** sono controlli che limitano la quantità di capacità che può essere utilizzata per una particolare classe di prezzo in un certo istante di tempo. Per esempio, un limite di prenotazione di 18 unità per la classe di prezzo 2 indica che al più 18 unità possono essere vendute ai clienti di classe 2. Un booking limit partizionato prevede di dividere la capacità disponibile in blocchi separati di capacità, uno per ciascuna classe di prezzo, e vendibile

solo per quella classe prefissata di prezzo. Diversamente, un *booking limit nested* sovrappone in modo gerarchico la capacità disponibile per ciascuna classe di prezzo dove le classi con il prezzo più alto possono accedere a tutta la capacità riservata alle classi di categoria più bassa. Ovviamente molti sistemi di prenotazioni utilizzano la seconda possibilità. In quanto segue, la politica di booking limit o limite di prenotazione verranno utilizzati indistintamente.

- **Protection Levels:** il livello di protezione indica la quantità di capacità da riservare per una particolare classe di prezzo o per un insieme di classi di prezzo. Come per il booking limit, anche in questo caso, si può avere un livello di protezione partizionato e 'nested'. Nel primo caso, si ottiene una strategia molto simile al booking limit, nel secondo caso, le classi vengono ordinate in modo gerarchico, ad esempio la classe 1 è la classe più alta, la classe 2 la seconda più alta e così via. In generale, il livello di protezione della classe j , denotata come y_j , rappresenta la quantità di capacità da riservare alla classe $j, j - 1, \dots, 1$. È possibile definire la relazione tra il booking limits e il livello di protezione. In particolare, se si indica con b_j il booking limit per la classe j , con y_{j-1} il livello di protezione per la classe di categoria più alta, con C la capacità totale disponibile, allora risulta valida la seguente condizione:

$$b_j = C - y_{j-1}, j = 2, \dots, n \quad (3.1)$$

dove $b_1=C$ e $y_n=C$.

In quanto segue, la politica protection level o livello di protezione verranno utilizzati indistintamente.

- **Bid Price:** questo tipo di controllo si basa sul valore di rendimento e non sulla classe di capacità. In generale, una politica di controllo di tipo bid price ad ogni passo valuta se il rendimento associato ad una certa richiesta è maggiore rispetto al valore marginale della risorsa, allora la richiesta è accettata, altrimenti è rifiutata. Il bid price potrebbe essere utilizzato per implementare

la politica di allocazione 'nested' della capacità, se il costo ombra è funzione della capacità rimanente. Il vantaggio consiste nell'utilizzare il valore di rendimento piuttosto che le classi. In quanto segue il termine bid price, prezzo ombra, costo marginale verranno utilizzati indistintamente .

- **Opportunity Cost:** tale tipo di controllo consiste nel confrontare il rendimento unitario atteso per una certa richiesta per una certa risorsa, che arriva ad un certo istante di tempo t , con il valore marginale di *opportunity cost* rispetto alla capacità residua x al tempo t , $\Delta V_t(x) = V_t(x) - V_t(x - 1)$, ovvero la differenza tra il valore ottimale atteso di rendimento considerando la capacità residua x e il valore ottimale atteso di rendimento quando la capacità residua si decrementa di un'unità $x - 1$.

Nelle figure 3.1 e 3.2 sono riportati alcuni esempi numerici, descritti in precedenza, per le politiche di controllo che utilizzano i limiti di prenotazione, i livelli di protezione e i costi marginali.

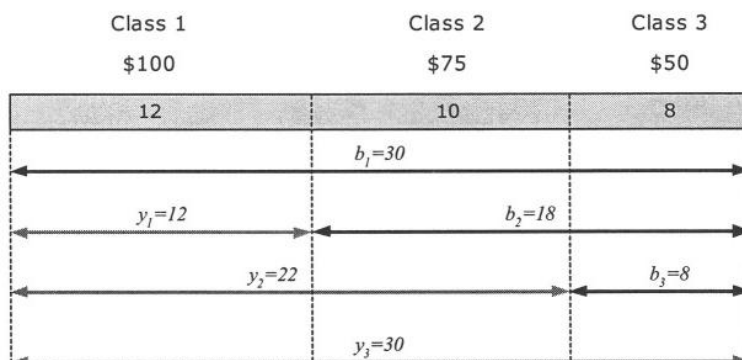


Figura 3.1: Limiti di Prenotazioni e Limiti di Protezione

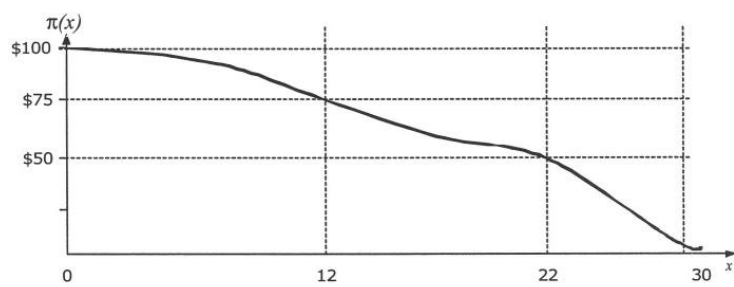


Figura 3.2: Politica di Controllo utilizzando i costi marginali

3.2 Modelli Statici

I primi modelli di allocazione della capacità per una singola risorsa sono di tipo statico. Nel caso dei modelli statici, si assume che la domanda associata a ciascuna classe di prezzo arrivi in differenti intervalli di tempo; possa essere rappresentata mediante una variabile aleatoria indipendente; non dipenda dalla capacità disponibile associata alle altre classi. Infine si ipotizza, che non ci siano gruppi di prenotazione e nel caso dovessero presentarsi possono essere gestiti utilizzando modelli più complessi. Tali modelli possono essere classificati come modelli neutrali al rischio.

Il modello a due classi di Littlewood's [32] è il più conosciuto in letteratura ed è un modello basato sulla quantità. In particolare, si considerano due classi di prodotto con associate rispettivamente il prezzo p_1 e p_2 . La capacità è C e non sono ammissibili cancellazioni e overbooking. La domanda per ciascuna classe j è definita come D_j , e la distribuzione della domanda è $F_j(\cdot)$. La domanda per la classe 2 arriva prima. Il problema consiste nel decidere quante richieste di classe 2 accettare prima di valutare le richieste di classe 1. Questo modello è molto simile al 'NewsBoy problem'¹. La soluzione del problema avviene attraverso una semplice analisi marginale. Si suppone di avere x unità di capacità residua e di ricevere una richiesta di classe 2. Le possibili scelte sono due: accettare la richiesta ottenendo un valore di rendimento pari a p_2 ; non accettare la richiesta; in questo caso l'unità di capacità sarà venduta al prezzo p_1 se e solo se la domanda di classe 1 è maggiore o uguale a x . Il guadagno atteso riservando la x -ma unità di classe 1 è $p_1 P(D_1 \geq x)$. Di conseguenza per poter accettare una richiesta di classe 2 il suo prezzo deve essere maggiore del valore marginale calcolato precedentemente, ovvero deve risultare valida la seguente condizione:

$$p_2 \geq (p_1 P(D_1 \geq x)) \quad (3.2)$$

Conoscendo il livello di protezione ottima per la classe 1, y_1^* , allora la richiesta di classe 2 verrà accettata se la capacità residua è maggiore y_1^* e verrà rifiutata in caso contrario, ovvero:

¹Quante copie di giornali potrà vendere oggi, con l'obiettivo di massimizzare il profitto?

$$p_2 < p_1 P(D_1 \geq y_1^*) \quad (3.3)$$

e

$$p_2 \geq p_1 P(D_1 \geq y_1^* + 1) \quad (3.4)$$

Indicando con $F_1(x)$ la funzione di distribuzione continua della domanda, allora le condizioni indicate precedentemente possono essere ridefinite nel seguente modo:

$$p_2 = p_1 P(D_1 > y_1^*) \quad (3.5)$$

equivalentemente

$$y_1^* = F_1^{-1}\left(1 - \frac{p_2}{p_1}\right) \quad (3.6)$$

Quest'ultima formula è detta regola di Littlewood. Alternativamente è possibile utilizzare una politica di *bid price* tale per cui, le espressioni precedenti possono riscritte come segue:

$$\pi(x) = p_1 P(D_1 > x) \quad (3.7)$$

3.3 Modelli Dinamici

Date n classi di prezzo per una singola risorsa, dove il numero delle classi è superiore a 2. Nel caso dei modelli dinamici la domanda per le n classi arriva in n diversi istanti di tempo o stati, uno per ciascuna classe; le richieste arrivano in ordine di classe per massimizzare il rendimento. Le classi di prezzo sono indicizzate e i prezzi sono in ordine crescente $p_1 > p_2 > p_3 > \dots > p_n$. La domanda per la classe di prezzo n arriva nel primo istante di tempo (stato n), seguito dalla classe $n - 1$ all'istante $n - 1$ e così via. La domanda e la capacità sono discrete anche se possono, in opportuni casi, essere considerate continue. Questo problema può essere formulato come un problema di programmazione dinamica in stadi, ossia le classi, in cui la variabile di stato è la capacità rimanente x . All'inizio di ciascuna

istante di tempo j , le domande D_j, D_{j-1}, \dots, D_1 , non sono state realizzate. In corrispondenza del generico istante j si ha:

1. la realizzazione della domanda D_j ;
2. si decide se soddisfare una certa quantità u di domanda; la quantità soddisfatta deve essere minore della capacità residua, ovvero $u \leq x$. Il controllo ottimo u^* è funzione dello stato j , della capacità x e della domanda D_j , $u^* = u^*(j, x, D_j)$;
3. il rendimento $p_j^* u$ è memorizzato e la procedura viene reiterata a partire dallo stato $j - 1$ con una capacità pari a $x - u$.

Sia $V_j(x)$, il valore di funzione obiettivo all'istante j . Una volta osservato il valore di domanda D_j , il valore di u è scelto in modo tale da massimizzare il rendimento allo stadio corrente sommato al valore di rendimento nel caso in cui l'unità u venga venduta allo stadio precedente:

$$p_j u + V_{j-1}(x - u), \quad \text{con } 0 \leq u \leq \min(D_j, x) \quad (3.8)$$

Il valore di funzione obiettivo allo stadio j è $V_j(x)$, che rappresenta il valore di rendimento atteso rispetto alla domanda D_j , è stato definito secondo l'equazione di Bellman, indicata di seguito:

$$V_j(x) = E\left[\max_{0 \leq u \leq \min(D_j, x)} (p_j u + V_{j-1}(x - u))\right] \quad (3.9)$$

All'istante 0 il rendimento è nullo, $V_0(x) = 0$, $x = 0, 1, \dots, C$. Il valore u^* , che massimizza l'equazione di Bellman a ciascun istante di tempo, e il valore di capacità x rappresentano una politica ottima per il modello dinamico.

3.3.1 Politica Ottima con Domanda e Capacità Discreta

Nel caso in cui la capacità e la domanda risultassero discrete, è possibile definire il valore atteso marginale di capacità allo stadio j secondo la seguente equazione:

$$\Delta V_j(x) \equiv V_j(x) - V_j(x - 1) \quad (3.10)$$

I valori marginali di rendimento variano al variare dello stato j e del valore di capacità x . In particolare, risulta valido il seguente risultato teorico:

Proposizione 3.3.1 *Il valore marginale $\Delta V_j(x)$ di funzione obiettivo $V_j(x)$ soddisfa $\forall x$ e $\forall j$ le seguenti condizioni:*

1. $\Delta V_j(x + 1) \leq \Delta V_j(x)$;
2. $\Delta V_{j+1}(x) \geq \Delta V_j(x)$.

A partire dalla 3.3.1 è possibile definire il problema di ottimizzazione allo stadio $j + 1$, come segue:

$$V_{j+1}(x) = V_j(x) + E[\max_{0 \leq u \leq \min(D_j, x)} (p_{j+1} - \Delta V_j(x + 1 - z))] \quad (3.11)$$

Sapendo che le classi di prezzo sono ordinate in senso decrescente, la politica di controllo ottimo può essere espressa secondo il livello di protezione ottimo, y_j^* per ogni $j, j - 1, \dots, 1$, nel seguente modo:

$$y_j^* = \max(x : p_{j+1} < \Delta V_j(x)), \quad j = 1, \dots, n - 1 \quad (3.12)$$

La politica di controllo ottimo allo stato $j + 1$ viene definita come segue:

$$u^*(j + 1, x, D_{j+1}) \equiv \min((x - y_j^*)^+, D_{j+1}) \quad (3.13)$$

In particolare si indica con $z^+ = \max(0, x)$, la parte positiva di z , con $(x - y_j^*)^+$ la capacità residua in eccesso del livello di protezione, che rappresenta la massima capacità che si è disposti a vendere dei prodotti o servizi di classe $j + 1$ (vedi figura 3.3):

Il risultato sintetizzato nella proposizione 3.3.1, implica che i livelli di protezione di tipo *nested* risultano essere in ordine decrescente:

$$y_1^* \leq y_2^* \leq \dots \leq y_n^* \quad (3.14)$$

Tutte le relazioni, viste in precedenza, sono state ridefinite utilizzando la politica del *booking limit*. In particolare, il valore del livello di prenotazione di tipo *nested* diventa:

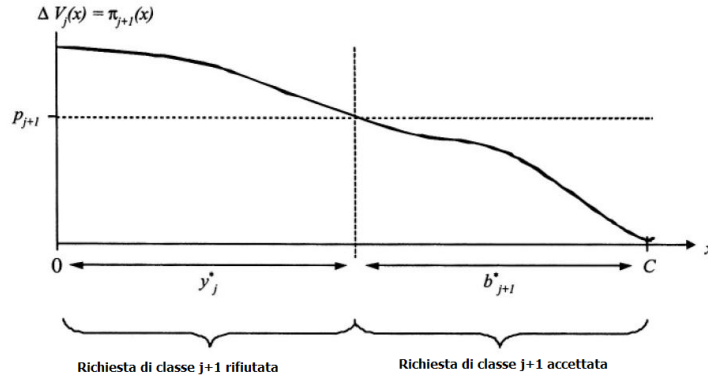


Figura 3.3: Esempio di Politica Ottima

$$b_j^* = C - y_{j-1}^*, \quad j = 2, \dots, n \quad (3.15)$$

dove

$$b_1^* = C. \quad (3.16)$$

Il valore della variabile di controllo ottimo allo stadio $j + 1$ è stata così definita:

$$u^*(j + 1, x, D_{j+1}) \equiv \min((b_{j+1} - (C - x))^+, D_{j+1}) \quad (3.17)$$

dove $(C - x)$ è la capacità totale venduta prima di $j + 1$ e b_{j+1} è il booking limit per la classe $j + 1$; quali $(b_{j+1} - (C - x))^+$ è la capacità disponibile rimanente per la classe $j + 1$. E' anche possibile definire il controllo ottimo in relazione ai costi ombra ad ogni stato j . Si definire allo stadio $j + 1$ il *bid price*:

$$\pi_{j+1}(x) \equiv V_j(x). \quad (3.18)$$

Allora il controllo ottimo viene definito secondo la seguente relazione:

$$u^*(j + 1, x, D_{j+1}) = \begin{cases} 0, & \text{se } p_{j+1} < \pi_{j+1}(x) \\ \max\{z : p_{j+1} \geq \pi_{j+1}(x - z)\}, & \text{altrimenti.} \end{cases} \quad (3.19)$$

Tale approccio di controllo ottimo, opportunamente modificato, è applicabile

in presenza di domanda continua e capacità continua.

3.3.2 Metodi di Soluzione Euristici

In letteratura i metodi di soluzione euristici sono stati utilizzati, in particolare, nei sistemi di prenotazione aerea, per il calcolo del limite di prenotazione e per il calcolo del livello di protezione.

L'euristica **EMSR-a** (*expected marginal seat revenue - version a*) [41] si basa sull'idea di aggiungere i livelli di protezione calcolati applicando la regola di Littlewood a successive coppie di classi di prezzo.

Si suppone che allo stadio $j + 1$ la domanda della classe $j + 1$ arriva al prezzo p_{j+1} , allora è possibile calcolare quanta capacità riservare alle rimanenti classi di prezzo $j, j - 1, \dots, 1$ e confrontare le classi k e $j + 1$ in modo isolato.

Avendo solo due classi, si utilizza la regola di littlewood e si calcola la capacità y_k^{j+1} da assegnare alla classe k , dove:

$$P(D_k > y_k^{j+1}) = \frac{p_{j+1}}{p_k}. \quad (3.20)$$

Ripetendo il procedimento per tutte le altre classi $k = j, j - 1, \dots, 1$, sarà possibile calcolare la capacità da riservare ad ogni classe. L'idea di **EMSR-a** è calcolare i livelli di protezione di ciascuna classe j e quelli di classe superiore. Per la classe j il livello di protezione è dato da:

$$y_j = \sum_{k=1}^j y_k^{j+1} \quad (3.21)$$

dove y_k^{j+1} è dato dalla (3.20). Il procedimento descritto viene ripetuto per ciascuna classe j . I livelli di protezione che si calcolano con questa euristica spesso sono più alti del valore ottimo.

Supponendo di avere classi aggregate, tale per cui si ha lo stesso rendimento, si applica la regola di Littlewood per ottenere il livello di protezione ottima y_j^* , come segue:

$$P(D_k > y_k^{j+1}) = \frac{p_{j+1}}{p} \quad (3.22)$$

Per ogni variabile casuale e per ogni y_k^{j+1} si ha:

$$P\left(\sum_{k=1}^j D_k > \sum_{k=1}^j y_k^{j+1}\right) \leq P(D_k > y_k^{j+1}) \quad (3.23)$$

Il metodo **EMSR-b** (*expected marginal seat revenue - version b*) è un'alternativa al metodo visto precedentemente, la differenza sostanziale sta nel fatto che viene considerato il livello di protezione aggregato, ma la domanda aggregata.

Sia lo stato $j + 1$, quello dove si vuole determinare il livello di protezione y_j , allora la domanda aggregata futura per le classi di prezzo $j, j - 1, \dots, 1$ è così definita:

$$S_j = \sum_{k=1}^j D_k. \quad (3.24)$$

Si calcola il rendimento medio pesato \bar{p}_j per ogni classe $1, \dots, j$:

$$\bar{p}_j = \frac{\sum_{k=1}^j p_k E[D_k]}{\sum_{k=1}^j E[D_k]}. \quad (3.25)$$

Allora il livello di protezione per la classe j e classi superiori, è definito secondo la regola di Littlewood:

$$P(S_j > y_j) = \frac{p_{j+1}}{\bar{p}_j} \quad (3.26)$$

Usando questo approccio euristico *EMSR-b* si assume che per ciascuna classe j la domanda è distribuita normalmente con media μ_j e varianza σ_j^2 .

In letteratura è stato osservato che la seconda euristica presenta prestazioni migliori della prima [41].

3.4 Modelli per il Controllo di Capacità per una Rete

I problemi di revenue management basati sulla quantità di più risorse è tipico del settore del trasporto aereo, del settore alberghiero, del settore turistico e dei servizi, dove i clienti comprano un insieme di risorse secondo combinazioni differenti e diverse condizioni e termini.

Ad esempio, la connotazione tipica di un'industria aerea è quella a rete. Questo per rispondere alle esigenze dei clienti che richiedono di raggiungere diverse destinazioni e per l'azienda ovviamente è necessario interconnettere tra loro le diverse rotte. Le compagnie aeree devono rispondere in modo efficace alle esigenze dei clienti, oltre che confrontarsi con le tradizionali variabili di quantità e di prezzo delle risorse.

A partire dagli anni '80 tali reti sono state concepite come *hub and spoke*. In Italia, le diverse rotte convergono nel caso dell'Alitalia su due *hub* principali che sono gli aeroporti di Fiumicino e Malpensa: costituiscono il centro di smistamento del traffico.

L'insieme di prodotti in questo settore è composto da più voli interconnessi, per esempio di andata e ritorno con passaggio da un *hub*, questo tipo di rete è indicata come **ODIF** (*Origin-Destination itinerary fare*)(3.5).

Nel caso del settore alberghiero l'insieme è composto da più pernottamenti, il compito del *revenue management* è quello di assegnare le stanze disponibili per un dato giorno ad un insieme di clienti con prenotazioni di diversa durata ed a condizioni diverse, risolvendo un problema di rete di pernottamenti(3.7).

Per definire un modello capace di allocare i prodotti o servizi richiesti, che richiedono una combinazione di risorse, è necessario definire meccanismi di controllo per gestire la capacità disponibile.

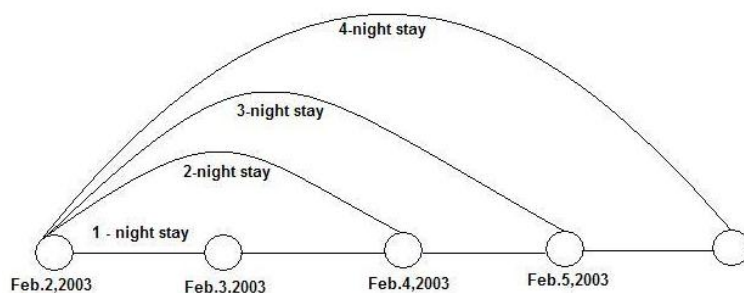


Figura 3.4: Esempio di una Rete di Pernottamenti

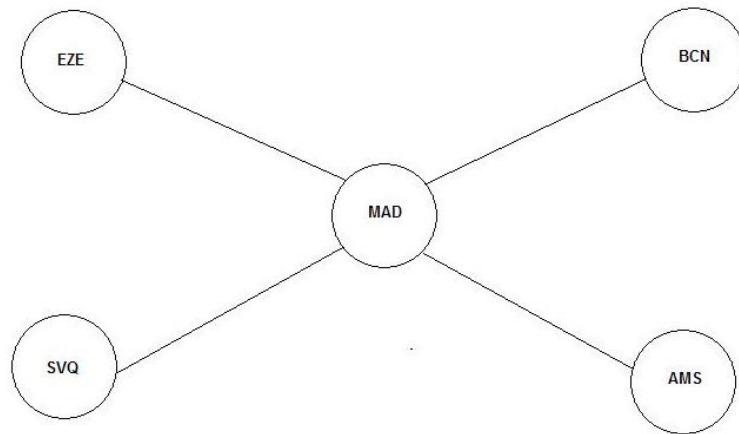


Figura 3.5: Esempio di una rete *Hub and Spoke*

Nei problemi di revenue management sulle reti, il calcolo del limite di prenotazione assegna a ciascuna risorsa, a ciascun prodotto un quantità fissa di inventario. In corrispondenza della domanda per un certo prodotto, questo meccanismo di controllo alloca, pertanto, in maniera univoca ed esclusiva unità di capacità per ogni risorsa, non permettendo di renderla disponibile per altre domande.

A fronte della chiara attribuzione vi è lo svantaggio dato dal frazionamento della capacità, che a livello pratico è molto complesso da gestire in concomitanza di domanda stocastica e, quindi, viene utilizzato raramente nella prassi aziendale.

Un'applicazione nota è quella relativa a un modello di revenue management sviluppato per il settore ferroviario. Di più facile applicazione risulta essere un meccanismo di controllo basato sul costo marginale. Tale approccio, nel caso della rete di risorse, consiste nel determinare un costo ombra per ogni risorsa della rete, cosa che risulta essere una approssimazione per il costo marginale della rete, nel caso dell'utilizzo di un ulteriore unità di capacità. Quando si manifesta la domanda essa viene confrontata con la somma dei costi marginali che corrispondono al prodotto o servizio richiesto: quando l'importo offerto risulta inferiore alla somma dei costi marginali allora la domanda viene rifiutata, in caso contrario accettata.

Il vantaggio principale dei meccanismi di controllo basati sul costo ombra dipende dal fatto che è possibile stabilire un singolo valore per ogni risorsa e per ogni prodotto, cosa che determina una notevole semplificazione in termini di parametri da modellare, sebbene debbano essere aggiornati in base a variazioni di capacità disponibili o con il passare del tempo. Altri vantaggi sono legati all'intuitività e alla facilità di implementazione di questo meccanismo, che non vanno trascurati, e che richiedono l'utilizzo di moderni software capaci di aggiornare i valori in tempo reale.

Nel settore alberghiero questo tipo di meccanismo di controllo è il più diffuso. Il primo modello, che si prende in esame, è quello di Talluri e di Van Ryzin [29] per il revenue management basato sulla quantità in una rete di risorse, che per semplicità non tiene conto di cancellazioni, di clienti che non si presentano, o di ordini da parte di gruppi di clienti.

Si parte dall'ipotesi che un'impresa venda n prodotti e la rete abbia m risorse, ogni prodotto è una combinazione delle m risorse, vendute a determinate condizioni per un dato prezzo. Quando la risorsa i è utilizzata dal prodotto j si ha $a_{ij} = 1$, altrimenti $a_{ij} = 0$. Nella matrice $A = [a_{ij}]$, la colonna j di A , indicata

con A_j , esprime l'incidenza del vettore per il prodotto j ; nella riga i , denotata con A^i , si ritrova il valore 1 nella colonna j che corrisponde al prodotto j che utilizza la risorsa i . Vi possono, quindi, essere molteplici colonne identiche quando vi sono molteplici possibilità di vendere una combinazione di risorse.

Nel settore dei trasporti aerei vi possono essere per esempio numerose classi di tariffe per la stessa tratta, rappresentate da un'identica colonna all'interno della matrice A , tuttavia con diversi valori e diversa domanda. Con A_j viene inoltre indicata la somma di risorse utilizzata dal prodotto j , mentre A^i indica la somma di risorse utilizzata dal prodotto i . Pertanto $i \in A_j$ indica che la risorsa i è stata utilizzata dal prodotto j e $j \in A^i$ indica che il prodotto j utilizza la risorsa i . Il vettore $x = (x_1, \dots, x_m)$ di risorse di capacità indica la situazione di partenza: nel momento in cui il prodotto j viene venduto si ha $x - A_j$, che è la capacità residua. Vi sono T periodi e l'indice t rappresenta il periodo attuale. La domanda nel periodo viene rappresentata dalla manifestazione di un singolo vettore stocastico $P(t) = (P_1(t), \dots, P_n(t))$, dove $P_j(t) > 0$ indica che si è verificata una domanda per il prodotto j al prezzo p_j . $P_j(t) = 0$, evidenzia che nel periodo t non vi è stata alcuna domanda.

Se vi sono per esempio $n = 2$ prodotti, allora il valore di $P(t) = (0, 0)$ indica che non vi sono state richieste, mentre un valore $P(t) = (80, 0)$ indica che vi è una richiesta per il prodotto 1 al prezzo di 80 Euro. Un valore $P(t) = (0, 95)$ indica che vi è una richiesta per il prodotto 2 al prezzo di 95 Euro. La sequenza, data da $\{P(t); t \geq 1\}$, si ipotizza essere indipendente nel periodo t con i corrispondenti prezzi dei prodotti dati da $p = (p_1, \dots, p_n)$. La decisione di revenue management basata sulla quantità nel periodo t , con la capacità residua x e la domanda attuale $P(t)$ consiste nell'accettare o declinare una certa richiesta. Questa decisione è rappresentata dal vettore $u(t)$, con $u_j(t) = 1$, se si accetta la domanda per il prodotto j nel periodo t , mentre $u_j(t) = 0$ se si rifiuta. La decisione se accettare oppure non accettare avviene in funzione della capacità residua x e del prezzo p_j del prodotto j .

3.4.1 Controllo Ottimo della Capacità

Per poter determinare la decisione ottima $u^*(t, \mathbf{x}, p)$, nel caso di problemi di revenue management basati sulla capacità di più risorse, si formula un problema di

programmazione dinamica. In particolare, se si indica con $V_t(x)$ il massimo rendimento atteso per la capacità residua x nel periodo t , allora $V_t(x)$ deve soddisfare la condizione di Bellman:

$$V_t(x) = E[\max_{u \in U(x)} \{P^T(t)u(t, x, p) + V_{t+1}(x - Au)\}]; \quad (3.27)$$

che rispettano le seguenti condizioni al contorno

$$V_{T+1}(x) = 0, \quad \forall x \quad (3.28)$$

E' necessario osservare che $V_t(x)$ è finita, per tutti valori finiti di x . Inoltre, il controllo ottimo $u^*(\cdot)$ deve soddisfare la seguente condizione:

$$u_j^*(t, x, p_j) = \begin{cases} 1, & \text{se } p_j \geq V_{t+1}(x) - V_{t+1}(x - A_j) \text{ e } A_j \leq x \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (3.29)$$

Il controllo, definito nella 3.29, è tale per cui ogni richiesta è accettata per il prodotto j al prezzo p_j se e solo se si ha sufficiente capacità residua, in particolare si ha:

$$p_j \geq V_{t+1}(x) - V_{t+1}(x - A_j) \quad (3.30)$$

E' possibile osservare che $P(t) = p_j$ è il prezzo del prodotto j . La richiesta viene accettata se il prezzo del prodotto j supera l'*opportunity cost* ottenuto riducendo la capacità della risorsa per soddisfare la richiesta stessa, rappresentato dal termine a destra della 3.30.

3.4.2 Controlli basati sui costi marginali

La regola indicata nella (3.32), conduce, naturalmente, alla definizione di una politica di controllo basata sui costi marginali di una rete di risorse. In particolare, facendo riferimento al lavoro di Simpson e Williamson, se si suppone, che per la funzione $V_{t+1}(x)$ è possibile determinare il gradiente $\nabla V_{t+1}(x)$, allora la condizione di accettare una certa richiesta per il prodotto j può essere approssimata secondo la seguente espressione:

$$\begin{aligned}
p_j &\geq V_{t+1}(x) - V_{t+1}(x - A_j) \\
&\approx \nabla V_{t+1}(x) A_j \\
&= \sum_{i \in A_j} \pi_i(t, x)
\end{aligned} \tag{3.31}$$

In particolare, se $\pi_i(t, x) = \frac{\partial}{\partial x_i} V_{t+1}(x)$, è possibile introdurre la seguente definizione.

Definizione 3.4.1 *Un controllo ottimo $u(t, x, p)$ è un controllo basato sul costo ombra se esiste un vettore di funzioni a valori reali $\pi(t, x) = (\pi_1(t, x), \dots, \pi_m(t, x))$, per $t = 1, \dots, T$, chiamati prezzi ombra risulta valida la seguente condizione:*

$$u_j(t, x, p_j) = \begin{cases} 1, & \text{se } p_j \geq \sum_{i \in A_j} \pi_i(t, x) \text{ e } A_j \leq x \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases} \tag{3.32}$$

In conclusione, un controllo secondo il costo marginale definisce un insieme di costi marginali, uno per ciascuna risorsa, a ciascun istante di tempo, e per ciascun livello di capacità, tale per cui sarà possibile accettare una certa richiesta, per un certo prodotto, se e solo se è disponibile la capacità e il prezzo è maggiore della somma dei prezzi ombra relativi a ciascuna risorsa utilizzata per il prodotto da vendere. E' necessario specificare, che malgrado la generalità della (3.32), non sempre il controllo basato sui prezzi ombra risulta ottimo. Questo dipende dal fatto che i costi ombra non tengono conto, che la vendita di una risorsa comporta un sostanziale cambiamento nel valore di capacità; inoltre i prezzi ombra possono, erroneamente, considerare costi opportunità, che in futuro diventeranno valori di rendimento dipendenti, in modo non lineare, dalla capacità utilizzata.

3.5 Modelli di Riferimento

Obiettivo di questo paragrafo è di esaminare i modelli di programmazione lineari, tipici del revenue management per problemi di rete di risorse e quelli che sono stati utilizzati come base per sviluppare i modelli introdotti nel presente lavoro di tesi. Di seguito, vengono esaminati i modelli definiti da Van Ryzin et al. [29].

3.5.1 Modello di Programmazione Lineare Deterministico

Sia data la domanda aggregata D_j (domanda sui periodi $t, t + 1, \dots, T$) che arriva ad ogni istante t e per ciascun prodotto j , con media μ_j . Sia $D = (D_1, \dots, D_n)$, il vettore della domanda, sia $\mu = E[D]$ la media del vettore della domanda.

Il modello di programmazione lineare deterministico, DLP^2 , può essere rappresentato come segue:

$$V_t^{LP}(x) = \max p^T y \quad (3.33a)$$

$$s.t. Ay \leq x \quad (3.33b)$$

$$0 \leq y \leq \mu \quad (3.33c)$$

Le variabili decisionali $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_n)$ rappresentano la capacità totale partizionata per ciascun prodotto n . La domanda è deterministica e uguale al valore medio μ . Se il modello deterministico viene risolto, si ottiene una ripartizione ottimale della capacità. Usando la disuguaglianza di *Jensen* [39, 40, 30], è possibile osservare che $V_t^{LP}(x)$ è un *upper bound* sul valore di funzione obiettivo.

La soluzione ottima del modello deterministico può essere utilizzata per costruire un controllo partizionato. Spesso, in alternativa alla soluzione primale, viene utilizzata la soluzione duale, π^{LP} , associata ai vincoli $Ax \leq x$ ossia i prezzi ombra (*bid prices*). Se la soluzione ottima non è degenere, e se i vincoli attivi sono linearmente indipendenti in corrispondenza della soluzione ottima, allora esiste $\nabla V_t^{LP}(x)$, che coincide con l'unico vettore dei prezzi ombra duali, π^{LP} ; se la soluzione ottima è degenere, allora il vettore della soluzione è più di uno, ciascuno dei quali è un subgradiente della funzione obiettivo $V_t^{LP}(x)$.

Il principale vantaggio di utilizzare un modello di tipo deterministico è che risulta più efficiente la sua risoluzione. La debolezza del DLP dipende dal fatto che non tiene conto dell'incertezza della domanda. Conseguenza di questo è che i valori duali risultano nulli per ciascuna risorsa, in corrispondenza della quale la domanda media è minore della capacità, un comportamento che potrebbe dare problemi nella pratica. Diversi studi scientifici hanno dimostrato che l'uso dei prezzi ombra, associati al modello deterministico, consente di ottenere un valore più alto di rendimento rispetto al modello non lineare probabilistico e alle diverse

²Deterministic linear programming

euristiche *EMSR*, in presenza di una singola risorsa. E' ovvio che la qualità del modello deterministico dipende dal tipo di rete, la varianza nella previsione della domanda, l'ordine in cui arrivano le richieste di un certo prodotto con un certo prezzo e dalla frequenza di riottimizzazione del sistema.

Una variazione interessante nell'uso del modello deterministico è stata indicata da Bertsimas e da Popescu [18], essi non usano come controllo della capacità i costi ombra associati al modello, ma una stima del valore marginale di fusione obiettivo per un certo valore di capacità e in un certo istante di tempo. In particolare, per ciascun prodotto j , si calcola la differenza dei valori di funzione obiettivo in presenza della j -ma risorsa e in assenza di essa, utilizzando come valore di costo marginale per il prodotto il seguente valore:

$$V_t^{LP}(x) - V_t^{LP}(x - A_j) \quad (3.34)$$

Le motivazioni principale dell'uso di tale approccio è di eliminare il problema della soluzione degenerare e di migliorare l'effetto del cambiamento discreto della capacità, ogni qualvolta si accetta una richiesta. E' stato osservato sperimentalmente che questa modifica consente di ottenere un miglioramento modesto rispetto all'uso dei prezzi ombra. Lo svantaggio di questo approccio è che per affrontare il problema relativo a n -prodotti è necessario risolvere un problema di programmazione lineare separato per ciascun di essi, incrementando così la complessità computazionale.

3.5.2 Modello di Programmazione Non Lineare Probabilistico

Il modello non lineare probabilistico, definito PNLP³, usa la seguente approssimazione:

$$V_t^{PNLP}(x) = \max \sum_{j=1}^n p_j E[\min \{D_j, y_j\}] \quad (3.35a)$$

$$s.t. Ay \leq x \quad (3.35b)$$

$$y \geq 0 \quad (3.35c)$$

La domanda D_j e il prezzo p_j hanno il medesimo significato introdotto per il

³Probabilistic NonLinear Programming Model

DLP. Le variabili decisionali $y_j, \forall j = 1, \dots, n$ rappresentano un'allocazione partizionata della capacità per ciascun prodotto j ; il termine, $E[\min \{D_j, y_j\}]$ indica le vendite attese per il prodotto j .

Il valore dell'obiettivo del *PNLP* rappresenta un *lower bound* per il valore ottimale di funzione obiettivo [39]. Questo modello, pur essendo di tipo non lineare, è semplice da risolvere; la funzione obiettivo risulta concava e separabile nelle variabili y_j e i vincoli sono lineari. Esistono vari algoritmi specializzati per separare problemi concavi. Se la domanda è discreta, il modello di *PNLP* può essere approssimato come modello lineare. Questo è possibile farlo assegnando una variabile a ciascun prodotto e a ciascuna unità di capacità. In particolare, indicando con z_{jd} la $d - ma$ unità di capacità allocata per ciascun prodotto j , il modello probabilistico può essere rappresentato matematicamente come segue:

$$V_t^{PNLP}(x) = \max \sum_{j=1}^n p_j \sum_{d=1}^{M_j} P(D_j \geq d) \quad (3.36a)$$

$$s.t. \ y_j = \sum_{d=1}^{M_j} z_{jd} \quad (3.36b)$$

$$Ay \leq x \quad (3.36c)$$

$$0 \leq z_{jd} \leq 1, \ j = 1, \dots, n, \ d = 1, \dots, M_j \quad (3.36d)$$

Dove M_j è un *upper bound* sul valore di capacità assegnata per il prodotto j .

I modelli (3.35) e (3.36) risultano equivalenti perchè si ha $E[\min \{D_j, y_j\}] = \sum_{d=1}^{y_j} P(D_j \geq d)$ e $P(D_j \geq d)$ è una funzione decrescente in d . Poichè l'approssimazione come modello lineare, richiede l'introduzione di piu' variabili; risulta conveniente risolvere direttamente il modello non lineare. Per ciò che riguarda i metodi di controllo per risolvere il *PNLP*, è possibile ottenere i valori dei prezzi ombra dalle variabili duali risultanti. Se i vincoli attivi sono linearmente indipendenti rispetto alla soluzione ottima, allora $\nabla V_t^{PNLP}(x)$ esiste ed è unico, altrimenti se i vincoli sono linearmente dipendenti allora i vettori duali sono subgradienti della funzione obiettivo $V_t^{PNLP}(x)$.

3.5.3 Modello di Programmazione Lineare di Tipo Casuale

Il modello lineare di tipo casuale, indicato con l'acronimo RLP⁴, rappresenta un modo alternativo per poter gestire la stocasticità del *DLP*. Esso ha la particolarità che il vettore della domanda \mathbf{D} è casuale. Il valore atteso della soluzione ottima ottenuta è un'approssimazione del valore di funzione obiettivo. Il modello può essere, generalmente, definito nel seguente modo:

$$H_t(x, \mathbf{D}) = \max p^T y \quad (3.37a)$$

$$s.t. Ay \leq x \quad (3.37b)$$

$$0 \leq y \leq \mathbf{D} \quad (3.37c)$$

Il valore ottimo (3.37a) è una variabile casuale. $\pi(x, \mathbf{D})$ è il vettore delle variabili duali per l'insieme di vincoli $Ay \leq x$, che risulta essere aleatorio. E' possibile considerare un'approssimazione per il valore atteso $H_t(x, \mathbf{D})$ secondo la seguente equazione:

$$V_t^{RLP}(x) = E[H_t(x, \mathbf{D})] \quad (3.38)$$

Il membro destro dell'espressione () rappresenta un'approssimazione della cosiddetta *perfetta informazione*, perchè rappresenta il caso in cui future assegnazioni (e rendimenti) sono basate sulla conoscenza precisa della domanda futura \mathbf{D} . Tuttavia, al tempo t , la domanda non è ancora realizzata, tale che il termine a destra risulta essere il valore atteso di questa *perfetta informazione*. Assumendo che il gradiente esiste, allora si avrà $\nabla_x E[H_t(x, \mathbf{D})]$ che rappresenta un vettore di prezzi ombra. E' possibile stimare il gradiente del modello *RLP* attraverso la simulazione. Un approccio utilizzato per calcolare il $\nabla_x E[H_t(x, \mathbf{D})]$ è semplicemente scambiare differenziazione con valore atteso:

$$\nabla_x E[H_t(x, \mathbf{D})] = E[\nabla_x H_t(x, \mathbf{D})] \quad (3.39)$$

Per stimare $\nabla_x E[H_t(x, \mathbf{D})]$, si utilizza una procedura semplice. In particolare, si generano k campioni indipendenti del vettore della domanda, $D^{(1)}, \dots, D^{(k)}$, e si risolve per ogni campione il modello RLP. La stima del gradiente si ottiene in base all'espressione seguente:

⁴Randomized Linear Programming

$$\pi^{RLP} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \pi \quad (3.40)$$

In altre parole, è la media delle k soluzioni duali, che dipendono dall'allocazione della domanda e dalla domanda casuale generata. Questo metodo è anche definito come metodo di *RLP*.

3.6 Modelli di Revenue Management per le Strutture Alberghiere

I modelli di revenue management per le strutture alberghiere che vengono esaminate, sono stati presi come riferimento per sviluppare il modello di revenue management per il noleggio di mezzi di trasporto, definito nel presente lavoro di tesi.

Il primo modello preso in considerazione è stato introdotto da Chen nel 1998 [13]. Egli ha definito un modello lineare intero per massimizzare il rendimento nell'industria alberghiera. Tale modello si basa, fondamentalmente, sulla previsione della domanda e può essere visto come modello di modello su reti. Prima di descrivere tale modello è opportuno introdurre i parametri principali del problema in esame, riportati di seguito:

$i, j, l =$ indici ($i, j, l = 1, \dots, n$), i e l rappresentano il giorno di arrivo all'hotel e j il giorno di partenza;

$k =$ indice della classe di prezzo ($k = 1, \dots, K$);

$x_{ijk} =$ numero delle stanze vendute al prezzo k ai clienti che arrivano il giorno i e partono il giorno j , con $i < j$;

$c_k =$ prezzo per la classe k ;

$b_i =$ capacità disponibile il giorno i ;

$d_{ijk} =$ domanda per il numero di stanze vendute al prezzo k ai clienti che arrivano il giorno i e in partenza il j ;

$\tau =$ massima lunghezza del pernottamento.

Il problema dell'assegnazione ottimale delle stanze di un albergo, al fine di massimizzare il rendimento è stato formulato nel seguente modo:

$$\text{maximize } \sum_{i,j,k} (j-i)c_k x_{ijk} \quad (3.41a)$$

$$\forall i : \sum_{l \leq i} \sum_{i \leq j} \sum_k x_{ljk} \leq b_i \quad (3.41b)$$

$$0 \leq x_{ijk} \leq d_{ijk} \quad (3.41c)$$

$$x_{ijk} \text{ integer} \quad (3.41d)$$

Il termine della (3.41a) è il rendimento che si ottiene quando un cliente prenota una stanza dal giorno i al giorno j ad un prezzo pari a c_k . I vincoli (3.41b) indicano il numero di stanze disponibili per un certo giorno i , dove non è ammesso alcun *overbooking*. In pratica, il numero totale di clienti che arrivano nel giorno i sommati al numero di clienti che arrivano prima del giorno i e quelli che rimangono in hotel oltre il giorno i deve essere minore o uguale al valore di capacità residua per il giorno i . I vincoli (3.41c) indicano che non è possibile vendere un numero di stanze maggiore rispetto alla domanda. Infine, i vincoli (3.41d) sono vincoli interezza sulle variabili e indicano che non è possibile vendere una frazione di una certa stanza.

Per poter risolvere il problema in tempi reali, è stata introdotta una formulazione equivalente del problema come utilizzando un modello di ottimizzazione su reti per determinare l'assegnazione ottima delle stanze in un hotel per più notti e con diversi prezzi di vendita.

Sia dato un grafo $G = (V, A)$ orientato con più archi di tipo forwards $(i, j)_k$ che connettono nodi i a nodi j dove $j - i \leq \tau$ e $i < j$. Il numero di archi tra i nodi dipende dal numero di classi di costo differenti. Si ha un singolo arco di ritorno di tipo $(i + 1, i)_0$. Viene definita una funzione di profitto ϕ sull'insieme di archi, nel seguente modo:

$$\forall (i, j)_k \in A : \phi((i, j)_k) = \begin{cases} (j - i)c_k & j - i \leq \tau \\ 0 & i > j \end{cases} \quad (3.4)$$

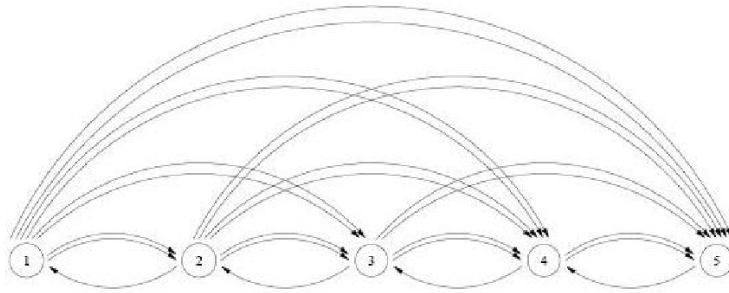


Figura 3.6: Esempio di Grafo $G=(V,A)$

A partire dalla funzione di profitto è stato formulato il modello di flusso su rete. In particolare, ciascun nodo della rete rappresenta i giorni; il flusso sugli archi $(i, j)_k$ tra il nodo i e il nodo j tale che $i < j$ rappresenta la quantità di stanze vendute ai clienti, che arrivano il giorno i e rimangono fino al giorno j e affittano la stanza ad un prezzo k . Il flusso è definito come x_{ijk} e la capacità dell'arco è d_{ijk} . Il flusso $x_{x+1,i}$ sugli archi di ritorno, ha come valore di capacità b_i . L'obiettivo è di trovare un flusso ammissibile che massimizzi il rendimento.

E' stato dimostrato, inoltre, che il massimo rendimento calcolato sulla rete di flusso è equivalente al modello di PLI. E' stato, anche, dimostrato che la soluzione ottima del rilassamento lineare soddisfa i vincoli di interezza.

Il secondo modello è stato presentato nel 2005 da Lai et al. [25]. In particolare, è stato definito un modello di flusso su reti di tipo stocastico, al fine di rappresentare l'aleatorietà della domanda. Le notazioni utilizzate per formulare il problema sono riportate in quanto segue:

x_{ij} è il numero di prenotazioni accettate con arrivo il giorno i e in partenza il giorno j , dove $0 \leq i < j \leq T$, $i = \{0, 1, 2, \dots, T - 1\}$ è l'indice per il giorno di arrivo e $j = 1, 2, 3, \dots, T$ è l'indice per il giorno di partenza.

C è numero totale di stanze dell'hotel.

R_{ij} è il rendimento atteso per le prenotazioni con arrivo il giorno i e partenza il giorno j .

U_{ij} è la domanda per pernottamenti che hanno come arrivo il giorno i e partenza il giorno j , essa risulta di tipo stocastica.

Considerando un giorno particolare, il giorno k , con $k = 1, 2, \dots, (T - 1)$, dell'orizzonte di pianificazione, i soggiorni che iniziano nel giorno k e quelli che hanno termine, possono essere visti come flussi in arrivo e partenza da un solo nodo, come nella rete rappresentata in figura 3.7:

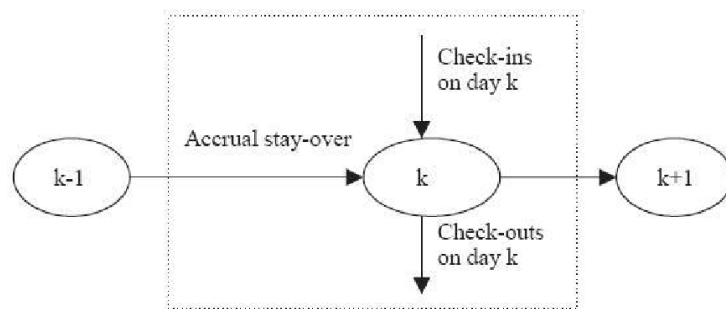


Figura 3.7: Esempio di Flusso

La formulazione del modello stocastico su reti è stata definita come segue:

$$Max \sum_{i=0}^{T-1} \sum_{j=i+1}^T R_{ij} x_{ij} \quad (3.5a)$$

$$S.t. \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{j=k+1}^T x_{ij} + \sum_{j=k+1}^T x_{kj} - \sum_{i=0}^{k-1} x_{ik} \leq C \quad (3.5b)$$

$$\sum_{j=1}^T x_{0j} \leq C \quad (3.5c)$$

$$x_{ij} \leq U_{ij} \quad (3.5d)$$

$$x_{ij} \geq 0, \forall 0 \leq i < j \leq T$$

Il membro sinistro dei vincoli (3.5b) rappresenta la condizione di conservazione del flusso per ogni nodo(giorno) k per $k = 1, 2, 3, \dots, T - 1$ che è limitata dalla capacità totale dell'hotel. Con il vincolo (3.5c) si assume che il giorno 0 l'hotel è vuoto. Il modello (3.5a) è stato nuovamente formulato attraverso un approccio robusto, che ha permesso di definire un modello lineare equivalente, risolvibile attraverso un qualunque software per la risoluzione di modelli di ricerca operativa.

3.7 Modelli per l'industria del Car Rental

Uno dei primi modelli di revenue management per il problema del noleggio di auto, venne presentato da Geraghty et al. Il modello presentato è molto semplice e ha come obiettivo quello di massimizzare il rendimento, cercando di decidere ad ogni istante di tempo quali richieste di affitto di una certa auto possono essere accettate o non accettate, in relazione alla durata del noleggio.

Per poter descrivere il modello di Geraghty et al. è utile introdurre i parametri fondamentali, riportati di seguito:

N = numero di giorni in cui si verificano gli arrivi di richieste di affitto.

L = numero di categorie di durata dell'affitto.

i , ($i=1, \dots, N$) giorno di inizio affitto.

k , ($k=1, \dots, N$) giorni di arrivo che si combinano con la disponibilità nel giorno i .

j , ($j=1,..,L$) categorie di durata dell'affitto.

x_{ij} = numero di prenotazioni nel giorno di arrivo i e per la categoria di durata-noleggio j .

μ_{ij} = domanda media rimanente per la categoria di durata-noleggio j .

C_i = capacità rimanente nel giorno di arrivo i .

r_{ij} = rendimento atteso per la categoria di durata-noleggio j per il giorno di arrivo i .

Il modello è stato definito nel seguente modo:

$$\max \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^L r_{ij} x_{ij} \quad (3.5f)$$

$$\sum_{k=\max(1,i-L)}^i \sum_{j=1}^L \delta_{kj} x_{kj} \leq C_i \quad (3.5f)$$

$$\delta_{kj} = \begin{cases} 1 & \text{se } k + j > i \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (3.5f)$$

$$x_{ij} \leq \mu_{ij} \quad (3.5f)$$

3.7.1 L'algoritmo di pianificazione degli *upgrades*

L'algoritmo di pianificazione degli *upgrades* ha come nucleo principale l'euristica EMSR [41], che permette di stabilire i livelli di protezione per ogni classe di prenotazione.

Il livello di protezione è il numero di risorse che dovrebbero essere riservate per soddisfare le richieste di affitto per le auto della classe considerata, ad ogni passo dell'algoritmo. La condizione di ottimalità è riportata di seguito:

$$\frac{dR}{d\pi_i} = \frac{dR}{d\pi_j} = \lambda, \forall i \neq j \quad (3.5f)$$

In particolare si ha che R è la funzione rendimento; λ rappresenta il rendimento marginale atteso rispetto all'ultima auto noleggiata per ogni classe; π_j è il livello di protezione per la classe di auto j . L'euristica *EMSR* determina i livelli di protezione

per ogni classe, l'algoritmo degli upgrades pianificati determina la disponibilità per ogni classe di auto. Quando la disponibilità delle auto di una certa classe risulta minore della domanda per tale classe, allora per soddisfare la richiesta eccedente si utilizzano le auto rimanenti di classe superiore.

Le auto di classe superiore che non vengono utilizzate sono nuovamente riassegnate alla disponibilità della classe di auto originaria. L'insieme delle auto disponibili per una certa classe è pari alla somma della capacità residua per le prenotazioni senza upgrades e dalla capacità residua per gli upgrades pianificati.

Capitolo 4

Il Revenue Management per il Problema del Noleggio dei Mezzi di Trasporto

L'obiettivo principale del presente lavoro di tesi è quello di definire approcci innovativi per affrontare il problema di un operatore logistico che vuole noleggiare i propri mezzi di trasporto, in particolare mezzi per il trasporto merci come autocarri, furgoni, cellefrigorifere, autoarticolati.

I mezzi di trasporto disponibili, così come il parco macchine di un'azienda che noleggia auto, possono essere suddivisi in categorie e ad essi possono essere associate differenti tariffe, in relazione ai chilometri percorsi, all'usura dell'auto, ai costi di assicurazione, ai costi degli stipendi degli autotrasportatori.

Come nel caso del noleggio delle auto, anche in questo settore possono essere praticati degli sconti ed è possibile utilizzare un servizio di prenotazioni. La differenza sostanziale con la realtà del noleggio delle auto e da ricercarsi nei prezzi e nelle modalità di noleggio, come evidenziato nella tabella 4.1, in cui si riporta l'elenco dal tipo dei furgoni e delle corrispondenti tariffe associate, per una generica azienda di noleggio.

Il problema del noleggio ottimale di mezzi di trasporto è stato rappresentato mediante un modello matematico che consente di massimizzare il rendimento nel rispetto dei vincoli di capacità (numero di mezzi disponibili) e nel rispetto della domanda, che si ipotizza essere non conosciuta con certezza. Si assume, inoltre,

Tipo Furgone	Prezzo
DAILY 35S10 Furgonato MC 12 A.C. :	A partire da 70,00 al giorno
DAILY 29L10 Furgonato MC 10 A.C. :	A partire da 70,00 al giorno
DAILY 35S12 Furgonato MC 12 :	A partire da 70,00 al giorno
DAILY 35S12 Semivetrato 6 posti MC 6 A.C. :	A partire da 70,00 al giorno
OPEL COMBO MC 3 A.C. :	A partire da 50,00 al giorno
Prezzi validi entro i 150 km giornalieri, per i km successivi 0,25 al km	

Tabella 4.1: Elenco di Tipi di Furgoni

che l'operatore possa adottare la strategia degli *upgrades*, ovvero rispondere alle richieste con mezzi di capacità superiore rispetto a quella richiesta. Il problema è stato formulato come modello di programmazione dinamica ed è stato approssimato mediante un modello lineare. Due diverse politiche di controllo sono state definite ed implementate, ovvero il *booking limits* e del *bid price*.

4.1 Formulazione del Problema

Il problema preso in esame è quello di un operatore logistico che vuole noleggiare r tipi di mezzi caratterizzati da differenti valori di capacità, $c(1), \dots, c(r)$ con $c(m) < c(m+1)$, $m = 1, \dots, r-1$.

L'obiettivo dell'operatore è quello di massimizzare il rendimento, cercando di soddisfare la domanda incerta per i differenti tipi di mezzi, in un certo orizzonte temporale.

Si assume, in particolare, che l'orizzonte temporale sia diviso in un certo numero di intervalli finiti di tempo, $t = 1, \dots, T$. Al tempo t , l'operatore deve decidere se accettare, oppure rifiutare, la richiesta di un mezzo di capacità $c(m)$, dal giorno i al giorno j , dove $j > i$.

Se decide di soddisfare la richiesta al tempo t , l'operatore otterrà un profitto pari a $R_{ij}^m = (j-i)R^m$ con il rischio di perdere la possibilità di soddisfare una richiesta futura per lo stesso tipo di mezzo e per un periodo più lungo $(j-i)$, $j > i$.

L'operatore logistico può, inoltre, decidere di adottare una politica degli *upgrades*, ovvero può soddisfare la richiesta del mezzo di capacità $c(m)$, dal giorno i al giorno j , con un mezzo di capacità superiore. Se la richiesta viene accettata con un mezzo di capacità superiore rispetto a quella richiesta, l'operatore avrà un

rendimento $R_{ij}^m = (j - i)R^m$, mentre perderà la possibilità di ottenere un rendimento più alto in un periodo successivo, affittando il mezzo di capacità superiore al prezzo più alto.

Il problema dell'operatore dei trasporti può essere rappresentato come modello di programmazione dinamica. In quanto segue, con il termine *prodotto* si denoterà un mezzo di capacità $c(m)$, con $m = 1, \dots, r$ che può essere affittato in un certo intervallo di tempo $(j-i)$ dove $i = 1, \dots, T-1, j = 2, \dots, T$. Il generico prodotto sarà indicato con l'indice $p = 1, \dots, P = r \times [(T-1) + (T-2) + \dots + 1]$. Per formulare il problema di programmazione dinamica, si assume la validità delle seguenti assunzioni.

(i) In ciascun istante di tempo t può arrivare al più una richiesta per un certo prodotto p con probabilità λ_p^t . Si ha che:

$$\lambda_0^t + \sum_{p=1}^P \lambda_p^t = 1,$$

, dove λ_0^t è la probabilità che non arrivi alcuna richiesta al tempo t .

(ii) Le domande per differenti prodotti sono variabili casuali indipendenti.

La (i) e (ii) sono assunzioni tipiche nei problemi di *revenue management*. In quanto segue, con δ si indica il vettore dei prodotti disponibili; lo stato del sistema $S = (\delta, t)$ rappresenta la capacità del sistema al tempo t .

Sia $R(\delta, t)$ il massimo rendimento atteso ottenibile nel periodo $t, t+1, \dots, T$, sapendo che δ sono le unità di capacità disponibili al tempo t , allora $R(\delta, t)$ deve soddisfare la seguente equazione di *Bellman*:

$$R(\delta, t) = \sum_{p=1}^P \lambda_p^t \max(R_p + R(\bar{\delta}, t+1), R_p + R(\tilde{\delta}, t+1)), R(\delta, t+1) + \lambda_0^t R(\delta, t+1),$$

dove $\bar{\delta}$ rappresenta il vettore della capacità residua dopo aver soddisfatto la richiesta per il prodotto p .

Le condizioni al contorno sono riportate in quanto segue:

- $R(0, t) = 0 \forall t$;
- $R(\delta, 1) = 0 \forall \delta \geq 0$;
- $R(\delta, 1) = -\infty \forall \delta$ tale che per qualche $p, \delta_p < 0$.

Quando al tempo t arriva una richiesta per un certo prodotto p , l'operatore logistico deve poter decidere se accettare o rifiutare tale richiesta. Se la richiesta è accettata, con o senza *upgrades*, il rendimento atteso nel periodo successivo è $R_p + R(\tilde{\delta}, t - 1)$. Al contrario se la richiesta viene rifiutata l'operatore nel periodo successivo avrà un rendimento pari a $R(\delta, t)$. Se non arriva nessuna richiesta al tempo t il rendimento atteso nello stato successivo del sistema è $R(\delta, t + 1)$.

4.2 Approssimazioni del Modello

A causa delle elevate dimensioni dello spazio delle soluzioni del modello dinamico, definito nella sezione precedente, esso non può essere risolto in modo efficiente. Per superare tale limite sono state definite delle approssimazioni.

Al fine di introdurre la prima approssimazione lineare del modello, è utile introdurre le seguenti notazioni e definizioni:

d_{ij}^m è la domanda per un mezzo di capacità $c(m)$, $m = 1, \dots, r$, dal giorno i , $i = 1, \dots, T - 1$, al giorno j , $j = i + 1, \dots, T$;

Q_m è il numero totale di mezzi disponibili di capacità $c(m)$, $m = 1, \dots, r$;

R^m è il rendimento giornaliero ottenuto dal noleggio del mezzo di capacità $c(m)$;

$x_{ij}^{mm'}$ rappresenta il numero di mezzi con capacità $c(m')$ noleggiati, dal giorno i al giorno j , per soddisfare la richiesta dei mezzi di capacità $c(m)$ nello stesso periodo di tempo.

Si ipotizza che non ci siano richieste prima del giorno 1 e che tutte le richieste siano soddisfatte entro o prima del giorno T . Si assume, inoltre, che ogni mezzo deve essere noleggiato per almeno un giorno.

Per una rappresentazione formale del problema, secondo le opportune considerazioni fatte, i *check-outs* e *check-ins* dei mezzi di trasporto possono essere visti come flussi in ingresso e in uscita dai nodi di una rete.

In particolare, si consideri t , $t = 1, \dots, T - 1$, un giorno nell'orizzonte di pianificazione, le seguenti condizioni rappresentano la disponibilità dei mezzi di capacità $c(m')$ nel giorno t :

$$\sum_{m=1}^{m'} \sum_{j=2}^T x_{1j}^{mm'}; \quad (3.5a)$$

$$\forall m' = 1, \dots, r$$

$$\sum_{m=1}^{m'} \sum_{i=1}^{t-1} \sum_{j=t}^T x_{ij}^{mm'} + \sum_{m=1}^{m'} \sum_{j=t+1}^T x_{tj}^{mm'} - \sum_{m=1}^{m'} \sum_{i=1}^{t-1} x_{it}^{mm'}; \quad (3.5b)$$

$$\forall m' = 1, \dots, r; \quad \forall t = 2, \dots, T-1.$$

E' facile verificare che le condizioni (3.5a) e (3.5b) possono essere semplificate secondo la seguente espressione:

$$\sum_{m=1}^{m'} \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T x_{ij}^{mm'};$$

$$\forall m' = 1, \dots, r; \quad \forall t = 1, \dots, T-1.$$

Il numero di mezzi disponibili con capacità $c(m')$ è limitato dal valore $Q_{m'}$, questa condizione è rappresentata attraverso l'insieme dei vincoli riportati in quanto segue:

$$\sum_{m=1}^{m'} \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T x_{ij}^{mm'} \leq Q_{m'},$$

$$\forall m' = 1, \dots, r; \quad \forall t = 1, \dots, T-1.$$

I vincoli sulla domanda possono essere rappresentati come segue:

$$\sum_{m'=m}^r x_{ij}^{mm'} \leq d_{ij}^m, \forall m = 1, \dots, r; \quad 1 \leq i < j \leq T$$

La funzione obiettivo da massimizzare, che rappresenta il rendimento totale, è data da:

$$\sum_{m=1}^r \sum_{i=1}^{T-1} \sum_{j=i+1}^T \sum_{m'=m}^r [(j-i)R^m - \eta(c(m') - c(m))] x_{ij}^{mm'} \quad (3.5c)$$

E' necessario osservare che la funzione obiettivo è definita come la differenza di due termini. In particolare, il primo termine, ovvero : $\sum_{m=1}^r \sum_{i=1}^{T-1} \sum_{j=i+1}^T \sum_{m'=m}^r (j-i) R^m x_{ij}^{mm'}$, rappresenta il rendimento totale. Il secondo termine della funzione obiettivo rappresenta

$$\sum_{m=1}^r \sum_{i=1}^{T-1} \sum_{j=i+1}^T \sum_{m'=m}^r (c(m') - c(m)) x_{ij}^{mm'}$$

Sulla base delle considerazioni precedenti, la formulazione completa del modello è la seguente:

$$R^{ILP} = \max \sum_{m=1}^r \sum_{i=1}^{T-1} \sum_{j=i+1}^T \sum_{m'=m}^r [(j-i)R^m - \eta(c(m') - c(m))] x_{ij}^{mm'} \quad (4.4a)$$

$$\sum_{m=1}^{m'} \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T x_{ij}^{mm'} \leq Q_{m'}; \forall m' = 1, \dots, r; \quad \forall t = 1, \dots, T-1; \quad (4.4b)$$

$$\sum_{m'=m}^r x_{ij}^{mm'} \leq d_{ij}^m, \forall m = 1, \dots, r; \quad 1 \leq i < j \leq T; \quad (4.4c)$$

$$x_{ij}^{mm'} \geq 0, \text{ intere} \quad \forall m = 1, \dots, r \quad \forall m' = m, \dots, r, t \leq i < j \leq T. \quad (4.4d)$$

In quanto segue, si dimostra che la matrice di vincolo $A_{R^{ILP}}$ del modello R^{ILP} è totalmente unimodulare.

Tutti i risultati teorici sulla totale unimodularità delle matrici, utilizzati nelle dimostrazioni che seguono, sono riportati nel testo di Nemhauser and Wolsey ([38]). In particolare, vengono utilizzati la seguente definizione e il risultato teorico sintetizzato nel Teorema 4.2.1.

Definizione 4.2.1 Una matrice intervallo è una matrice 0–1 dove gli uni appaiono consecutivamente in ciascuna colonna.

Teorema 4.2.1 Le matrici intervallo sono totalmente unimodulari.

Nel seguito, si dimostra come la matrice $A_{R^{ILP}}$ può essere trasformata in una matrice intervallo, attraverso operazioni di trasformazioni lineari su ciascuna riga. Una rappresentazione grafica della matrice dei vincoli è riportata in figura 4.1.

Dalla figura 4.1, è evidente che $A_{R^{ILP}}$ è una matrice a blocchi 0 – 1, in cui il numero di blocchi dipende dal numero di mezzi r e dal periodo di riferimento

	r				r-1			...	1
B¹	I₁¹	I₁²	...	I₁^r					
B²	0₁¹	0₁²	...	0₁^r	I₂^(r+1)	...	I₂^{r+(r-1)}	...	
⋮				⋮	
B^{r-1}									
B^r									I_r^{(r+(r-1)+...+1)}
M¹	M₁¹								
M²		M₂²			M₂^(r+1)			...	
⋮					
M^r				M_r^r			M_r^{r+(r-1)}		M_r^{(r+(r-1)+...+1)}

Figura 4.1: Rappresentazione Grafica della Matrice dei Vincoli A_{RILP}

T . In particolare, ciascun blocco di colore nero rappresenta una matrice di dimensione $(T-1) \times \sum_{l=0}^{T-1} (T-1-l)$, la struttura della matrice è rappresentata nella tabella 4.2, ciascun blocco grigio corrisponde a una matrice identità di dimensione $\sum_{l=0}^{T-1} (T-1-l) \times \sum_{l=0}^{T-1} (T-1-l)$.

T-1				T-2				...	1
1	1	...	1	0	0	...	0	...	0
0	1	...	1	1	1	...	1	...	0

0	0	...	1	0	0	...	1	...	1

Tabella 4.2: Rappresentazione grafica di un blocco nero della matrice dei vincoli A_{RILP}

La tabella 4.3 riporta la forma della matrice dei vincoli A_{RILP} per il caso di $T = 4$ e $r = 2$.

B^1	1 0 0 0 0 0	1 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0
	0 1 0 0 0 0	0 1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0
	0 0 1 0 0 0	0 0 1 0 0 0	0 0 0 0 0 0
	0 0 0 1 0 0	0 0 0 1 0 0	0 0 0 0 0 0
	0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0	
B^2	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	1 0 0 0 0 0
	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 1 0 0 0 0
	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 1 0 0 0
	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 1 0 0
	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 1 0
0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1	
M^1	1 1 1 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0
	0 1 1 1 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0
	0 0 1 0 1 1	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0
M^2	0 0 0 0 0 0	1 1 1 0 0 0	1 1 1 0 0 0
	0 0 0 0 0 0	0 1 1 1 1 0	0 1 1 1 1 0
	0 0 0 0 0 0	0 0 1 0 1 1	0 0 1 0 1 1

Tabella 4.3: Rappresentazione Grafica della Matrice dei vincoli A_{RILP} , per il caso di $T = 4$ and $r = 2$.

Le operazioni principali, che devono essere eseguite per trasformare la matrice di vincolo A_{RILP} in una matrice intervallo, sono rappresentate in quanto segue.

- **Step 1.** Aggiungi a ciascuna riga b_p^1 , $p = 2, \dots, \gamma$ le righe $b_1^1, b_2^1, \dots, b_l^1$, per $l = 1, \dots, p - 1$. In tal modo le matrici $I_1^1, I_1^2, \dots, I_1^r$ sono matrici triangolari inferiori con tutti gli elementi pari a uno.
- **Step 2.** Per ciascun blocco B^k , $k = 2, \dots, r$ aggiungi a ciascuna riga b_p^k , $p = 1, \dots, \gamma - 1$, le righe b_l^k , for $l = p + 1, \dots, \gamma$.
In questo modo, le matrici $I_2^{r+1}, \dots, I_2^{r+(r-1)}, \dots, I_r^{(r+(r-1)+\dots+1)}$ sono matrici triangolari superiori con tutti gli elementi pari a uno.
- **Step 3.** Per ciascun blocco B^k , $k = 2, \dots, r - 1$ aggiungi alla riga b_p^k , $p = 1, \dots, \gamma$ le righe b_δ^{k+1} , per $\delta = 1, \dots, \gamma$.
In questo modo, le matrici $O_1^k, \dots, O_{(r-k)}^k$ sono matrici di uni.
- **Step 4.** Per ciascun blocco M^k , $k = 1, \dots, r$, eseguire le operazioni riportate in fig 4.2.

Eseguendo i passi 1, 2, 3 and 4 sulla matrice riportata in Tabella 4.3, si ottiene la matrice in tabella 4.4.

- **Step 5.** Fai una permutazione delle righe della matrice trasformata, in modo tale che la sequenza dei blocchi è ottenuta secondo: $B^1, M^1, \dots, M^r, B^2, \dots, B^r$.

La matrice ottenuta, evidenziata nella tabella 4.5 è una matrice intervallo, e quindi totalmente unimodulare.

1. Aggiungi alla prima riga m_k^1 of M^k :
 - if $(T - 2) - 1 \geq 0$, le ultime $\sum_{l=1}^{T-2} (T - l - 1)$ righe di B^k , $k = 1, \dots, r$;
 - la prima riga di ciascun blocco $M^{\bar{k}}$, $\bar{k} = 1, \dots, r$, $\bar{k} \neq k$.
2. Aggiungi alla seconda riga m_k^2 of M^k :
 - the first row of B^k , $k = 1, \dots, r$;
 - if $(T - 2) - 2 \geq 0$, le ultime $\sum_{l=2}^{T-2} (T - l - 1)$ righe di B^k , $k = 1, \dots, r$;
 - la seconda riga di ciascun blocco $M^{\bar{k}}$, dove $\bar{k} = 2, \dots, r$ se $k = 1$, $\bar{k} = 2, \dots, r - 1$ se $k = r$ e $\bar{k} = 1, \dots, r$, $\bar{k} \neq k$, altrimenti.
3. Per le righe rimanenti m_k^β , $\beta = 3, \dots, T - 1$, of M^k (i.e., $T \geq 4$) esegui le seguenti operazioni:
 - aggiungi alla riga m_k^β :
 - le prime $\beta - 1$ righe of B^k , $k = 1, \dots, r$;
 - la riga β di ciascun blocco $M^{\bar{k}}$, $\bar{k} = 1, \dots, r$, $\bar{k} \neq k$.
 - For $z = 2, \dots, T - 1$ do:
 - IF $(T - z) - (T - \beta) > 0$ THEN
 - * Aggiungi la riga m_k^β le righe $\sum_{l=1}^{z-1} (T - l) + 1, \dots, \sum_{l=1}^z (T - l) - (T - \beta)$ B^k , $k = 1, \dots, r$;
 - ELSE
 - * IF $(T - z) - (T - \beta) = 0$ THEN
 - IF $(\beta = T - 1)$ THEN
 - STOP
 - * ELSE
 - IF $(\beta = T - 2)$ THEN
 - Aggiungi alla riga m_k^β le righe $\sum_{l=1}^z (T - l) + 1, \dots, \sum_{l=0}^z (T - 1 - l)$ of B^k , $k = 1, \dots, r$;
 - STOP
 - ELSE
 - If $((T - 2) - \beta > 0)$ then aggiungi la riga m_k^β le ultime $\sum_{l=\beta}^{T-2} (T - l - 1)$ righe di B^k , $k = 1, \dots, r$;
 - END IF
 - * END IF
 - END IF
 - END FOR

Figura 4.2: Operazioni eseguite sui blocchi M^k , $k = 1, \dots, r - 1$.

$$\sum_{m=1}^{m'} \sum_{i=\bar{t}}^t \sum_{j=t+1}^T x_{ij}^{mm'} \leq \tilde{Q}_{m'}^t, \forall m' = 1, \dots, r, \forall t = \bar{t}, \dots, T-1 \quad (4.5b)$$

$$\sum_{m'=m}^r x_{ij}^{mm'} \leq d_{ij}^m, \forall m = 1, \dots, r; \bar{t} \leq i < j \leq T \quad (4.5c)$$

$$x_{ij}^{mm'} \geq 0, \forall m = 1, \dots, r, \forall m' = m, \dots, r, \bar{t} \leq i < j \leq T \quad (4.5d)$$

Il numero totale di mezzi di capacità $c(m')$ disponibili nel giorno t , $\tilde{Q}_{m'}^t$ può essere calcolato come segue:

$$\tilde{Q}_{m'}^1 = Q_{m'}, \quad \forall m' = 1, \dots, r$$

e

$$\tilde{Q}_{m'}^t = Q_{m'} - \sum_{m=1}^{m'} \sum_{i=1}^{t-1} \sum_{j=t+1}^T x_{ij}^{mm'}, \quad \forall m' = 1, \dots, r, \quad \forall t = 2, \dots, T-1.$$

E' facile verificare che il numero di variabili decisionali del problema (4.4) è uguale:

$$\sum_{k=0}^{T-1} (T-1-k) \times \sum_{l=0}^{r-1} (r-l).$$

Di seguito, viene presentata una differente formulazione del problema preso in considerazione. In questa formulazione alternativa le variabili x_{ij}^m rappresentano il numero di mezzi di capacità $c(m)$ noleggiati dal giorno i al giorno j . In questo caso, dato $\tilde{Q} = (\tilde{Q}_1, \dots, \tilde{Q}_r)$ il vettore di capacità residua al tempo \bar{t} , $\bar{t} = 1, \dots, T-1$, il valore del rendimento al tempo \bar{t} , può essere calcolato risolvendo il seguente problema di programmazione non lineare:

$$\begin{aligned} R^{NLP}(\tilde{Q}^t, \bar{t}) = & \max\{\sum_{i=1}^{T-1} \sum_{j=i+1}^T \sum_{m=1}^r (j-i)R^m \min(x_{ij}^m, d_{ij}^m) + \\ & + \sum_{i=1}^{T-1} \sum_{j=i+1}^T \sum_{m=1}^{r-1} (j-i)R^m \min\{\max[0, (d_{ij}^m - x_{ij}^m)], \\ & \max[0, (x_{ij}^r - d_{ij}^r) - \sum_{t=m+1}^{r-1} (d_{ij}^t - x_{ij}^t)]\}\} \end{aligned} \quad (4.6a)$$

$$\sum_{i=\bar{t}}^t \sum_{j=t+1}^T x_{ij}^m \leq \tilde{Q}_m^t \quad \forall t = \bar{t}, \dots, T-1 \quad \forall m = 1, \dots, r \quad (4.6b)$$

$$\sum_{i=\bar{t}}^t \sum_{j=t+1}^T \sum_{k=m}^r x_{ij}^k \leq \sum_{k=m}^r \tilde{Q}_k^t \quad \forall t = \bar{t}, \dots, T-1 \quad \forall m = 1, \dots, r \quad (4.6c)$$

$$\sum_{k=1}^m x_{ij}^m \leq \sum_{k=1}^m d_{ij}^m, \quad \forall m = 1, \dots, r \quad \bar{t} \leq i < j \leq T \quad (4.6d)$$

$$x_{ij}^m \geq 0, \quad \text{integer} \quad \forall m = 1, \dots, r \quad \bar{t} \leq i < j \leq T \quad (4.6e)$$

Nel definire la funzione obiettivo del problema 4.6, si assume che nel caso di *upgrades*, i mezzi con capacità $c(m)$ vengono utilizzati in primo luogo per soddisfare la domanda di mezzi di capacità $c(m-1)$ e solo in presenza di ulteriore capacità residua potranno essere utilizzati per soddisfare la domanda dei mezzi di capacità $c(m-2), \dots, c(1)$.

Il primo termine della funzione obiettivo rappresenta il rendimento ottenuto nel soddisfare la domanda dei mezzi con capacità $c(m)$ con mezzi della stessa capacità.

Il secondo termine della funzione obiettivo rappresenta il rendimento ottenuto in presenza di *upgrades*, ovvero il rendimento che l'operatore di trasporto può ottenere nel soddisfare la domanda dei mezzi con capacità $c(m)$, $m = 1, \dots, r-1$ con mezzi di capacità $c(m')$, $m' = m+1, \dots, r$.

I vincoli (4.6b) impongono che il numero totale dei mezzi di una data capacità, noleggiati in ciascun giorno t , $1 \leq t \leq T-1$ dell'orizzonte temporale, non deve eccedere la disponibilità giornaliera dei mezzi.

Le condizioni (4.6c) rappresentano i vincoli di *upgrades*. Essi garantiscono che ciascun giorno dell'orizzonte temporale, il numero totale di mezzi noleggiati con capacità $c(m)$, $m = 1, \dots, r-1$ o di capacità maggiore non deve eccedere il numero totale di mezzi disponibili con capacità $c(m)$ e maggiore.

I vincoli (4.6d) indicano che in ciascun periodo dell'orizzonte temporale, la domanda dei mezzi con capacità $c(m)$ può essere soddisfatta con mezzi di capacità maggiore o uguale a $c(m)$.

Il modello(4.6) è un problema di programmazione non lineare intero e la funzione obiettivo (4.6a) può essere linearizzata introducendo un insieme di variabili binarie e di vincoli.

Tuttavia la soluzione del modello linearizzato richiede un eccessivo sforzo

computazionale e quindi risulta non praticabile l'uso di tale modello nelle procedure dinamiche di soluzione.

Per ovviare a questo problema, è stata definita una forma semplificata della funzione obiettivo che presenta il vantaggio di utilizzare un minor numero di variabili rispetto a quelle utilizzate per formulare il problema(4.4).

In particolare, il problema corrispondente, indicato nel seguito come R^{ILP} , è stato definito presupponendo che il rendimento ottenuto in caso di *upgrades* sia uguale a quello corrispondente ai mezzi noleggiati. La formulazione matematica di \bar{R}^{ILP} è di seguito riportata:

$$\bar{R}^{ILP}(\tilde{Q}^t, \bar{t}) = \sum_{i=\bar{t}}^{T-1} \sum_{j=i+1}^T \sum_{m=1}^r (j-i) R^m x_{ij}^m \quad (4.7a)$$

$$\sum_{i=\bar{t}}^t \sum_{j=t+1}^T x_{ij}^m \leq \tilde{Q}_m^t \quad \forall t = \bar{t}, \dots, T-1 \quad \forall m = 1, \dots, r \quad (4.7b)$$

$$\sum_{i=\bar{t}}^t \sum_{j=t+1}^T \sum_{k=m}^r x_{ij}^k \leq \sum_{k=m}^r \tilde{Q}_k^t \quad \forall t = \bar{t}, \dots, T-1 \quad \forall m = 1, \dots, r \quad (4.7c)$$

$$\sum_{k=1}^m x_{ij}^m \leq \sum_{k=1}^m d_{ij}^m, \quad \forall m = 1, \dots, r \quad \bar{t} \leq i \leq j \leq T \quad (4.7d)$$

$$x_{ij}^m \geq 0, \quad integer \quad \forall m = 1, \dots, r \quad \bar{t} \leq i \leq j \leq T \quad (4.7e)$$

La matrice dei vincoli $A_{\bar{R}^{ILP}}$ del problema \bar{R}^{ILP} è riportata in figura 4.3, dove i blocchi neri e grigi hanno la stessa struttura dei corrispondenti blocchi di $A_{R^{ILP}}$.

Seguendo una strategia simile a quella descritta per il problema 4.4, è possibile mostrare che anche la matrice di vincolo $A_{\bar{R}^{ILP}}$ del problema \bar{R}^{ILP} è totalmente unimodulare. Di conseguenza, anche in questo caso è possibile considerare il rilassamento \bar{R}^{LP} associato a \bar{R}^{ILP} . E' facile verificare che il numero di variabili del problema(4.7) è uguale a:

$$r \times \sum_{k=0}^{T-1} (T-1-k).$$

capacity constraints	Q^1	C_1^1			
	Q^2		C_2^2		
	\vdots			\vdots	
	Q^r				C_r^r
upgrade constraints	U^1	U_1^1	U_1^2	\dots	U_1^r
	U^2		U_2^2	\dots	U_2^r
	\vdots			\vdots	
	U^r				U_r^r
demand constraints	D^1	D_1^1			
	D^2	D_2^1	D_2^2		
	\dots			\vdots	
	D^r	D_r^1	D_r^2	\dots	D_r^r

Figura 4.3: Rappresentazione Grafica della Matrice dei vincoli $A_{\bar{R}^{IPL}}$

Di conseguenza, si ottiene una riduzione delle dimensioni del problema.

In fase di gestione del rendimento, si utilizzano, generalmente politiche di controllo di tipo booking limits o bid prices per accettare, o rifiutare, una certa richiesta in un certo istante di tempo [29]. E' possibile, infatti, risolvere una approssimazione lineare deterministica della formulazione dinamica che si ottiene sostituendo la domanda stocastica d_{ij}^m con il valore medio. Risolvendo il problema di programmazione lineare è possibile ottenere informazioni sia di tipo primale e sia di tipo duale, utili per definire la politica. In particolare le variabili primali sono utili per definire la politica di booking limits, mentre le variabili duali per la politica basata sui bid prices.

4.3 Approcci di Soluzione

In ogni istante di tempo dell'orizzonte di pianificazione, l'operatore logistico deve decidere se accettare o rifiutare una certa richiesta, per un certo mezzo, con una

data capacità e per un certo tempo.

In particolare, il sistema dinamico di riferimento dipende dal verificarsi del seguente evento: la richiesta per un mezzo di capacità $c(m)$ dal giorno i al giorno j arriva all'operatore di trasporto al tempo \bar{t} . Quando si manifesta un evento di questo tipo, il problema $R^{LP}(\tilde{Q}^t, \bar{t})$ [or $\bar{R}^{LP}(\tilde{Q}^t, \bar{t})$] viene risolto e la soluzione ottenuta viene utilizzata per poter prendere le opportune decisioni relative alle richieste.

La richiesta può essere accettata se, al tempo \bar{t} , sono disponibili dal giorno i al giorno j mezzi con capacità $c(m)$ o di capacità superiore.

Come evidenziato in precedenza, le politiche utilizzate per il controllo del sistema sono due: la politica booking limits (o primale) che utilizza la soluzione del problema risolto; la politica del bid price (o duale) che utilizza la soluzione duale.

In particolare, l'approccio di tipo primale prevede l'esecuzione delle seguenti operazioni:

Step. 1 RISOLVI il problema $R^{LP}(\tilde{Q}^t, \bar{t})$ [o $\bar{R}^{LP}(\tilde{Q}^t, \bar{t})$]; sia $x_{ij}^{*mm'}$ [o x_{ij}^{*k}] la soluzione ottima.

FOR $m' = m, \dots, r$

IF $x_{ij}^{*mm'} > 0$ [or $x_{ij}^{m'} > 0$] THEN

- ACCETTA la richiesta con upgrades se $m' > m$;
- PONI $x_{ij}^{*mm'} = x_{ij}^{*mm'} - 1$ [or $x_{ij}^{m'} = x_{ij}^{m'} - 1$];
- AGGIORNA coerente la capacità residua $\tilde{Q}_{m'}^t$; i.e. $\tilde{Q}_{m'}^t = \tilde{Q}_{m'}^t - 1, \forall t = i, \dots, j$;
- CALCOLA il rendimento ottenuto, in quanto la richiesta è stata accettata;
- AGGIORNA $\tilde{Q}_{m'}^t$ considerando che il mezzo di capacità $c(m')$ ritornerà al deposito il giorno j , i.e. $\tilde{Q}_{m'}^j = \tilde{Q}_{m'}^j + 1$;

ELSE

- RIFIUTA la richiesta.

END IF

END FOR

Step. 2 VALUTA la prossima richiesta.

Dal punto di vista duale è necessario risolvere il problema $R^{LP}(\tilde{Q}^t, \bar{t})$ [or $\bar{R}^{LP}(\tilde{Q}^t, \bar{t})$] e determinare le variabili duali associate ai vincoli (4.5b) [o (4.7b) e (4.7c)]. Si indichino con $\pi_{m'}^t, t = 1, \dots, T-1, m' = 1, \dots, r$ le variabili duali associate ai vincoli (4.5b). Tali variabili rappresentano il valore di un mezzo aggiuntivo di capacità $c(m')$ o superiore che viene richiesto il giorno t .

Siano $\bar{\pi}_m^t, t = 1, \dots, T-1, m = 1, \dots, r$ e $\mu_k^t, t = 1, \dots, T-1, k = m, \dots, r$ le variabili duali associate ai vincoli (4.7b) e (4.7c), rispettivamente. $\bar{\pi}_m^t, t = 1, \dots, T-1, m = 1, \dots, r$ rappresenta il valore di un mezzo aggiuntivo di capacità $c(m)$ o superiore in affitto il giorno \bar{t} , mentre $\mu_k^t, t = 1, \dots, T-1, k = m, \dots, r$ è il valore di un mezzo di capacità $c(m)$ o più grande nello stesso giorno.

Nel caso in cui il problema preso in esame è rappresentato mediante il modello matematico (4.4), una possibile strategia per decidere se accettare o rifiutare la richiesta per un mezzo di capacità $c(m)$ dal giorno i al giorno j arrivata al tempo \bar{t} , prevede l'esecuzione delle seguenti operazioni.

IF TROVA il più piccolo indice $m', m' = m, \dots, r$ tale che
 $(j-i)R^m \geq \pi_{m'}^i + \pi_{m'}^{i+1} + \dots + \pi_{m'}^j$;

- ACCETTA la richiesta con upgrades se $m' > m$;
- AGGIORNA in modo coerente la capacità residua $\tilde{Q}_{m'}^t$; i.e. $\tilde{Q}_{m'}^t = \tilde{Q}_{m'}^t - 1, \forall t = i, \dots, j$;
- CALCOLA il rendimento ottenuto per aver accettato la richiesta;
- AGGIORNA $\tilde{Q}_{m'}^t$ considerando che il mezzo di capacità $c(m')$ ritornerà al deposito il giorno j , i.e. $\tilde{Q}_{m'}^j = \tilde{Q}_{m'}^j + 1$;

ELSE

RIFIUTA la richiesta.

Nel caso in cui il problema considerato è il (4.7), la politica del bid price viene opportunamente modificata nel seguente modo.

IF $(j-i)R^m \geq \pi_m^i + \pi_m^{i+1} + \dots + \pi_m^j$ THEN

- ACCETTA la richiesta senza upgrades;
- AGGIORNA in modo coerente \tilde{Q}_m^t ; i.e. $\tilde{Q}_m^t = \tilde{Q}_m^t - 1, \forall t = i, \dots, j$;

- CALCOLA il rendimento ottenuto, dal momento che la richiesta è stata accettata;
- AGGIORNA \tilde{Q}_m^t considerando che il mezzo di capacità $c(m)$ ritornerà al deposito il giorno j , i.e. $\tilde{Q}_m^j = \tilde{Q}_m^j + 1$;

ELSE

IF è possibile, trovare il più piccolo indice k , $k = m, \dots, r$ tale che $(j - i)R^m \geq \mu_k^i + \mu_k^{i+1} + \dots + \mu_k^j$;

- ACCETTA la richiesta con upgrades;
- AGGIORNA in modo appropriato \tilde{Q}_k^t ; i.e. $\tilde{Q}_k^t = \tilde{Q}_k^t - 1, \forall t = i, \dots, j$;
- CALCOLA il rendimento dopo aver accettato la richiesta;
- AGGIORNA \tilde{Q}_k^t considerando che il mezzo di capacità $c(k)$ ritornerà al deposito il giorno j , i.e. $\tilde{Q}_k^j = \tilde{Q}_k^j + 1$;

ELSE

RIFIUTA la richiesta

END IF

END IF

4.4 Risultati Computazionali

In questa sezione, vengono presentati i risultati computazionali ottenuti testando le politiche dinamiche descritte nella sezione precedente. Obiettivo fondamentale è quello di valutare le prestazioni dei diversi modelli proposti e delle politiche dinamiche definite, in termini di efficienza e qualità della soluzione.

Tutti gli esperimenti computazionali sono stati condotti utilizzando il sistema software AIMMS 3.7. Le sperimentazioni sono state eseguite su PC Pentium Intel Core 2 T200 2.0 GHz.

E' importante sottolineare che, per quanto è dato sapere, il problema in esame non è stato affrontato prima. Di conseguenza non sono disponibili istanze di riferimento su cui testare le politiche di controllo sviluppate.

Per questo motivo, gli esperimenti sono stati condotti su problemi test, definiti cercando di essere abbastanza vicini alla realtà logistica di riferimento.

In particolare, gli esperimenti numerici sono stati collezionati su nove differenti classi di istanze, definite considerando un numero crescente di mezzi e di periodi di tempo, come evidenziato in tabella 4.6.

Classe del Problema	Tipo di Mezzi (r)	Periodo(T)
1	3	5
2	3	10
3	5	5
4	5	10
5	7	5

Tabella 4.6: Caratteristiche dei problemi test

Per ciascun tipo di mezzo m , è stato determinato il valore del rendimento unitario R^m e il numero di mezzi disponibili Q_m . In particolare, R^m è stato generato casualmente nell'intervallo $[100, 2000]$; il numero di mezzi di capacità $c(m)$ sono stati generati in maniera random nell'intervallo $[30, 60]$. Per ciascun problema test, è stato simulato circa 50 volte il processo di prenotazione.

In ciascuna simulazione, le richieste di prenotazione sono state generate in modo casuale secondo due fasi fondamentali. Nella prima fase viene determinato il numero di richieste di ciascun prodotto, mentre nella seconda fase vengono generati i tempi di arrivo della prenotazione per ciascun prodotto.

Più specificatamente, nella fase 1, per ciascun prodotto, il numero di richieste viene generato in modo casuale secondo una distribuzione normale, con una certa domanda attesa e un dato coefficiente di variazione. La domanda attesa viene generata nell'intervallo $[10, 25]$, mentre il coefficiente di variazione viene generato in maniera casuale nell'intervallo $[0, 1]$. Dal primo giorno dell'orizzonte di pianificazione vengono effettuate le prenotazioni e la domanda prevista per ciascun prodotto viene aggiornata ogni giorno del periodo di pianificazione.

Nella seconda fase, per ciascun prodotto, i tempi di arrivo della prenotazione di ciascun prodotto vengono generati in maniera random secondo una distribuzione uniforme. In ciascuna delle 50 simulazioni, tutte le richieste di prenotazione per ogni problema test, generate secondo la strategia precedente, vengono processati secondo le politiche, presentate nella sezione precedente.

In [29] è indicato che la valutazione del rendimento può, spesso, essere migliorata attraverso la cosiddetta ri-ottimizzazione ovvero: si risolvono i problemi in modo approssimato, aggiornando ad ogni iterazione la capacità e la domanda, e quindi aggiornando il *booking limits* partizionato o *bid prices*. Secondo questa filosofia, i modelli approssimati vengono risolti all'inizio di ciascun periodo di tempo.

Le politiche di controllo che sono state implementate, vengono riportate in quanto segue:

- $BL^{R^{LP}}$: la politica del booking limits per il modello R^{LP} ;
- $BL^{\bar{R}^{LP}}$: la politica del booking limits per il modello \bar{R}^{LP} ;
- $BP^{R^{LP}}$: la politica del booking limits per il modello R^{LP} come descritta nella sezione degli approcci di soluzione;
- $BP^{\bar{R}^{LP}}$: la politica del booking limits per \bar{R}^{LP} come descritta nella sezione degli approcci di soluzione;
- $OC^{R^{LP}}$: la politica dell' opportunity cost su R^{LP} . Per meglio comprendere l'importanza dell' Opportunity Cost è necessario riferirsi a [?];
- $OC^{\bar{R}^{LP}}$: Opportunity cost policy per \bar{R}^{LP} .

In aggiunta, gli esperimenti computazionali sono stati effettuati considerando altre due politiche, BPM e BPI , basate sulle approssimazioni della politica di bid price.

- $BPM^{R^{LP}}$: la politica del bid price medio per il modello R^{LP} . La richiesta di un mezzo di tipo m dal giorno i al giorno j viene valutata considerando il valor medio del prezzo ombra sull'intervallo di tempo $[i, j]$. Più specificatamente, il valore di rendimento R^m viene confrontato con $\gamma_{average} = \frac{\gamma_{m'}^i + \gamma_{m'}^{i+1} + \dots + \gamma_{m'}^j}{(j-i)}$;
- $BPM^{\bar{R}^{LP}}$: la politica del bid price medio per il modello \bar{R}^{LP} . Questa politica si ottiene considerando come prezzi ombra $\bar{\gamma}_{average} = \frac{\bar{\gamma}_{m'}^i + \bar{\gamma}_{m'}^{i+1} + \dots + \bar{\gamma}_{m'}^j}{(j-i)}$ and $\eta_{average} = \frac{\eta_k^i + \eta_k^{i+1} + \eta_k^j}{(j-i)}$;

Problemi Test					
ARPE	Classe 1 0.73%	Classe 2 1.52%	Classe 3 0.83%	Classe 4 2.57%	Class 5 2.09%

Tabella 4.7: Confronto tra i problemi R^{LP} and \bar{R}^{LP} in relazione alla qualità della soluzione

- $BPI^{R^{LP}}$: la politica del bid price del tempo iniziale per il modello R^{LP} . Questa politica viene ottenuta confrontando R^m with $\gamma_{m'}^i$
- $BPI^{\bar{R}^{LP}}$: la politica del bid price del tempo iniziale per il modello \bar{R}^{LP} . Questa politica viene ottenuta confrontando R^m with $\gamma_{m'}^i$ and with η_k^i in caso di *upgrades*.

In questa prima fase di analisi, gli esperimenti computazionali sono stati eseguiti per valutare le prestazioni del modello approssimato \bar{R}^{LP} , in termini di qualità della soluzione. In particolare, a partire dalle soluzioni del modello \bar{R}^{LP} , è stato determinato il rendimento effettivo $\bar{R}_{effettivo}^{LP}$ utilizzando la funzione (4.6a) e il valore corrispondente è stato confrontato con i rendimenti ottenuti risolvendo il modello R^{LP} . I risultati relativi al confronto tra i modelli sono stati riportati nella tabella 4.7, in cui per ciascuna classe di problemi test, l'errore percentuale medio relativo $EPMR$ viene evidenziato come segue:

$$EPMR = \frac{\sum_{i=1}^{\# \text{ di istanze}} \frac{R_i^{LP} - \bar{R}_{effettivo}^{LP}}{R_i^{LP}}}{\# \text{ di istanze}} \times 100.$$

I risultati computazionali raccolti sottolineano che, come previsto, il modello R^{LP} , fornisce soluzioni di qualità migliore rispetto a quelle determinate dal modello \bar{R}^{LP} . Tuttavia, il peggioramento è limitato (2,57% nel peggiore dei casi), e, quindi, entrambi i modelli possono essere utilizzati per affrontare il problema in esame. In tabella 4.8 e 4.9 si riporta, per ciascuna politica e per ciascuna classe di istanze, il rendimento medio, ottenuto applicando entrambi i modelli. Per quel che riguarda il comportamento qualitativo delle politiche proposte, i risultati numerici ottenuti suggeriscono, che per entrambi i modelli e per tutti i problemi test, la miglior politica è quella basata sulla strategia del booking limits, mentre il caso peggiore si è ottenuto in corrispondenza della politica opportunity cost. In particolare, il rendimento medio, ottenuto utilizzando la politica $BL^{R^{LP}}$, è pari a

1064302, mentre per la politica $OC^{R^{LP}}$ è pari a 879351.30.

Un comportamento simile è stato osservato risolvendo il modello \bar{R}^{LP} (ad esempio il rendimento medio è di 1074590 e 888406 per la politica BL^{LP} e $OC^{\bar{R}^{LP}}$).

R^{LP} Rendimento Medio					
Classe dei Problemi	$BL^{R^{LP}}$	$BP^{R^{LP}}$	$ABP^{R^{LP}}$	$IBP^{R^{LP}}$	$OC^{R^{LP}}$
1	234868	223590	225366	215829	178849
2	543481	529684	536957	520620	400549
3	746576	697445	697476	662946	637203
4	1727086	1683263	1681977	1635106	1452373
5	2069500	1890394	1891840	1806238	1727782
Media	1064302	968147.80	1006723	1004875	879351.30

Tabella 4.8: Rendimento medio ottenuto applicando il modello R^{LP} model

\bar{R}^{LP} Rendimento Medio					
Classe dei Problemi	$BL^{\bar{R}^{LP}}$	$BP^{\bar{R}^{LP}}$	$ABP^{\bar{R}^{LP}}$	$IBP^{\bar{R}^{LP}}$	$OC^{\bar{R}^{LP}}$
1	236692	227364	223387	223555	178983
2	552053	532130	522684	535571	404064
3	752967	709375	709898	709898	646843
4	1737835	1666865	1669199	1737940	1460382
5	2093403	1983628	1946560	1984355	1751758
Media	1074590	1038264	1014346	1023872	888406

Tabella 4.9: Valore del Rendimento Medio ottenuto risolvendo il modello \bar{R}^{LP} model

Confrontando i risultati ottenuti, utilizzando le politiche di bid price, si osserva che per il problema R^{LP} , la politica di bid price del tempo iniziale non ha risulta avere un buon comportamento computazionale con tutti i problemi test, mentre ssi ottengono prestazioni ottenute simili per le altre due politiche.

Nel caso del problema \bar{R}^{LP} , le prestazioni risultano simili tra le diverse politiche, con un comportatmento leggermente migliore per quel che riguarda la politica del bid price, $BPI^{\bar{R}^{LP}}$. Il modello \bar{R}^{LP} risulta avere un comportamento migliore per tutti i casi testati.

Sono stati messi a confronto il “rendimento dinamico” con il rendimento detto “deterministico”, ovvero il rendimento ottenuto risolvendo i modelli R^{LP} e \bar{R}^{LP} all’inizio del periodo di osservazione, considerando i valori di domanda media.

In particolare, si calcola l’errore percentuale medio rispetto al rendimento de-

terministico nel seguente modo:

$$EPM = \frac{R_d - R_i}{R_d} \times 100,$$

dove R_d rappresenta il rendimento deterministico, mentre R_i denota il rendimento dinamico ottenuto applicando l' i -ma politica.

Classe dei Problemi	Policy				
	$BL^{R^{LP}}$	$BP^{R^{LP}}$	$ABP^{R^{LP}}$	$IBP^{R^{LP}}$	$OC^{R^{LP}}$
1	0.18%	8.27%	4.22%	4.98%	23.99%
2	1.51%	5.65%	2.69%	4.01%	27.41%
3	0.85%	11.96%	7.37%	7.37%	15.37%
4	0.87%	6.15%	3.46%	3.39%	16.64%
5	1.14%	13.72%	9.63%	9.70%	17.47%
Media	0.91%	9.15%	5.47%	5.89%	20.18%

Tabella 4.10: Confronto tra il rendimento deterministico e il rendimento dinamico per il modello R^{LP}

Classe dei Problemi	Policy				
	$BL^{\bar{R}^{LP}}$	$BP^{\bar{R}^{LP}}$	$ABP^{\bar{R}^{LP}}$	$IBP^{\bar{R}^{LP}}$	$OC^{\bar{R}^{LP}}$
1	0.00%	5.55%	5.62%	3.94%	24.38%
2	0.00%	2.99%	5.32%	3.61%	26.81%
3	0.00%	5.72%	5.72%	5.79%	14.09%
4	0.01%	0.00%	3.96%	4.09%	15.97%
5	0.00%	5.21%	7.01%	5.24%	16.32%
Media	0.00%	3.89%	5.53%	4.53%	19.51%

Tabella 4.11: Confronto tra il rendimento deterministico e il rendimento dinamico per il modello \bar{R}^{LP}

I risultati computazionali di tabella 4.10 e tabella 4.11 mostrano che il rendimento ottenuto, applicando la politica di booking limits è molto vicino al valore di rendimento ottenibile, nel caso in cui si conosca perfettamente la domanda. Infatti, la media percentuale di errore è pari a 0,91% e 0,00% per R^{LP} e \bar{R}^{LP} , rispettivamente.

Inoltre, le prestazioni risultano peggiori utilizzando la politica dell'opportunity cost (vale a dire, EPM è uguale a 20,18% e 19,51% per R^{LP} e \bar{R}^{LP} , rispettivamente). Al fine di valutare il comportamento computazionale delle politiche proposte, in

termini di sforzo computazionale, si riporta di seguito, nelle tabelle 4.4-4.13, il tempo medio di esecuzione (in secondi) per ciascuna classe di problemi test

Classe dei Problemi	$BL^{R^{LP}}$	$BP^{R^{LP}}$	$ABP^{R^{LP}}$	$IBP^{R^{LP}}$	$OC^{R^{LP}}$
1	0.96	2.14	3.43	4.95	6.12
2	1.98	5.98	7.30	5.67	21.77
3	1.72	4.86	8.16	8.40	11.76
4	3.01	12.92	13.74	12.67	63.67
5	2.11	6.89	6.45	9.20	23.79
Media	1.96	6.56	7.81	8.18	25.42

Tabella 4.12: Tempo di esecuzione delle politiche proposte per il modello R^{LP}

Classe dei Problemi	$BL^{\bar{R}^{LP}}$	$BP^{\bar{R}^{LP}}$	$ABP^{\bar{R}^{LP}}$	$IBP^{\bar{R}^{LP}}$	$OC^{\bar{R}^{LP}}$
Test	BL	BP	ABP	SBP	OC
1	0.74	1.92	3.24	3.43	5.55
2	1.86	5.95	4.60	4.62	21.74
3	1.67	4.03	3.29	4.36	9.18
4	2.95	9.35	7.65	6.90	43.73
5	1.87	6.11	5.05	8.56	16.56
Media	1.82	5.47	4.77	5.57	19.35

Tabella 4.13: Tempo di esecuzione delle politiche proposte per il modello \bar{R}^{LP} model

I risultati computazionali mostrano che il tempo computazionale dipende dalla dimensione del problema, che viene risolto, e dalla particolare politica utilizzata (ad esempio il numero di mezzi di tipo r e il numero di istanti di tempo T).

In effetti, come atteso ([29]), il comportamento computazionale peggiore si utilizzando la politica dell'opportunità cost, a causa del fatto che ad ogni richiesta è necessario risolvere nuovamente il problema.

Diversamente, la politica del booking limits risulta avere il comportamento migliore. In particolare, un tempo medio di esecuzione, pari a 1,82 e 19,35 secondi, è stato ottenuto eseguendo rispettivamente le politiche $BL^{R^{LP}}$ e $OC^{R^{LP}}$.

Un comportamento simile è stata osservato considerando il modello \bar{R}^{LP} , più specificatamente, il tempo medio di esecuzione della politica $BP^{\bar{R}^{LP}}$ è 1,96 secondi, mentre la politica di $OC^{\bar{R}^{LP}}$ richiede mediamente 25,42 secondi per risolvere i problemi test considerati.

Dai risultati collezionati nelle Tabelle 4.4-4.13, si evince che le diverse politiche

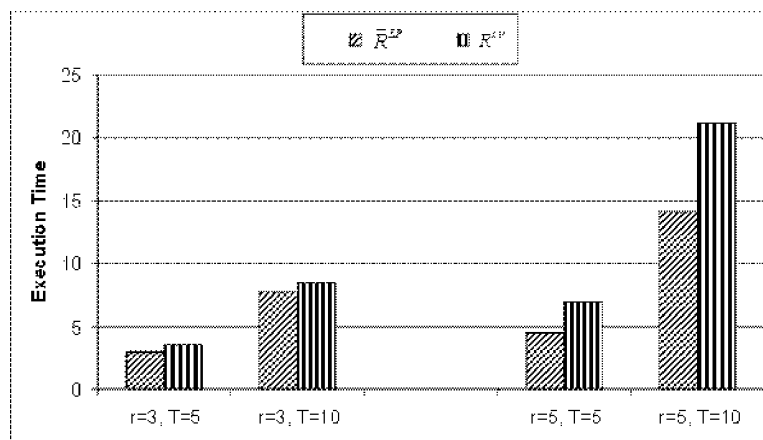


Figura 4.4: Tempi di Esecuzione Medi delle politiche proposte (in seconds).

basate sul bid price si comportano in maniera simile. Per quanto riguarda, l'influenza del tipo di problema sul costo computazionale, i risultati sottolineano che per un dato numero di periodi di tempo, maggiore è il numero di tipi di mezzi, più alto è il tempo di esecuzione; alternativamente, se si mantiene costante il numero di tipi di mezzi aumentando il numero di periodi di tempo, il costo computazionale aumenta.

Questa tendenza viene, chiaramente, illustrata in figura 4.5, dove si mettono in relazione i tempi medi di esecuzione delle diverse politiche. Ad esempio, il tempo di esecuzione medio delle politiche per il modello \bar{R}^{LP} , quando $T = 5$ è pari a 2,98, 4,51 e 7,63 secondi, se il numero di tipi di mezzi è pari a 3, 5 e 7, rispettivamente; diversamente, si considera 10 istanti di tempo, il tempo medio di esecuzione è 7,75 secondi e 14,12 secondi, è stato ottenuto nel caso di $r = 3$ e $r = 5$, rispettivamente. Se si mantiene costante il numero di tipi di mezzi, per esempio $r = 3$, il tempo medio di esecuzione è pari a 2,98 e 7,75 secondi per $T = 5$ e $T = 10$, rispettivamente. Un simile comportamento è stato, anche, osservato per le politiche applicate al modello R^{LP} , come evidenziato dai dati riportati nelle tabelle 4.4 e figura 4.5.

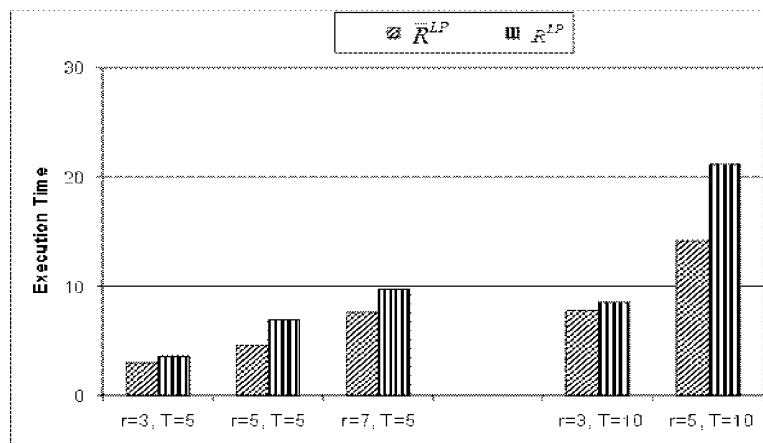


Figura 4.5: Tempi di Esecuzione Medi delle politiche proposte (in seconds).

Conclusioni

Nel corso del presente lavoro sono stati presentati modelli e metodi di revenue management per affrontare un particolare problema di trasporto.

Più precisamente, è stato considerato come problema di riferimento quello di un operatore logistico, che vuole noleggiare i propri prodotti, in modo tale da massimizzare i ricavi.

Nel contesto preso in esame, un prodotto di un certo tipo è un mezzo di trasporto caratterizzato da un dato livello di capacità, che può essere noleggiato per un certo periodo di tempo.

L'obiettivo è quello di stabilire quali mezzi noleggiare e per quanto tempo, in modo tale da soddisfare la domanda, che è non nota con certezza, e rispettando i vincoli di disponibilità dei mezzi stessi. Viene considerata anche la possibilità di seguire una strategia di upgrade, ovvero è possibile soddisfare la richiesta di un mezzo di una data capacità, con un mezzo di capacità superiore.

Il problema preso in esame è stato formulato mediante un modello di programmazione dinamica. Tale modello è stato prima approssimato mediante un modello lineare intero e successivamente, dopo aver dimostrato la totale unimodularità della matrice dei vincoli, è stato ridefinito come problema di programmazione lineare.

Al fine di affrontare il problema considerato, sono state definite opportune politiche di controllo della capacità e del prezzo, in particolare sono state considerate la politica del *booking limits*, del *bid prices* e dell'*opportunity cost*.

Con l'obiettivo di validare le prestazioni dei metodi proposti in termini di efficienza e robustezza (qualità della soluzione), è stata effettuata una articolata fase di sperimentazione, utilizzando un ampio ventaglio di problemi test, generati in maniera casuale. Le istanze sono state costruite in modo tale da rappresentare adeguatamente la situazione di una azienda di noleggio di medie dimensioni.

Gli esperimenti computazionali condotti hanno evidenziato la correttezza dei modelli e delle politiche sviluppate ed hanno dimostrato che i modelli approssimati proposti consentono di rappresentare adeguatamente il problema oggetto di studio.

Di conseguenza, si può considerare raggiunto con successo l'obiettivo di utilizzare le tecniche del revenue management per affrontare il problema del noleggio ottimale di mezzi di trasporto.

Bibliografia

- [1] The basic of revenue management. *IDeaS*.
- [2] Bell Russel A. *Corporate Travel-Management Trends and hotel-marketing Strategies*. Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly, 1993.
- [3] Gosavi A., N. Bandla, and Das T.K. A reinforcement of learning approach to a single leg airline revenue management problem with multiple fare classes and overbooking. *IIE Transactions*, Vol. 34, pp. 729-742, 2002.
- [4] Ralph D. Badinelli. An optimal dynamic policy for hotel yield management. *Virginia Polytechnic Institute and State University*, 1998.
- [5] William J. Carroll and Richard C. Grimes. Evolutionary change in product management: Experiences in the car rental industry. *Interfaces*, 25(5), pp. 84-104, 1995.
- [6] Anderson C.K., Davison M., and Rasmussen H. Revenue management: A real options approach. *Naval Logistics Research*, 2004.
- [7] M. Davison C.K. Anderson and H. Rasmussen. Revenue management: A real options approach. *Naval Logistics Research*, 2004.
- [8] R. Cross. *An Overview in Yield Management: Strategies for the Service Industries*. Broadway Books, 1997.
- [9] Robert G. Cross. *The Handbook of Airline Economics*. Aviation Weekly Group of McGraw-Hill Companies, 1995.
- [10] R.E. Curry. Optimal airline seat allocation with fare classes nested by origins and destinations. *Transportation Science*, 24(3), pp. 193-204, 1990.

- [11] Bertsimas D. and Popescu I. Revenue management in a dynamic network environment. *Transportation Science*, Vol. 37, pp.257-277, 2003.
- [12] Bertsimas D. and Shioda R. Restaurant revenue management. *Operations Research*, Vol. 51, pp. 472-486, 2003.
- [13] Chen D. Network flows in hotel yield management. *Working Paper TR1225*, Cornell, University, 1998.
- [14] Zatta D. *Revenue Management*. Hoepli, 2007.
- [15] Zhang D. and Copper W.L. Revenue management in parallel flights with customer choice behavior. *Operations Research*, Vol. 53, pp.415-434, 2005.
- [16] Freling R. De Boer S.V. and Piersma N. Mathematical programming for network revenue management revisited. *European Journal of Operational Research*, Vol. 137, pp. 72-92, 2002.
- [17] R. Desiraju and S.M. Shugan. Strategic service pricing and yield management. *Journal of Marketing*, Vol.63, pp. 368-377, 1999.
- [18] Bertsimas D.J. and PopescuI. Revenue management in a dynamic network environment. *Transportation Science*, 37 pp. 257-277, 2003.
- [19] Kimes Sheryl E. *An Overview in Yield Management: Strategies for the Service Industries*. Redwood Books,Tronbrige, 1997.
- [20] Orkin E.B. Boosting your bottom line with yield management. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, Vol. 28, Num. 4, pp. 52-56, 1998.
- [21] Ballow R. H. *Business Logistics Management*. Prentice Hall, 1992.
- [22] Liebermann Warren H. Debunking the myths of yield management. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quaterly*.
- [23] Schwartz Z. Hiemstra S. Improving the accuracy of hotel reservation forecasting: curve similarity approach. *Journal of Travel Research*, Summer pp. 3-14, 1997.

- [24] Yeoman I. and Watson S. Yield management: A human activity system. *International Journal Contemporary Hospitality Management* 2/3 pp. 80-83, 1997.
- [25] Lai K-K. and Ng W-L. A stochastic approach to hotel revenue optimization. *Computers & Operations Research*, Vol. 32, pp. 1059-1072, 2005.
- [26] S.E. Kimes. The basic of yield management. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quaterly*, Vol.80, Num.3, pp. 14-19, 1989.
- [27] S.E. Kimes and J. Wirtz. 'has revenue management become acceptable?'. *Journal of Service Research*, Vol.6 pp. 125-135, 2003.
- [28] Sheryl E. Kimes. Revenue managemen: A retrospective. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, 2003.
- [29] Talluri K.T. and Van Ryzin G.J. *Theory and Practice of Revenue Management*. Springer, 2004.
- [30] Cooper W. L. Pathwise properties and performance bounds for a perishable inventory system. *Operations Research*, 49, pp. 455-466, 2001.
- [31] Weatherfors L. Simulated revenue impact of a new revenue management strategy under the assumption of realistic fare data. *Journal of Revenue & Pricing Management*, Vol. 1, pp. 35-49, 2002.
- [32] Littlewood. Forecasting and control of passenger bookings. *AGIFORS Symposium Proceedings*, 1972.
- [33] J.I. McGill and G.J. Van Razyn. Revenue management: Research overview and prospects. *Transportation Science*, 33(2), pp. 233-256, 1999.
- [34] Berge M.E. and Hopperstad C.A. The demand driven dispatch: a method for dynamic aircraft assignment, models and algorithms. *Operations Research*, 1993.
- [35] Geraghty M.K. and Johnson E. Revenue management saves national car rental. *Interfaces*, Vol. 27, pp. 107127, 1997.

- [36] M.K.Geraghty and Ernest Johnson. Revenue management saves national car rental. *Interface*, 27, pp. 107-127, 1997.
- [37] Rmisch W. Miller A. and Weber K. A new approach to o&d revenue management based on scenario trees. *Journal of Revenue & Pricing Management*, Vol. 3, pp. 265-276, 2004.
- [38] Wolsey L.A. Nemhauser G.L. *Integer Programming and Combinatorial Optimization*. Wiley-Interscience, 1988.
- [39] Chen V. C. P., Gunther D., and Johnson E. L. A markov decision problem-based approach to the airline ym problem. technical report. *Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, Working Paper*, 1998.
- [40] Chen V. C. P., Gunther D., and Johnson E. L. A bid price heuristic. *Technical report, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, Working Paper*, 1999.
- [41] P.Belobaba. Air travel demand and airline seat inventory management, 1987.
- [42] Cross G. R. *Revenue Management*. Orion Business Book, 1997.
- [43] G.J. Van Razyn and J.I. McGill. Revenue management without forecasting or optimization: An adaptive algorithm for determining seat protection levels. *working paper, Columbia Graduate School of Business and Queens University*.
- [44] R.Badinelli and Michel D.Olson. Hotel yield management using optimal decision rules. *Journal of The International Academy of Hospitality Research*, Novembre, 1990.
- [45] El-Haber S. and El-Taha. Dynamic two-leg airline seat inventory control with overbooking, cancellations and no-shows. *Journal of Revenue & Pricing Management*, Vol. 3, pp. 143-170, 2004.
- [46] Owen S.H. and Daskin M.S. Strategic facility location: A review. european journal of operational research. *European Journal of Operational Research*, 111, vol.3, pag. 423-447, 1998.
- [47] L.V. Snyder. Facility location under uncertainty: A review, forthcoming in. *IIE Transactions*, 2005.

- [48] Savin S.V., Cohen M.A., Gans N., and Katalan Z. Capacity management in rental businesses with two customer bases. *Operations Research*, Vol. 53, pp. 617-631, 2005.
- [49] Koide T. and Ishii H. The hotel yield management with two types of room prices, overbooking and cancellations. *Int. J. Production Economics*, Vol. 93-94, pp. 417-428, 2005.
- [50] W.C.Chiang, J.C.H.Chen, and Xiaojing Xu. An overview of research on revenue management current issues and future research. *Int. J. Revenue Management*, Vol.1, No.1, 2007.
- [51] Liebermann W.H. Debunking the myths of yield management. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, Vol.34, Num.1, pp. 34-41, 1993.
- [52] Carroll W.J. and Grimes R.C. Evolutionary change in product management: experiences in the car rental industry. *Interfaces*, Vol. 25, pp. 84-104, 1995.
- [53] Feng Y. and Xiao B. A dynamic airline seat inventory control model and its optimal policy. *Operations Research*, Vol. 49, pp. 938-949, 2001.