

Strategia di negoziazione dinamica di capacità produttiva

De Falco, Massimo (a)
Nenni, Maria Elena (b)
Schiraldi, Massimiliano M. (c)

- (a) *Università degli Studi di Lecce, Lecce, Italia – defalco@unina.it*
(b) *Università degli Studi di Napoli “Federico II”, Napoli, Italia – nenni@uniroma2.it*
(c) *Università degli Studi di Roma “Tor Vergata”, Roma, Italia – schiraldi@uniroma2.it*

Abstract

In questo lavoro si vuole presentare una strategia di allocazione della capacità produttiva in un sistema con domanda ignota e fortemente aleatoria, attraverso un approccio ibrido centralizzato-distribuito.

L'unità a monte della catena di fornitura assegna dinamicamente la sua capacità a diverse unità a valle in base alle loro richieste ed in base ad una contrattazione svolta nella fase iniziale. La strategia si basa sulla riconfigurazione continua del sistema grazie ad una gestione dinamica della capacità basata su tre semplici regole funzionali. La contrattazione iniziale viene condotta attraverso un innovativo protocollo di negoziazione che consente il raggiungimento di una efficiente allocazione iniziale in un unico passo, senza iterazioni. Nella negoziazione l'unica leva è il prezzo, ed ogni entità svolge un ruolo indipendente e determinante.

Nel modello viene considerato uno stringente vincolo di capacità che ha suggerito l'applicazione dell'overbooking di capacità produttiva; vengono inoltre tenuti in conto i costi di set-up per le riconfigurazioni del sistema ed un vincolo di non discriminazione tra le unità del livello più basso.

La strategia è stata applicata per lo studio del posizionamento commerciale di un fornitore satellitare di capacità di trasmissione con risultati soddisfacenti.

Introduzione

L'ambito di ricerca in cui si colloca questo lavoro è quello della gestione della capacità produttiva in un sistema B2B2C; una unità al primo livello gestisce una risorsa critica richiesta da una moltitudine di unità al secondo livello; la domanda è aleatoria e fortemente variabile e gli approcci con cui tradizionalmente vengono affrontati problemi simili a questo, ovvero il ricorso alle scorte o alla flessibilità produttiva, non sono però applicabili:

- L'unità al primo livello (unità *a monte*, da qui in poi indicata con la sigla 1LU), sfruttando la risorsa critica, ripartisce la sua capacità produttiva tra le unità del secondo livello (unità *a valle*, da qui in poi indicate con la sigla 2LU), che la utilizzano per fornire un *servizio* all'utente finale. La capacità produttiva della 1LU non può essere immagazzinata visto che la produzione e la fruizione del servizio sono contestuali;
- La capacità produttiva è una variabile istantanea, limitata superiormente da un vincolo imposto dall'architettura del sistema. La risorsa critica è scarsa rispetto alla effettiva necessità delle unità a valle; inoltre ha un costo elevato, quindi un sovradimensionamento della capacità rispetto al consumo medio è possibile né conveniente, poiché statisticamente

una parte della risorsa andrebbe sprecata; di conseguenza, la flessibilità produttiva non può rappresentare una soluzione al problema.

- La domanda è aleatoria e fortemente variabile. La curva di domanda non è nota né per le unità del secondo livello né per l'utente finale. Come ipotesi supporremo di conoscere solo la pendenza della curva, negativa in virtù dell'effetto *snobismo*.
- La 1LU non è in grado di discriminare tra le 2LU e deve determinare un prezzo unico per la capacità produttiva. Il numero di 2LU è determinato a priori, sono tutte indipendenti le une dalle altre e ciascuna di esse massimizza il proprio profitto. L'unica variabile di controllo del sistema è il prezzo dell'unità di capacità produttiva.

L'obiettivo è la massimizzazione del profitto della unità del primo livello nel rispetto del raggiungimento di una configurazione produttiva efficiente tra le unità del secondo livello. La soluzione viene raggiunta con la seguente strategia:

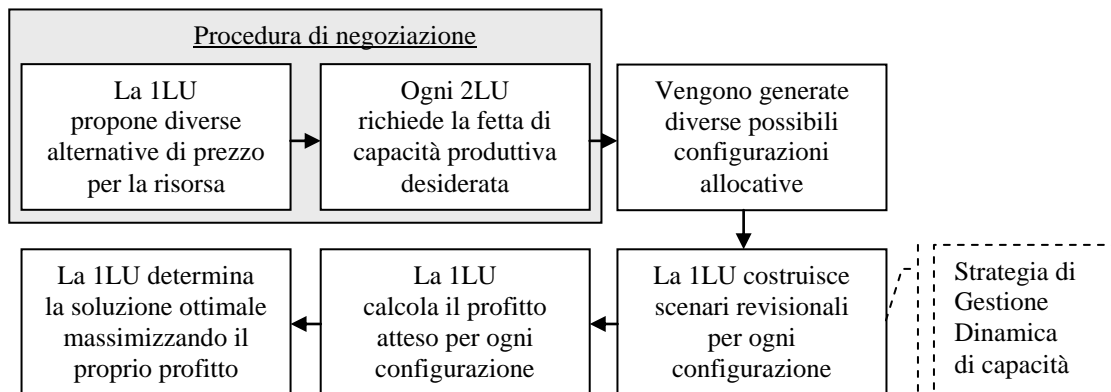
- Attraverso una procedura di negoziazione *one-step* ed evitando le inefficienze derivanti dalle negoziazioni ripetute, si determina l'allocazione iniziale della capacità alle single 2LU e gli eventuali margini di oscillazione. L'allocazione raggiunta è Pareto-efficiente e la procedura di negoziazione è costruita in modo tale da eliminare quasi totalmente la possibilità di distorsioni della contrattazione attraverso comportamenti opportunistici;
- Attraverso una gestione dinamica della risorsa, la capacità produttiva viene istante per istante ri-assegnata alle 2LU in base alla richiesta; in questo modo diventa possibile attuare una tecnica di *overbooking* negoziando nella prima fase una quantità di risorsa superiore al disponibile e massimizzando di conseguenza il profitto dell'unità a monte. La gestione dinamica diventa di conseguenza una attività strategica estremamente delicata il cui funzionamento si fonderà sulla sfruttamento di una riserva di capacità produttiva esclusa dalla negoziazione – la *contingency* – usata per incrementare la flessibilità quando l'*overbooking* conduce a situazioni di emergenza.

La soluzione finale, che consiste nella determinazione del prezzo dell'unità di capacità produttiva, della configurazione iniziale di allocazione di capacità e nel dimensionamento della *contingency*, viene raggiunta attraverso un approccio ibrido centralizzato-distribuito; le unità a valle determinano le quantità e l'unità a monte fissa il prezzo unitario. Ogni esigenza delle 2LU viene tenuta in conto come vincolo, mentre la 1LU mantiene la supervisione ed il controllo della intera procedura decisionale. La gestione dinamica della capacità è semplicemente implementata in base all'osservanza di tre regole fondamentali esposte nel prossimo paragrafo.

L'unico reale requisito per l'applicabilità delle presente procedura è una adeguata flessibilità e velocità nella riconfigurazione del sistema; per attuare la gestione dinamica è necessario effettuare allocazioni e disallocazioni di capacità in tempo reale dalle singole 2LU; in particolare nel modello si tiene conto di un costo – che è possibile intendere come un costo di di setup o una penale - da sopportare ad ogni disallocazione di capacità da una 2LU.

La strategia è stata applicata per lo studio del posizionamento commerciale di un fornitore satellitare di connettività a banda larga (1LU) che doveva allocare la risorsa critica – la banda di trasmissione – tra un certo numero di service providers (2LU) federati in un consorzio in tutta Europa; la limitata capacità a bordo del satellite ha imposto la ricerca di una strategia che ottimizzasse il consumo della risorsa massimizzando al contempo il profitto. I risultati raggiunti e la differenza in termini di convenienza rispetto all'applicazione delle strategie tradizionali di gestione della banda è significativa.

Di seguito viene riassunto lo schema della strategia proposta:



Gestione dinamica della capacità

Prima di tutto occorre descrivere le caratteristiche del contratto stipulato tra i due livelli: in seguito alla negoziazione, ogni 2LU *prenota* una porzione della capacità produttiva della 1LU. La tariffa non si basa sul consumo effettivo ma sulla capacità richiesta, altrimenti non sarebbe possibile utilizzare la tecnica dell'overbooking. La procedura di prenotazione prevede comunque due diverse modalità di prenotazione della capacità produttiva:

- La n -esima 2LU prenota della capacità con la richiesta che sia a lei dedicata il 100% del tempo; ciò significa che in qualsiasi momento la 2LU dovesse aver bisogno di capacità produttiva, la 1LU dovrà renderla disponibile immediatamente. La possibilità che la 1LU rifiuti la fornitura di capacità produttiva garantita ad una 2LU che la richiedesse non è contemplata, ovvero si può ipotizzare che si debba sopportare una penale di costo troppo elevato. Indicheremo la capacità prenotata con questa modalità con la denominazione di *capacità garantita*. (Q^n_{Gua}).
- La n -esima 2LU richiede che le venga concessa occasionalmente la possibilità di oltrepassare il limite che ha richiesto come capacità garantita Q^n_{Gua} fino a raggiungere un altro limite che chiameremo *capacità massima* (Q^n_{Max}). Qualora la stessa 2LU richiedesse la quantità Q^n con $Q^n_{Gua} < Q^n < Q^n_{Max}$, la 1LU dovrà assegnarla solo nel caso in cui della capacità inutilizzata fosse presente nel sistema; se questo non dovesse succedere, nessuna penale verrà attribuita alla 1LU.

Questa tipologia di contratto, che distingue tra *capacità garantita* e *capacità massima* è largamente impiegata ad esempio tra fornitori di servizi di trasmissione dati. In base alle definizioni, si ha $Q^n_{Max} \geq Q^n_{Gua}$. Possiamo definire *capacità a disponibilità variabile* la quantità $Q^n_{VA} = Q^n_{Max} - Q^n_{Gua}$. Inoltre definiremo *capacità complessivamente prenotata* la quantità Q^T_{Max} dove

$$Q^T_{Max} = \sum_{n:1}^N Q^n_{Max} = \sum_{n:1}^N (Q^n_{Gua} + Q^n_{VA}) \quad [1]$$

e *capacità complessivamente garantita* la quantità Q^T_{Gua} dove

$$Q_{Gua}^T = \sum_{n:1}^N Q_{Gua}^n \quad [2]$$

Se ora indichiamo con Q_{Tot} la capacità complessivamente disponibile nel sistema, ne segue che la riserva di *contingency* Q_{Con} sarà definita come

$$Q_{Con} = Q_{Tot} - Q_{Gua}^T \quad [3]$$

Si noti che, in base alla formula precedente, la riserva di *contingency* risulta come capacità produttiva che non è stata venduta come *garantita*. Si noti che, considerato che la *capacità a disponibilità variabile* ha ragionevolmente un prezzo inferiore alla *capacità garantita*, il volontario declassamento di una porzione di capacità vendibile da *garantita* a *a disponibilità variabile* comporta la riduzione dei ricavi.

Descriviamo adesso le tre regole che sottostanno alla tecnica di gestione dinamica della capacità produttiva:

- 1) ogni n -esima 2LU può in qualsiasi momento richiedere ed utilizzare capacità produttiva fino al limite di Q_{Gua}^n senza che la 1LU possa impedirlo;
- 2) ogni n -esima 2LU può in qualsiasi momento richiedere ed utilizzare capacità produttiva oltre il limite di Q_{Gua}^n e fino al limite di Q_{Max}^n sempre se sia presente della capacità produttiva inutilizzata nel sistema.
- 3) La 1LU in qualsiasi momento può disallocare capacità produttiva in uso da quelle 2LU che stanno superando il loro limite Q_{Gua}^n attraverso il pagamento di una penale. Questa procedura di disallocazione viene invocata ogni qual volta una m -esima 2LU dovesse improvvisamente richiedere capacità fino a Q_{Gua}^m e questa non fosse disponibile. Il costo della penale è un parametro del modello che chiameremo *costo di disallocazione* (C_{DA}) e si riferisce ad una singola unità di capacità produttiva disallocata.

La ricorrenza della procedura di disallocazione dipende da diversi parametri tra cui la configurazione iniziale di allocazione di capacità produttiva ottenuta in seguito alla negoziazione. Maggiore Q_{Gua}^T , minore la *contingency* Q_{Con} , maggiore il rischio di invocazione della procedura di disallocazione.

E' possibile calcolare il valore atteso del costo di disallocazione della capacità produttiva al tempo t in base a ciascuna configurazione iniziale: ovviamente non si tratta di una univoca espressione sempre valida in ogni contesto applicativo, poiché le caratteristiche dello scenario influenzano significativamente questa valutazione e dovrebbero essere considerate in maniera diversa di volta in volta. In un caso generico, adatto alla rappresentazione del caso aziendale in analisi, si è trovato

$$E[Q_{DA}(t)] = (1 - \alpha) \cdot [(1 + \rho^T) \cdot E[Q(t)] - Q_{Tot}] \quad [4]$$

Dove $E[Q(t)]$ indica il valore atteso della quantità complessiva di risorsa disallocata al tempo t . Esso dipende dai seguenti fattori:

- La quantità complessiva di risorsa disponibile nel sistema, Q_{Tot} ;
- La distribuzione di probabilità del consumo istantaneo di risorsa, $Q(t)$ delle 2LU;
- Il grado di omogeneità delle 2LU, α ;
- La percentuale di risorsa garantita sul totale, ρ^T definite come

$$\rho^T = \frac{Q_{Gua}^T}{Q_{Gua}^T} \quad [5]$$

Per quanto riguarda il parametro α è necessario effettuare un breve approfondimento: il valore $\alpha = 0$ indica totale indipendenza del comportamento di ciascuna 2LU da quello delle altre, e questo si riflette in richieste di capacità produttiva diverse per tempismo e quantità. Questa modellizzazione è utilizzabile quando il numero di 2LU è alto ed il valore atteso delle loro richieste è piccolo rispetto alla capacità totalmente disponibile. In teoria, per una popolazione di 2LU infinitamente grande e con comportamenti perfettamente scorrelati si può assumere la presenza di un fenomeno compensativo tra le richieste di capacità produttiva e la totale assenza di rischi di disallocazione. Al contrario il valore $\alpha = 1$ rappresenta uno scenario oligopolistico in cui poche 2LU competono per accedere a grandi capacità, formulando richieste sincrone ed identiche per quantità; in questo caso il rischio di disallocazione è massimo.

La dimostrazione della formula che descrive $E[Q_{DA}(t)]$ così come una ulteriore descrizione dell'origine, dell'andamento e dei valori caratteristici del parametro α è omessa perché va ben oltre i limiti del presente contesto espositivo. Si rimanda perciò a future pubblicazioni.

Moltiplicando il valore atteso della capacità disallocata per il costo della penale di disallocazione si ottiene

$$E[C_{DA}(t)] = C_{DA} \cdot E[Q_{DA}(t)] \quad [6]$$

ovvero

$$E[C_{DA}(t)] = f(C_{DA}, Q_{Max}^T, Q_{Gua}^T, \alpha, E[Q(t)]) \quad [7]$$

In questo modo possiamo stimare il valore atteso del costo che la 1LU dovrà sopportare qualora le 2LU dovesse richiedere un contratto con un valore di capacità garantita pari a Q_{Gua}^T , essendo gli altri parametri solamente delle variabili d'ambiente. Questa espressione verrà utilizzata nella determinazione della configurazione finale della capacità produttiva.

Protocollo di negoziazione

Il protocollo di negoziazione consiste in tre passi non ripetuti in cui vengono determinati sia il prezzo unitario sia la configurazione iniziale di allocazione della capacità produttiva tra le 2LU.

- 1) la 1LU comunica alle 2LU un *vettore di prezzi* (P). Ogni elemento $[P_i]$ del vettore rappresenta un prezzo unitario potenziale della capacità produttiva;
- 2) ogni n -esima 2LU risponde con un *vettore di richieste* (Q^n) di uguale dimensione. Ogni elemento $[Q^n_i]$ è una coppia ($Q_{Gua} ; Q_{VA}$) che corrisponde univocamente all'elemento $[P_i]$: i valori della coppia rappresentano la quantità di risorsa rispettivamente *garantita* ed *a disponibilità variabile* che l' n -esima unità si impegna a richiedere nel caso la 1LU stabilisca esattamente $[P_i]$ come prezzo unitario finale della capacità produttiva;
- 3) la 1LU organizza i dati raccolti in una tabella, elimina le soluzioni che infrangono i vincoli di sistema, calcola i valori attesi del risultato economico per ogni prezzo potenziale e determina la soluzione ottima in corrispondenza di $[P^*]$. A questo punto conferma la configurazione allocativa prescelta.

Le caratteristiche del vettore (P), lunghezza e passo di incremento dei prezzi potenziali sono dei parametri importanti del modello e dovrebbero essere fissati a seconda dello scenario operativo. Analizziamo adesso la procedura attraverso la quale la 1LU determina il prezzo [P^*] sulla tabella: consideriamo innanzitutto il vettore (P) ordinato verticalmente in maniera tale che tra gli elementi [P_i] valga la relazione:

$$P_1 > P_2 > P_3 > P_4 > \dots > P_K \quad [8]$$

Affiancando a destra del vettore (P) gli n vettori di richiesta che provengono dalle n 2LU otteniamo una tabella indicata come *tabella P/Q*:

		2LU					
		1	2	3	4	...	N
Tab.P/Q	P	Q^1	Q^2	Q^3	Q^4	...	Q^N
	P_1	Q^1_{1}	Q^2_{1}	Q^3_{1}	Q^4_{1}	...	Q^N_{1}
	P_2	Q^1_{2}	Q^2_{2}	Q^3_{2}	Q^4_{2}	...	Q^N_{2}

	P_K	Q^1_K	Q^2_K	Q^3_K	Q^4_K	...	Q^N_K

In base all'ipotesi di assenza di *effetto snobismo* possiamo ritenere valida la relazione:

$$Q^j_i \leq Q^i_l \quad \text{per } j \geq l \quad [9]$$

Aggiungiamo adesso altre due colonne che rappresentano i vettori (Q^T_{Gua}) e (Q^T_{Max}) e verifichiamo la rispondenza ai vincoli:

- 1° vincolo: essendo la risorsa limitata, le righe dove ($Q^T_{Gua} > Q_{Tot}$) non sono accettabili, perché esiste la possibilità statistica che si verifichi una richiesta di capacità garantita che superi la disponibilità del sistema; questa situazione non è accettabile perché configge con la prima regola della gestione dinamica della risorsa esposta in precedenza.
- 2° vincolo: la necessità di evitare la discriminazione tra le 2LU forza la 1LU ad escludere dalla soluzione quelle righe dove appaiono degli 0; le colonne corrispondenti a tali valori infatti indicano le 2LU che non sono disposte ad accettare la fornitura di capacità produttiva al prezzo della corrispondente riga, e fissare quel prezzo come soluzione finale significherebbe di fatto escluderle dalla fornitura. Si sottolinea il fatto che la presenza o l'assenza di questo vincolo non modifica la struttura di base del modello e la sua introduzione è semplicemente suggerita dallo specifico contesto operativo (unità a valle riunite in consorzio).

Si noti che la rispondenza al 1° vincolo non si traduce nell'eliminazione delle righe dove ($Q^T_{Max} > Q_{Tot}$): è infatti nelle soluzioni in cui questa relazione è verificata che si fa infatti uso della tecnica di overbooking e, come precedentemente accennato, la strategia proposta conta su questa possibilità; lo stringente limite della bassa disponibilità di risorsa si riflette a questo punto esclusivamente sulla *capacità garantita*.

Si possono quindi aggiungere altre tre colonne alla *tabella P/Q* in cui vengono calcolati i valori economici che andranno confrontati per determinare il prezzo ottimo [P^*]. In particolare i ricavi sono calcolati come .

$$R = (Q^T_{Gua} \cdot P^*) + (Q^T_{VA} \cdot P^* \cdot \beta) \quad [10]$$

Dove con β si è indicato il rapporto tra il prezzo unitario della *capacità garantita* ed il prezzo unitario della *capacità a disponibilità variabile*. Si assume $\beta < 1$, parametro del sistema. Sottraendo dai ricavi il valore atteso dei costi in base a quanto mostrato in [10] e [6], si ottiene il valore atteso del profitto, come mostrato nella tabella sottostante; per esigenze di spazio di alcune formule è solo riportato il riferimento [x].

Tab. P/Q/ Π

P	I	...	N	Q^T_{Gua}	Q^T_{Max}	R	$E[C^T_{DA}]$	$E[\Pi]$
P_1	Q^I_1	...	Q^N_1	[2]	[1]	[10]	[6]	$R - E[C^T_{DA}]$
P_2	Q^I_2	...	Q^N_2	[2]	[1]	[10]	[6]	$R - E[C^T_{DA}]$
...
P_K	Q^I_K	...	Q^N_K	[2]	[1]	[10]	[6]	$R - E[C^T_{DA}]$

Il prezzo ottimale [P^*] sarà determinato in corrispondenza della riga che mostrerà il valore maggiore nella colonna $E[\Pi]$. La stessa riga mostrerà anche la capacità produttiva da assegnare a ciascuna 2LU, ovvero la migliore configurazione allocativa, e la dimensione della *contingency*, in base alla [3]; maggiore la *contingency*, minore Q^T_{Gua} ed, in accordo con [8] e [9], la soluzione si sposterà verso valori più bassi di [P_i] e $E[C^T_{DA}]$.

Una riflessione deve essere effettuata sull'importanza del ruolo delle 2LU nella procedura: nel secondo passo della negoziazione, le 2LU comunicano dei valori di capacità che si impegnano ad acquistare ad un certo prezzo, e questa informazione influenza pesantemente il meccanismo di determinazione della soluzione ottima; la conoscenza di tale meccanismo potrebbe spingere le 2LU a tentare di influenzare la procedura attraverso la comunicazione di informazioni distorte: ad esempio, l'amministratore di una 2LU che per qualche ragione volesse evitare che il prezzo P_i fosse scelto come prezzo finale potrebbe tentare di rispondere la quantità falsata Q_i al posto di quella corretta Q^*_i in corrispondenza della i -esima riga. Questo comportamento è però controproducente, come mostrato dalle seguenti considerazioni:

- la 2LU risponde $Q_i < Q^*_i$ ma alla fine della procedura capita che il prezzo finale risulti proprio P_i : la 2LU è impegnata ad acquistare una quantità di capacità produttiva inferiore a quella che avrebbe dovuto acquistare a quel prezzo se non avesse tentato di influenzare la soluzione. Per la 2LU il risultato è distante dall'ottimo.
- la 2LU risponde $Q_i > Q^*_i$ ma alla fine della procedura capita che il prezzo finale risulti proprio P_i : la 2LU è impegnata ad acquistare una quantità di capacità produttiva superiore a quella che avrebbe dovuto acquistare a quel prezzo se non avesse tentato di influenzare la soluzione. Anche in questo caso per la 2LU il risultato è distante dall'ottimo.

Ogni 2LU ha una diversa influenza sulla determinazione della soluzione finale. Il contributo allo spostamento della soluzione da un prezzo all'altro dipende dalla quantità di capacità produttiva che la 2LU desidera acquistare rispetto alle altre. Ovviamente le 2LU potrebbero essere tentate di attuare comportamenti collusivi per acquisire un peso adeguato a spostare la soluzione su valori più convenienti, ma fintantoché il cartello di 2LU non fosse certo di riuscire ad imporre la propria soluzione, qualsiasi tentativo di influenza sarebbe troppo pericoloso perché potrebbe condurre verso la sottoscrizione di un contratto di fornitura

economicamente sconveniente e lontano dall'ottimo. Si può affermare che la robustezza verso comportamenti opportunistici è una *caratteristica emergente* del modello di negoziazione.

Risultati del caso di studio

Il caso di studio su cui il modello è stato applicato consta di un consorzio di 12 Internet Service Providers (SP) dislocati sul territorio Europeo, che, a partire dal 2004, sfrutteranno la banda di trasmissione di una costellazione di satelliti geostazionari che chiameremo Spaceway (la denominazione è fittizia per ragioni di riservatezza). I 12 SP rappresenteranno le 2LU mentre Spaceway rappresenterà la 1LU. L'allocazione delle porzioni di larghezza di banda di Spaceway ai SP determina la capacità produttiva degli stessi SP che rivenderanno all'utente finale il servizio di connessione alla rete. La capacità complessiva dei satelliti è di soli 7.5 Gbps (risorsa critica), valore estremamente basso rispetto alle reali esigenze dei 12 SP e della loro clientela.

Si è simulata la procedura di negoziazione tra la 1LU e le 2LU; la seguente *tabella P/Q* mostra le risposte (Q) di ciascuna 2LU al vettore di prezzi (P):

vedi tabella 1

Si ricordi che ogni elemento $[Q_i]$ rappresenta una coppia $(Q_{Gua} ; Q_{VA})$ e corrisponde univocamente all'elemento $[P_i]$. I valori di $[Q_i]$ sono espressi in Gbps mentre i prezzi $[P_i]$ sono in US\$/Mbps. Il valore di β è 0.2, ovvero l'unità di *capacità garantita* ha un prezzo 5 volte superiore rispetto all'unità di *capacità a disponibilità variabile*. Il valore di α è 0.5. Il valore di questi parametri, oltre alla forma della distribuzione di probabilità del consumo di risorsa, originano da specifiche considerazioni sul settore delle telecomunicazioni satellitari.

La seguente *tabella P/Q/II* mostra come si determina la soluzione finale massimizzando il profitto esposto nell'ultima colonna.

vedi tabella 2

I ricavi, i costi attesi ed i profitti sono espressi in milioni di US\$. Si noti come alcune righe siano state eliminate: la prima riga non rispetta il 1° vincolo mentre le ultime due non rispettano il 2° vincolo. La soluzione risulta essere determinata in corrispondenza del prezzo di 3000 US\$/Mbps e la configurazione allocativa ottimale è leggibile sulla quarta riga della *tabella P/Q*. La strategia di gestione dinamica della capacità ha consentito alla 1LU di accettare prenotazioni di capacità per un totale di 22 Gbps su 7.5 effettivamente disponibili, mentre la capacità prenotata come *garantita* è di 5.64 Gbps. Il costo opportunità del mantenimento della *contingency* è di $(7,500-5,640) \cdot 3,000 = 5,580,000$ US\$ ma il profitto atteso è di 23,970,000 US\$.

È interessante confrontare l'andamento dei profitti a posteriori dalla conoscenza della curva di domanda e l'andamento della funzione che descrive la dimensione della *contingency* a seconda delle alternative di prezzo, come mostrato nella seguente figura 1:

Vedi figura 1

Il problema della suddivisione della banda di trasmissione sarebbe stato risolto in maniera tradizionale con un approccio puramente gerarchico in cui la 1LU avrebbe imposto sia il prezzo che le quantità. Questa soluzione è lontana dall'essere ottima, visto che:

- non essendo disponibili informazioni sulla funzione di domanda delle 2LU, la determinazione di un prezzo unitario della risorsa senza alcuna negoziazione avrebbe causato una imprevedibile richiesta di quantità dalle 2LU;

- a meno di non ricorrere a lunghe e costose negoziazioni ripetute, una contrattazione one-step di tipo tradizionale avrebbe condotto ad una allocazione inefficiente della risorsa in cui né la 1LU né le 2LU avrebbero ottimizzato il loro obiettivo;

Al contrario, la strategia di allocazione descritta in questo lavoro, implementata grazie alla procedura di negoziazione, alla gestione dinamica della risorsa e soprattutto al corretto dimensionamento della *contingency* ha dimostrato di svolgere un ruolo fondamentale nel business di Spaceway: il risultato dell'applicazione del modello al caso di studio è stato condensato in una previsione di incremento del 37% dei profitti della 1LU rispetto ad un caso di applicazione di una tradizionale strategia di gestione della banda di trasmissione.

Conclusioni

La 1LU ha massimizzato i suoi profitti scegliendo, tra le alternative offerte da tutte le 2LU, il prezzo P^* più conveniente. In maniera simile a quanto succede nei processi supervisionati, l'ultima parola è spettata al decisore centralizzato. Inoltre, tutta l'informazione necessaria per raggiungere l'obiettivo è stata fornita dalle 2LU motivate dal loro stesso interesse.

Si è raggiunta una allocazione di risorse *efficiente* in cui ogni 2LU ha raggiunto un proprio ottimo locale, essendo stata assegnata la quantità di capacità produttiva che a quel certo prezzo ogni 2LU avrebbe desiderato acquistare.

Contemporaneamente l'elasticità ai volumi delle 2LU è aumentata perché, nonostante ogni 2LU possa contare sulla disponibilità di capacità produttiva che ha riservato come *garantita*, ne può richiedere un quantitativo maggiore, se questa è disponibile nel sistema. In caso di invocazione della procedura di disallocazione, le 2LU verrebbero risarcite.

Tutto ciò come risultato di una procedura di negoziazione in cui ogni parte ha "parlato" una sola volta. Infine, lo stringente vincolo di capacità a cui il sistema era sottoposto è stato aggirato da una gestione dinamica efficiente della risorsa basata su considerazioni statistiche e sulla ritenzione di una parte di capacità produttiva invenduta ma condivisa tra le 2LU indicata con il nome di *contingency*.

Beale, E.M.L. and Morton, G. "Solution of a purchase-storage programme: part I" – *Operational research Quarterly*, n.9, 174-187 (1958)

Land, A.H. "Solution of a purchase-storage programme: part II" - *Operational research Quarterly*, n.9, 188-197 (1958)

Von Lanzanauer, C.H. "Production and employment scheduling in multistage production system" – *Naval Research Logistic Quarterly*, n.17, 193-198 (1970)

Charnes, A., Cooper, W. and Farr, D., "Linear programming and profit preference scheduling for a manufacturing firm" – *Operations Research*, n.1, 114 – 129 (1953)

Lasdon, L. and Terjung, R., "An efficient algorithm for multi-item scheduling" - *Operations Research*, n.19, 946-969 (1971)

Dzielinsky, B., Baker, C. and Manne, A., "Simulation tests of lot-sizing programming" - *Management Science*, n.9, 229-258 (1963)

Steinberg, E. and Napier, H., "Optimal Multi level lot-sizing for requirements planning systems" - *Management Science*, n.26, 1258-1271 (1980)

McClain, J., Maxwell, W., Muckstadt, L., Thomas, L. and Weise, E., "On MRP lot sizing" - *Management Science*, n.28, 582-584 (1982)

Blackburn, J. and Millen, R., "Improved heuristic for multi-stage requirements planning systems" - *Management Science*, n.9, 44-56 (1982)

Graves, S., "Using lagrangian techniques to solve hierarchical production planning problems" - *Management Science*, n.28, 260-275 (1982)

Tabella 1
Tabella P/Q per dodici 2LU

P	SP 1		SP 2		SP 3		SP 4		SP 5		SP 6	
	Q_{Gua}	Q_{VA}	Q_{Gua}	Q_{VA}	Q_{Gua}	Q_{VA}	Q_{Gua}	Q_{VA}	Q_{Gua}	Q_{VA}	Q_{Gua}	Q_{VA}
1500	0.70	1.47	0.50	1.05	0.87	1.83	0.72	1.51	1.08	2.27	0.87	1.83
2000	0.65	1.50	0.47	1.08	0.83	1.91	0.70	1.61	1.00	2.30	0.80	1.84
2500	0.58	1.51	0.40	1.04	0.75	1.95	0.62	1.61	0.95	2.47	0.70	1.82
3000	0.49	1.42	0.38	1.10	0.70	2.03	0.50	1.45	0.90	2.61	0.58	1.68
3500	0.43	1.33	0.31	0.96	0.61	1.89	0.41	1.27	0.84	2.60	0.44	1.36
4000	0.38	1.29	0.27	0.92	0.53	1.80	0.35	1.19	0.68	2.31	0.28	0.95
4500	0.25	0.95	0.11	0.42	0.40	1.52	0.10	0.38	0.58	2.20	0.10	0.38
5000	0.10	0.47	0	0	0.35	1.50	0.05	0.24	0.40	1.88	0	0

P	SP 7		SP 8		SP 9		SP 10		SP 11		SP 12	
	Q_{Gua}	Q_{VA}	Q_{Gua}	Q_{VA}	Q_{Gua}	Q_{VA}	Q_{Gua}	Q_{VA}	Q_{Gua}	Q_{VA}	Q_{Gua}	Q_{VA}
1500	0.68	1.43	0.61	1.28	0.62	1.30	0.50	1.05	0.46	0.97	0.49	1.03
2000	0.60	1.38	0.53	1.22	0.55	1.27	0.44	1.01	0.40	0.92	0.43	0.99
2500	0.54	1.40	0.45	1.17	0.48	1.25	0.38	0.99	0.33	0.86	0.38	0.99
3000	0.44	1.28	0.32	0.93	0.42	1.22	0.30	0.87	0.29	0.84	0.32	0.93
3500	0.32	0.99	0.20	0.62	0.38	1.18	0.22	0.68	0.27	0.84	0.28	0.87
4000	0.21	0.71	0.12	0.41	0.31	1.05	0.10	0.34	0.20	0.68	0.22	0.75
4500	0.11	0.42	0.04	0.15	0.22	0.84	0	0	0.10	0.38	0.15	0.57
5000	0.10	0.47	0.02	0.09	0.20	0.94	0	0	0	0.00	0.08	0.38

Tabella 2
Tabella P/Q/ Π

P	Q_{Gar}^T	Q_{Max}^T	Q_{Tot}	R	$E(C_{DA}^T)$	Π
1500	8.10	25.11	7.50			
2000	7.40	24.42	7.50	21.61	2.12	19.49
2500	6.56	23.62	7.50	24.93	2.51	22.41
3000	5.64	22.00	7.50	26.73	2.76	23.97
3500	4.71	19.31	7.50	26.71	2.80	23.90
4000	3.65	16.06	7.50	24.53	2.63	21.90
4500	2.16	10.37	7.50			
5000	1.27	7.24	7.50			

← Soluzione

Figura 1

