



Ottimizzazione di una Web Farm

PROGETTO DI RICERCA OPERATIVA

Mariano Sciacco (1142498)

2018 — 2019



Indice

1	Introduzione	3
1.1	Abstract	3
1.2	Esposizione del problema	3
2	Modellazione	6
2.1	Approccio al problema	6
2.2	Identificazione degli insiemi	6
2.3	Identificazione delle variabili e dei parametri	7
2.4	Funzione obiettivo	8
2.4.1	Spiegazione dei vincoli	9
2.4.2	Spiegazione dei vincoli bonus	9
3	AMPL	11
3.1	Traduzione del problema	11
3.2	File utilizzati	11
3.3	Differenze con il modello originale	11
4	Risultati	14
4.1	Senza vincoli bonus	14
4.2	Con vincolo di proporzionalità	15
4.3	Con vincolo incrementale	16
4.4	Con vincolo di ottimizzazione dell'energia	18
4.5	Nota sui dati del problema	19
5	Risultati - confronto alternativo	20

5.1	Senza vincoli bonus	21
5.2	Con vincolo di proporzionalità	21
5.3	Con vincolo incrementale	22
5.4	Con vincolo di ottimizzazione dell'energia	23
6	Confronto sui dati raccolti	24
6.1	Set di dati principali	24
6.2	Set di dati alternativi	25
6.3	Confronto sull'andamento dei guadagni	26
7	Conclusioni	28
7.1	Considerazioni aggiuntive sul problema affrontato	28
7.2	Commento finale	28

1 Introduzione

1.1 Abstract

In questo progetto, si analizzerà un problema di programmazione lineare nell'ambito di ricerca operativa. Il problema ovviamente è inventato, ma correlato ad un programma realizzato dal sottoscritto, sempre a livello universitario.

In generale la tematica verterà principalmente sull'ottimizzazione del rendimento di una **Web Farm**, che impiega un sistema a punteggi realizzato *ad hoc* in base al tipo di servizio erogato al fine di gestire su differenti *nodi hardware* il carico di lavoro.

Il problema per prima cosa verrà identificato e analizzato seguendo il canone di un modello di programmazione lineare e alla fine verrà risolto usando *AMPL* come linguaggio di programmazione matematica.

1.2 Esposizione del problema

La web farm *qCloud Web Solutions* è una azienda che vende servizi web a costi accessibili. I prodotti vanno dal semplice hosting di un sito web all'utilizzo di macchinari ad alte prestazioni per eseguire computazioni più complesse. I clienti pagano **mensilmente** e in modo regolare l'azienda, e possono recedere in qualsiasi momento dal contratto a fine mese. In particolare l'azienda offre tre tipologie di offerte:

Hosting web: per la gestione di un sito web. Ha un costo fisso di 7,5€ / mese.

Virtual Private Server (VPS): per usufruire di una macchina su un ambiente virtualizzato, con un costo minore e con grande scalabilità in base alle esigenze. Il costo del modello base (1 core) è di 12,5€ / mese.

Server Dedicato: è l'offerta più costosa, ma anche quella che offre maggiore potenza. Il costo mensile è di 60,0€.

A livello pratico, l'azienda fa uso di un sistema a punteggi per quantificare il carico effettivo delle macchine all'interno dei **nodi hardware** (dove risiedono fisicamente le macchine e dove sono operative). Ciascun nodo hardware si colloca in una posizione diversa nell'edificio della web farm (*Nord* o *Sud*) e si differenzia soprattutto anche per l'uso o meno della **virtualizzazione**.

I servizi come **hosting** e **vps** fanno largo uso della *virtualizzazione*, essendo appunto scalabili. I **server dedicati**, invece, non ne fanno uso, ma possono comunque essere inseriti in un nodo con virtualizzazione attiva. Viceversa, *hosting* e *vps* non possono essere attivati nei nodi privi di virtualizzazione.

Si sa inoltre che l'azienda assegna un **punteggio** di 1 punto risorsa per un servizio hosting, da 2 a 4 punti per un VPS e 4 punti per un dedicato. I punti del VPS variano in base al numero di vCore che vengono assegnati al servizio. Possiamo trovare da 1 (versione base, senza costi aggiuntivi) a 8 core, e ogni 4 core si incrementa di un punto risorsa il peso del VPS. Infine, il costo aumenta di 2,5€/mese per ogni core aggiuntivo.

A fronte delle spese, invece, l'azienda deve sostenere un **consumo energetico** notevole di circa 100W ogni 4 punti risorsa, in un nodo hardware normale, e di 150W ogni 4 punti risorsa, per un nodo virtualizzato. Il costo della corrente è di circa **0,075€ KW/H**. Di recente, però, l'azienda ha investito su impianto di **pannelli fotovoltaici** che permettono di recuperare circa 100€ per i costi della corrente, ma che implicano le seguenti condizioni:

- Solo i nodi hardware posti a Sud dell'edificio possono farne uso.
- Si devono ridurre di 6 punti risorse ciascun nodo hardware che ne faccia uso, a causa della potenza limitativa.
- L'azienda guadagna circa 20€ al mese di corrente come incentivo statale poiché usa energie rinnovabili.

In generale, i punti risorse di ciascun nodo possono essere superati nei nodi virtualizzati, ma per ogni punto risorsa aggiuntivo viene applicato un **decremento dello 0,1%** dello **SLA (Service Level Agreement)**, che parte da 100%, sul singolo nodo. La web farm non può scendere sotto uno SLA del 99,5%, in quanto indicatore della qualità del servizio offerto. I nodi che fanno uso delle energie rinnovabili e i nodi privi di virtualizzazione, non possono superare i limiti di risorse imposti, avendo una potenza a disposizione inferiore. Il suo uso, infine, comporta una *penale* che l'azienda deve pagare di 1€ ogni 0,1% di SLA in meno per un singolo nodo hardware.

#	Nome nodo	Punti risorse	Posizione	Virt. attiva
1	south-1	18	SUD	Sì
2	south-2	18	SUD	No
3	north-1	24	NORD	No
4	node-x	16	NORD	Sì
5	north-2	20	NORD	Sì
6	node-y	28	SUD	Sì

Tabella 1: Nodi hardware disponibili

Concludendo, l'obiettivo dell'azienda è quello di poter occupare in modo opportuno ciascun nodo a disposizione, **massimizzando** i guadagni netti, comprensivi delle spese di gestione della corrente. Si applicherà questa analisi ad una serie di servizi che sono stati contrattati con l'azienda e che dovranno essere soddisfatti nella maniera più efficiente

possibile. Si richiede che almeno il **75%** dei servizi richiesti possano essere erogati ai clienti.

Tipo Servizio	Quantità richiesta
Hosting Web	19
Server Dedicato	11
VPS (1 core)	2
VPS (2 cores)	4
VPS (3 cores)	2
VPS (4 cores)	5
VPS (5 cores)	1
VPS (6 cores)	2
VPS (7 cores)	3
VPS (8 cores)	2

Tabella 2: Servizi richiesti

Bonus: l'azienda ha fatto richiesta di poter avere due confronti aggiuntivi con dei vincoli sulla potenza dei nodi e un'analisi futura qualora si usassero nuove tecnologie. Di seguito:

- Verificare il guadagno finale imponendo un consumo dei nodi in termini di potenza elettrica (Watt) equamente distribuito, in relazione alla tipologia del nodo (quindi, tra nodi con virtualizzazione e tra nodi senza virtualizzazione).
- Verificare il guadagno finale imponendo un consumo dei nodi incrementale, in modo che la potenza elettrica erogata sia distribuita in base alla grandezza dei nodi, dai più grandi ai più piccoli (sempre in relazione alla tipologia del nodo).

L'analisi futura, infine, si basa sul potenziamento della virtualizzazione a livello software tramite aggiornamenti che porterebbero ad una **maggiore stabilità** quando si è sotto l'uso delle **energie rinnovabili**, riducendo di soli *2 punti invece di 6* i limiti di risorse dei nodi hardware.

2 Modellazione

2.1 Approccio al problema

Si vuole massimizzare le entrate dei servizi offerti e ridurre il più possibile i costi di gestione dei nodi, cercando un opportuno compromesso attraverso i vincoli richiesti. Si andranno quindi a identificare due insiemi principali che riguarderanno:

- le tipologie di servizi disponibili;
- i nodi hardware che l'azienda ha a disposizione.

Secondariamente verranno identificate le costanti del problema e tradotte in misura adeguata (esempio: il costo dell'elettricità è in €/KW/H e verrà convertito in €/W/Mese). Ad esempio, si useranno costanti per:

- il costo mensile della corrente a Watt;
- i punti risorsa fissi per ogni nodo;
- la percentuale di SLA minimo che l'azienda vuole conseguire;
- i costi unitari per ogni tipologia di server.

A livello di variabili vi saranno tre variabili principali con le quali sarà possibile analizzare:

- il numero di server di un certo tipo impiegati in un dato nodo;
- i *watt* totali consumati per ciascun nodo;
- gli eccessi adottati per un nodo hardware.

Infine, sarà importante l'impiego di una variabile booleana che riguarda l'uso (o meno) dei pannelli fotovoltaici che aumenta la complessità dei vincoli sui nodi.

2.2 Identificazione degli insiemi

Si identificano due insiemi principali che verranno usati per questa analisi:

$I = \{H, D, \sum_{k=1}^8 V_k\}$ = insieme delle tipologie di servizi che l'azienda offre (Hosting, Dedicato, VPS) dove V_k è un VPS con un numero di core pari a k .

$J = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ = insieme dei nodi hardware a disposizione.

2.3 Identificazione delle variabili e dei parametri

$x_{i,j}$ = numero di server di tipo $i \in I$ assegnati all'interno del nodo $j \in J$.

y_j = numero di *Watt* effettivi impiegati nel nodo $j \in J$.

w = variabile logica per attuare l'uso dei pannelli fotovoltaici disponibili nell'azienda. Il valore che può assumere è il seguente:

$$w = \begin{cases} 1 & \text{se si usano le energie rinnovabili} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

z_j = punti risorsa in eccesso nel nodo $j \in J$. Questa variabile viene tradotta dallo *SLA* minimo richiesto (= *costante S*), per cui è possibile scendere di 0,1% per ogni nodo guadagnando 1 punto risorsa fino a 99,5%, partendo dal 100,0% su ogni nodo, come riportato nel problema.

k = variabile che indica il numero totale di ordini che è stato possibile evadere, il cui valore viene usato come vincolo minimo di vendita dei servizi.

h = variabile che indica i watt risparmiati con l'uso dell'energia rinnovabile.

$C = 0,054\text{€}/W/Mese$ = costante che identifica il costo della corrente elettrica mensile per ciascun *Watt* consumato a partire da un costo di 0,075€ KW/H.

$S = 5$ = costante che identifica lo *SLA (Service Level Agreement)* minimo che non deve essere superato. Tradotto per il problema, sono i punti risorsa che possono essere usufruiti in eccesso rispetto a quanto imposto per un singolo nodo.

P_i = costo unitario per un server di tipo $i \in I$.

Q_j = quantità di punti risorsa disponibili per un singolo nodo $j \in J$.

R_i = parametro che indica i punti risorsa di un singolo servizio di tipo $i \in I$.

V_j = parametro che indica se la virtualizzazione è attiva o meno nel nodo $j \in J$.

$$V_j = \begin{cases} 1 & \text{se la virtualizzazione è attiva in } j \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

G_j = parametro che indica il posizionamento del nodo $j \in J$ nell'edificio.

$$G_j = \begin{cases} 1 & \text{il nodo } j \text{ è posizionato a SUD} \\ 0 & \text{il nodo } j \text{ è posizionato a NORD} \end{cases}$$

A_i = parametro che indica il numero di servizi di tipo $i \in I$ richiesti all'azienda per una mensilità.

N = parametro che indica il numero totale di ordini richiesti.

2.4 Funzione obiettivo

$$\max \quad \overbrace{\sum_{i=[H]}^{[V_8]} \sum_{j=1}^6 (P_i \cdot x_{i,j})}^{\text{Incassi servizi}} - \overbrace{C \cdot \left[\sum_{j=1}^6 (y_j) \right]}^{\text{Costo della corrente}} + \overbrace{(100 + 20) \cdot w}^{\text{Risparmio}} - \overbrace{\sum_{j=1}^6 (z_j)}^{\text{Penale S.L.A.}}$$

subject to:

$$\forall j \in J : \left(\sum_{i=[H]}^{[V_8]} R_i x_{i,j} \right) \leq (Q_j + z_j - 6 \cdot G_j \cdot w) \quad (1)$$

$$\forall j \in J : (x_{[H],j} \leq N \cdot V_j), (x_{[V_1..8],j} \leq N \cdot V_j), (x_{[D],j} \leq N) \quad (2)$$

$$\forall j \in J : \left(y_j = \frac{100 + 50 \cdot (V_j)}{4} \sum_{i=[H]}^{[V_8]} R_i x_{i,j} \right) \quad (3)$$

$$\forall j \in J : \{z_j \leq S \cdot [(G_j) \cdot (1 - w) + (1 - G_j)]\}, \{z_j \leq S \cdot V_j\} \quad (4)$$

$$\forall i \in I : \left(\sum_{j=1}^6 x_{i,j} \right) \leq A_i \quad (5)$$

$$\left(\sum_{i=[H]}^{[V_8]} \sum_{j=1}^6 x_{i,j} = k \right), [k \geq N \cdot (0.75)] \quad (6)$$

$$(*) \quad \underbrace{(y_1 = y_4), (y_4 = y_5), (y_5 = y_6), (y_6 = y_1)}_{\text{Virtualizzati}}, \underbrace{(y_2 = y_3)}_{\text{Non virt.}} \quad (7)$$

$$(*) \quad \underbrace{(y_6 \geq y_5), (y_5 \geq y_1), (y_1 \geq y_4)}_{\text{Virtualizzati}}, \underbrace{(y_3 \geq y_2)}_{\text{Non virt.}} \quad (8)$$

$$\forall i \in I, \forall j \in J \quad x_{i,j} \in \mathbb{Z}_+ \quad y_j \in \mathbb{R}_+ \quad w \in \{0, 1\} \quad z_j \in \mathbb{Z}_+ \quad k \in \mathbb{Z}_+$$

$$I = \{H, D, V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7, V_8\} \quad J = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$$

2.4.1 Spiegazione dei vincoli

1. Il primo vincolo riguarda il *numero massimo di server di tipo i nel nodo j* . Questo vincolo è composto dalla sommatoria del peso di tutte le tipologie di servizi presenti in un singolo nodo (ospitabili e non); questo risultato deve essere minore-uguale rispetto al quantitativo permesso per il nodo j . Il **limite di un nodo** è dato dal limite base (Q_j) sommato a quanto è possibile sfiorare in un nodo (z_j) e sottratto di **6** qualora si usassero le energie rinnovabili (w) per quel nodo.
2. Il secondo vincolo serve a *limitare i servizi attivabili* rispettando le **proprietà** richieste, ossia che nei nodi senza virtualizzazione vengano attivati solo i dedicati. Da notare, come riportato nel problema, che i dedicati possono essere attivati senza problemi dappertutto, sebbene attivarli su un nodo virtualizzato richieda più corrente di uno normale.
3. Il terzo vincolo ci porta alla formazione del quantitativo di potenza elettrica in termini di watt che ci viene richiesta per mantenere attivi tutti i servizi, il cui valore per ciascun nodo viene salvato in y_j
4. Il quarto vincolo attiva la variabile z_j usata per andare in eccesso rispetto al limite di risorse dichiarate nei nodi. Questo non è possibile farlo per i nodi che usano le energie rinnovabili e per i nodi non virtualizzati.
5. Il quinto vincolo impone un limite sul numero di servizi da erogare per ogni tipo e per ogni nodo, basandosi sul numero di richieste che ha l'azienda. In questo modo, ci potranno essere al massimo k richieste soddisfatte, con $k \leq N$, dove N sono le richieste totali.
6. Il sesto vincolo è strettamente collegato al quinto e permette di specificare che il minimo numero di richieste da soddisfare che deve essere almeno 75% di tutte le richieste totali.

2.4.2 Spiegazione dei vincoli bonus

7. (*) Il settimo vincolo riguarda la condizione bonus richiesta dal problema per cui il consumo di corrente nei nodi deve essere proporzionale. La proporzione, ovviamente, va rispettata tra i singoli nodi che supportano la virtualizzazione e tra quelli che non la supportano, separatamente.
8. (*) L'ottavo vincolo è la condizione bonus che permette di imporre un popolamento dei nodi a disposizione seguendo un ordine incrementale discendente, riempiendo prima il nodo più grande e poi i nodi più piccoli. Questo permette di sfruttare interamente le potenzialità di un nodo, garantendo idealmente una maggiore ridondanza, qualora fosse necessario migrare servizi da un nodo all'altro.

Nota: nel problema *AMPL* si fa uso di un parametro binario *BonusProporzione* attivabile tramite il file *.dat* per eseguire il confronto. Per lo stesso motivo vengono usati anche altri due parametri binari *BonusIncremento* e *FuturaOttimizzazioneEnergia* per testare le rimanenti condizioni bonus. Questo è stato fatto per non dover andare nel *.mod* e commentare o decommentare le porzioni di codice manualmente per attivare i casi bonus.

- Il confronto sulle energie future, come ultimo vincolo richiesto dal problema, implica semplicemente di ridurre nel primo vincolo (1) il valore sottratto al secondo membro della disequazione, ottenendo la formula sottostante. Nel problema *AMPL* è stato integrato un parametro binario che semplicemente sottrae $(6 - 4 * (FuturaOttimizzazioneEnergia)) \dots$ senza l'obbligo di cambiare a mano il modello.

La disequazione ottenuta sarebbe comunque la seguente:

$$\forall j \in J : \left(\sum_{i=[H]}^{[V_8]} R_i x_{i,j} \right) \leq (Q_j + z_j - \mathbf{2} \cdot G_j \cdot w) \quad (9)$$

3 AMPL

3.1 Traduzione del problema

Il problema modellato in linguaggio matematico è stato tradotto nel linguaggio **AMPL**, attraverso cui è stato possibile riportare in modo completo il modello pronto per essere risolto usando il solver **CPLEX (12.9.0.0)**, da cui poi si sono ricavati i risultati e sono stati eseguiti i relativi confronti.

3.2 File utilizzati

In AMPL si è fatto uso di cinque files:

qcloud.mod, che è il modello del problema vero e proprio, in cui sono stati riportati i parametri, le variabili, i controlli di sanità dei dati, la funzione obiettivo e i vincoli;

qcloud.dat, in cui sono presenti tutti i dati originali del problema costruiti tramite vettori, parametri e insiemi;

qcloud.run, che contiene i comandi principali per eseguire il programma e visualizzare in modo ordinato i risultati;

qcloud_2.dat, che riguarda un set di dati alternativi utilizzati per un confronto in termini di risultati;

qcloud_2.run, che è identico a **qcloud.run** ma che include il set di dati alternativo.

Questi files devono essere contenuti nella stessa cartella affinché il programma funzioni correttamente ed è sufficiente eseguire tramite l'IDE di AMPL il comando `include qcloud.run;` oppure `include qcloud_2.run` (in base al set di dati che si vuole analizzare) per risolvere il problema e ottenere il risultato.

3.3 Differenze con il modello originale

Come precedentemente menzionato, in *AMPL* si fa uso di alcuni parametri ausiliari per attivare i **vincoli bonus** ed eseguire i relativi confronti richiesti dal problema, senza necessità di dover modificare il modello a mano.

```
/* ... */  
  
# Parametri costanti
```

```

param CostoWattMese := 0.054;
param MaxEccessoServer := 5;
param MinVendita := 0.75;

# Attivazione dei parametri bonus

param BonusProporzione := 0;
param BonusIncremento := 0;
param FuturaOttimizzazioneEnergia := 0;

/*----- EOF -----*/

```

Snippet 1: Parametri bonus in qcloud.dat

```

# 1)
subject to PesoMassimoServer{j in J} :
    sum{i in I} (Peso[i] * x[i,j]) <=
        (Risorse[j] + z[j] -
         (6 - 4*FuturaOttimizzazioneEnergia)*(Posizione[j]
         ])*(w))
    ;
# [...]

s.t. Proporzione1 :
    BonusProporzione == 1
    ==> y[1] = y[4];
# [...]

s.t. Incremento1 :
    BonusIncremento == 1
    ==> y[6] >= y[5];

```

Snippet 2: Parametri bonus in qcloud.mod

Tutti e tre i parametri possono essere attivati dal file dati ponendo:

$$\text{BonusVincolo} := \begin{cases} 1 & \text{vincolo nel modello ATTIVO} \\ 0 & \text{vincolo nel modello non attivo} \end{cases}$$

Ovviamente, **non** si vuole lasciare intendere che queste formulazioni con i vincoli bonus siano non lineari, semplicemente si è voluto trovare una soluzione pratica il meno intrusiva possibile al fine di poter analizzare con più velocità ciascuna casistica, modificando comodamente solo il file `.dat`. La soluzione più corretta semanticamente sarebbe

stata quella di realizzare più modelli in base ai vincoli bonus trattati, ma il risultato sarebbe stato comunque il medesimo, senza alcun genere di alterazione.

A parte ciò, non ci sono altre differenze sostanziali se non che alcuni vincoli sono stati scritti in due o tre parti per necessità di interpretazione del programma, come viene fatto di norma.

4 Risultati

Una volta tradotto il problema su *AMPL* e popolato attraverso i dati forniti è stato risolto diverse volte, impostando in modo esclusivo ciascun parametro bonus e ricavando i relativi risultati per il confronto. E' stato usato il file `qccloud.run` per ricavare l'output, in cui sono presenti i comandi per ottenere una formattazione che semplifica la lettura dei dati.

4.1 Senza vincoli bonus

Il problema originario senza i vincoli bonus ha prodotto i seguenti risultati:

- Tempo di esecuzione: 0.067 s
- Numero di richieste (N): 51
- Richieste soddisfatte (k): 49/51 (96.1%)
- Uso delle energie rinnovabili (w): Si
- + Guadagni sui servizi: EUR 1197.50
- - Spesa energia elettrica e penali: EUR 94.55
- = Guadagni mensili totali (f.o.): EUR 1102.95

Da questi risultati si può comprendere che il miglior valore trovato ha permesso di evadere quasi tutti gli ordini disponibili (96.2%), ottenendo un guadagno effettivo mensile di **1102,95€**.

In tale caso, il problema ha fatto uso delle energie rinnovabili, sfruttando solo alcuni eccessi dei nodi. Infatti:

Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6
-	-	-	+4	+4	-

Tabella 3: Eccesso nei nodi (vettore z_j) - senza vincoli bonus

Per quanto riguarda la disposizione dei servizi nei nodi e il consumo, invece, si ottiene un ordine casuale con relativo uso delle eccedenze, specialmente nei nodi 4 e 5.

	1	2	3	4	5	6
D	0	3	6	2	0	0
H	0	0	0	0	0	19
V1	1	0	0	0	1	0
V2	0	0	0	0	4	0
V3	0	0	0	0	2	0
V4	0	0	0	3	0	0
V5	0	0	0	0	0	1
V6	0	0	0	0	2	0
V7	2	0	0	1	0	0
V8	1	0	0	0	1	0

Snippet 3: Disposizione dei nodi (matrice $x_{i,j}$) - senza vincoli bonus

Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6
450 W	300 W	600 W	750 W	900 W	825 W

Tabella 4: Potenza erogata nei nodi (vettore y_j) - senza vincoli bonus

In conclusione, il risultato prodotto è *soddisfacente*, visti i vincoli, il consumo energetico e l'utilizzo dei nodi.

4.2 Con vincolo di proporzionalità

- Tempo di esecuzione: 0.086 s
- Numero di richieste (N): 51
- Richieste soddisfatte (k): 47/51 (92.2%)
- Uso delle energie rinnovabili (w): No
- + Guadagni sui servizi: EUR 1185.00
- - Spesa energia elettrica e penali: EUR 211.20
- = Guadagni mensili totali (f.o.): EUR 973.80

Con questo vincolo attivo, si va ad imporre un'uguaglianza in termini di potenza erogata sui nodi, permettendo però di evadere meno ordini, con un guadagno inferiore di **-129,15€** (circa un 11,7% in meno sul totale originale) e, stavolta, senza fare uso delle energie rinnovabili.

La situazione dei vettori e della matrice è la seguente:

Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6
+2	-	-	+4	-	-

Tabella 5: Eccesso nei nodi (vettore z_j) - con proporzionalità

	1	2	3	4	5	6
D	3	4	4	0	0	0
H	2	0	0	1	15	0
V1	0	0	0	0	0	0
V2	0	0	0	2	1	1
V3	0	0	0	2	0	0
V4	0	0	0	0	0	4
V5	0	0	0	0	1	0
V6	1	0	0	1	0	0
V7	1	0	0	0	0	2
V8	0	0	0	2	0	0

Snippet 4: Disposizione dei nodi (matrice $x_{i,j}$) - con proporzionalità

Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6
750 W	400 W	400 W	750 W	750 W	750 W

Tabella 6: Potenza erogata nei nodi (vettore y_j) - con proporzionalità

In questo modo l'azienda riesce a garantire un **consumo proporzionato** per ogni nodo, evitando saturazione di un nodo hardware grande e permettendo agevolmente di frammentare il carico delle macchine.

La conseguenza di questa tecnica sarà che il *nodo più piccolo* imporrà il massimo che un nodo - anche più grande - può ospitare, posto che comunque sia possibile eccedere in ogni caso di risorse massime.

4.3 Con vincolo incrementale

Il vincolo incrementale viene attivato in alternativa al vincolo proporzionale e si basa sul *popolamento di servizi a partire dai nodi più grandi fino ai nodi più piccoli*. Ovviamente, il vincolo è molto lasco, visto che qualora ci fossero richieste incompatibili per un nodo non si potrebbe riempirlo completamente. Infatti, quello che si vuole ottenere è una **ripartizione dei servizi** che sia il più possibile **ordinata** in termini di consumi e proporzionata rispetto alla capienza del nodo ospitante.

Questa scelta permette quindi di evitare la casualità del riempimento dei nodi, come visto nel problema originale, concedendo priorità ai nodi più grandi. L'elaborazione di questo problema ha una perdita più contenuta rispetto al vincolo proporzionale, ma riduce fino al **88.2%** le richieste soddisfatte. Infatti:

- Tempo di esecuzione: 0.068 s
- Numero di richieste (N): 51
- Richieste soddisfatte (k): 45/51 (88.2%)
- Uso delle energie rinnovabili (w): Si
- + Guadagni sui servizi: EUR 1132.50
- - Spesa energia elettrica e penali: EUR 68.30
- = Guadagni mensili totali (f.o.): EUR 1064.20

Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6
-	-	-	-	+2	-

Tabella 7: Eccesso nei nodi (vettore z_j) - con incremento

Ci troviamo quasi nella stessa condizione del problema originale senza vincoli bonus, con il problema che fa uso delle energie rinnovabili, ma con un approccio differente su quali nodi riempire. Infatti, si può notare come i nodi più grandi (es. nodo 6 e nodo 5) vengano riempiti con maggiore priorità fino a quanto è possibile.

	1	2	3	4	5	6
D	2	3	6	0	0	0
H	1	0	0	0	18	0
V1	0	0	0	0	0	0
V2	0	0	0	0	0	4
V3	0	0	0	0	0	2
V4	0	0	0	1	0	0
V5	1	0	0	0	0	0
V6	0	0	0	2	0	0
V7	0	0	0	1	0	2
V8	0	0	0	0	1	1

Snippet 5: Disposizione dei nodi (matrice $x_{i,j}$) - con incremento

Nodo 6	Nodo 5	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 1	Nodo 2
825 W	825 W	600 W	450 W	450 W	300 W

Tabella 8: In ordine, potenza erogata nei nodi (vettore y_j) - con incremento

In generale, questo vincolo pare essere meno dannoso rispetto al vincolo di proporzionalità, dal momento che riduce di poco il guadagno effettivo, ma in ogni caso è importante

valutarne l'efficacia sotto richieste differenti, visto che potrebbero esserci comunque delle variazioni negative sul guadagno totale effettivo.

4.4 Con vincolo di ottimizzazione dell'energia

Questo ultimo vincolo è molto interessante dal momento che, qualora nell'azienda venisse attuata un'ottimizzazione della perdita dei punti risorse sotto uso dell'energia solare, si potrebbero **incrementare i guadagni** di circa il 3,3%, e il tutto con investimenti software minimi.

Attualmente, impostando un miglioramento di 4 punti riguadagnati, il guadagno finale è stato di **1139,50€** rispetto ai **1102,95€** del problema originale, andando a evadere al **100%** tutte le richieste.

- Tempo di esecuzione: 0.062 s
- Numero di richieste (N): 51
- Richieste soddisfatte (k): 51/51 (100.0%)
- Uso delle energie rinnovabili (w): Si
- + Guadagni sui servizi: EUR 1237.50
- - Spesa energia elettrica e penali: EUR 98.00
- = Guadagni mensili totali (f.o.): EUR 1139.50

Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6
-	-	-	+2	-	-

Tabella 9: Eccesso nei nodi (vettore z_j) - con ottim. energia

	1	2	3	4	5	6
D	0	4	6	0	1	0
H	0	0	0	0	0	19
V1	1	0	0	0	1	0
V2	2	0	0	0	0	2
V3	2	0	0	0	0	0
V4	0	0	0	4	1	0
V5	0	0	0	0	0	1
V6	0	0	0	2	0	0
V7	2	0	0	0	1	0
V8	0	0	0	0	2	0

Snippet 6: Disposizione dei nodi (matrice $x_{i,j}$) - con ottim. energia

Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6
600 W	400 W	600 W	675 W	750 W	975 W

Tabella 10: Potenza erogata nei nodi (vettore y_j) - con ottim. energia

Il risultato quindi è molto importante, visto che si riesce a guadagnare il massimo di quanto è possibile vendere, usando le energie rinnovabili e riducendo al minimo gli eccessi sui nodi.

4.5 Nota sui dati del problema

Il costo della corrente è stato calcolato con un consumo costante di y_j Watt ogni ora, cosa che in realtà può essere del tutto *variabile* per una macchina di tipo server. Dunque, quella riportata è una semplice approssimazione del **caso peggiore** (ossia a pieno carico per tutto il tempo).

5 Risultati - confronto alternativo

A fini comparativi, si è voluto integrare un secondo confronto aggiuntivo con un set di dati differenti (qccloud_2.dat con il relativo qccloud_2.run) che si basasse maggiormente sui nodi virtualizzati, dando maggiore spazio a **richieste di VPS**, adottando più punti risorse per gli ambienti virtualizzati, anche in base a un possibile andamento del mercato.

Di fatto, si fa fronte a quasi il doppio di richieste di VPS (41 invece delle 21 precedenti) e di meno richieste di dedicati e hosting. I dati iniziali sono variati nel seguente modo:

#	Nome nodo	Punti risorse	Posizione	Virt. attiva
1	south-1	24	SUD	Sì
2	south-2	6	SUD	No
3	north-1	12	NORD	No
4	node-x	22	NORD	Sì
5	north-2	24	NORD	Sì
6	node-y	28	SUD	Sì

Tabella 11: Nodi hardware disponibili - confronto alternativo

Tipo Servizio	Quantità richiesta
Hosting Web	5
Server Dedicato	3
VPS (1 core)	4
VPS (2 cores)	10
VPS (3 cores)	2
VPS (4 cores)	6
VPS (5 cores)	3
VPS (6 cores)	2
VPS (7 cores)	2
VPS (8 cores)	12

Tabella 12: Servizi richiesti - confronto alternativo

Brevemente, si riportano i risultati ottenuti con i relativi vincoli bonus attivi, omettendo il risultato della matrice. Alla fine seguirà una breve analisi dei risultati e un confronto nelle due casistiche affrontate.

5.1 Senza vincoli bonus

- Tempo di esecuzione: 0.062 s
- Numero di richieste (N): 49
- Richieste soddisfatte (k): 38/49 (77.6%)
- Uso delle energie rinnovabili (w): Si
- + Guadagni sui servizi: EUR 905.00
- - Spesa energia elettrica e penali: EUR 94.55
- = Guadagni mensili totali (f.o.): EUR 810.45

Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6
-	-	-	+4	+4	-

Tabella 13: Eccesso nei nodi (vettore z_j) - senza vincoli bonus, confronto alternativo

Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6
675 W	0 W	300 W	975 W	1050 W	825 W

Tabella 14: Potenza erogata nei nodi (vettore y_j) - senza vincoli bonus, confronto alternativo

5.2 Con vincolo di proporzionalità

- Tempo di esecuzione: 0.069 s
- Numero di richieste (N): 49
- Richieste soddisfatte (k): 40/49 (81.6%)
- Uso delle energie rinnovabili (w): No
- + Guadagni sui servizi: EUR 947.50
- - Spesa energia elettrica e penali: EUR 229.40
- = Guadagni mensili totali (f.o.): EUR 718.10

Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6
+2	-	-	+4	+2	-

Tabella 15: Eccesso nei nodi (vettore z_j) - con proporzionalità, confronto alternativo

Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6
975 W	100 W	100 W	975 W	975 W	975 W

Tabella 16: Potenza erogata nei nodi (vettore y_j) - con proporzionalità, confronto alternativo

5.3 Con vincolo incrementale

- Tempo di esecuzione: 0.839 s
- Numero di richieste (N): 49
- Richieste soddisfatte (k): 45/49 (91.8%)
- Uso delle energie rinnovabili (w): No
- + Guadagni sui servizi: EUR 1040.00
- - Spesa energia elettrica e penali: EUR 263.05
- = Guadagni mensili totali (f.o.): EUR 776.95

Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6
+4	-	-	+4	+4	+4

Tabella 17: Eccesso nei nodi (vettore z_j) - con incremento, confronto alternativo

Nodo 6	Nodo 5	Nodo 1	Nodo 4	Nodo 3	Nodo 2
1200 W	1050 W	1050 W	975 W	200 W	100 W

Tabella 18: In ordine, potenza erogata nei nodi (vettore y_j) - con incremento, confronto alternativo

5.4 Con vincolo di ottimizzazione dell'energia

- Tempo di esecuzione: 0.059 s
- Numero di richieste (N): 49
- Richieste soddisfatte (k): 40/49 (81.6%)
- Uso delle energie rinnovabili (w): Sì
- + Guadagni sui servizi: EUR 960.00
- - Spesa energia elettrica e penali: EUR 110.75
- = Guadagni mensili totali (f.o.): EUR 849.25

Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6
-	-	-	+4	+4	-

Tabella 19: Eccesso nei nodi (vettore z_j) - con ottim. energia, confronto alternativo

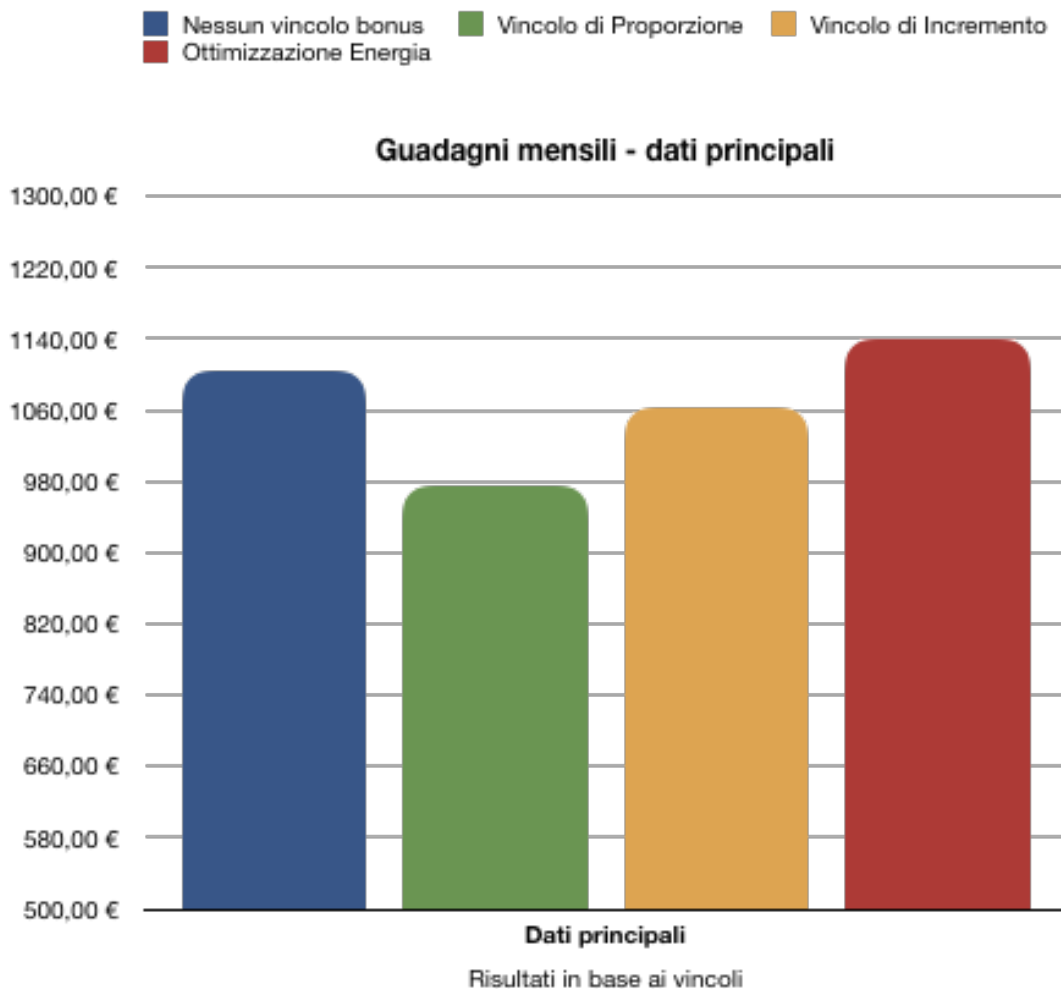
Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6
825 W	100 W	200 W	975 W	1050 W	975 W

Tabella 20: Potenza erogata nei nodi (vettore y_j) - con ottim. energia, confronto alternativo

6 Confronto sui dati raccolti

6.1 Set di dati principali

Dal primo set di dati del problema originale, si è potuto constatare che, con i servizi erogabili, il guadagno finale dell'azienda risulta essere più che valido. L'impiego dei vincoli bonus risulta essere piuttosto gravoso solamente nel caso in cui si faccia uso della *proporzionalità*, dal momento che questo ha come implicazione una riduzione dei servizi venduti e dei relativi guadagni finali, pur essendovi un beneficio in termini di mantenimento dei servizi.

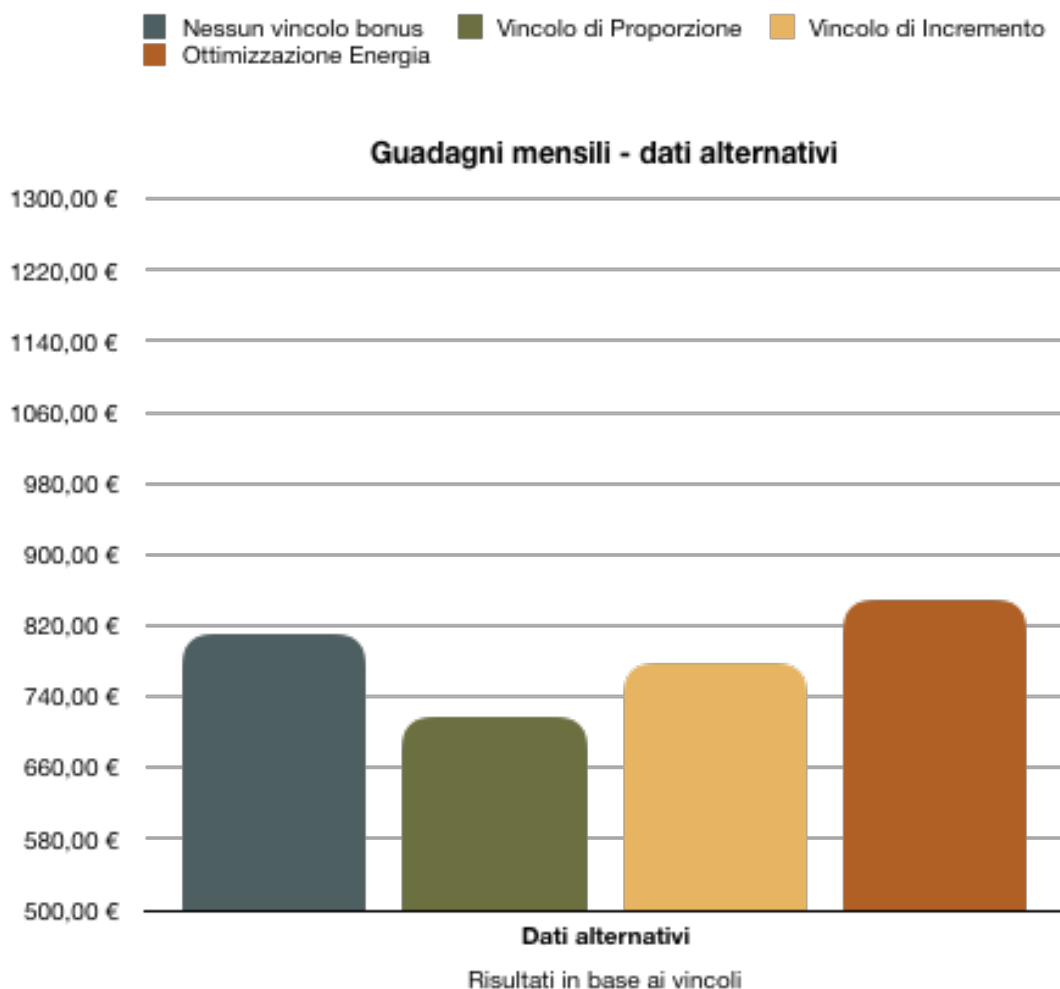


Dal grafico sopra riportato, è possibile notare come il vincolo **incrementale** sia di fatto migliore in termini di costi-beneficio rispetto a quello di proporzionalità. L'*ottimizzazione dell'energia elettrica*, ovviamente, sarebbe la migliore implementazione che si potrebbe applicare in futuro, risultando vincente in termini di guadagni, vendita di servizi e uso delle energie rinnovabili, per questo set di dati.

	Nessun vincolo	Proporz.	Incremen.	Ottim. energia
Servizi venduti	49/51	47/51	45/51	51/51
Energia rinn.	Sì	No	Sì	Sì
Spesa totale	94,55 €	211,20 €	68,30 €	98,00 €

Dalla tabella, inoltre, è possibile vedere come il **guadagno** non sia necessariamente dipendente dal **numero di servizi erogati**, dato che con il secondo vincolo, pur soddisfacendo meno servizi, la funzione obiettivo compie la scelta migliore per massimizzare gli incassi, risparmiando sulla spesa di mantenimento. Si nota, inoltre, anche l'importanza dell'uso delle energie rinnovabili, che riducono di molto la spesa energetica, seppur con vincoli piuttosto stretti.

6.2 Set di dati alternativi



Con questo set di dati alternativi, si ottengono dei risultati pressoché simili al primo caso, ma con un guadagno di gran lunga inferiore rispetto a quello che ci si aspettasse.

E' anche vero che concentrando maggiormente le richieste di VPS, si va incontro ad un minore guadagno rispetto a quanto ottenuto con la vendita di dedicati.

Si passa ad un **decremento notevole** di quasi il **27% in meno** dei guadagni, e le tre casistiche bonus mantengono lo stesso andamento abbastanza fedelmente, rispetto al problema originale.

	Nessun vincolo	Proporz.	Incrementen.	Ottim. energia
Servizi venduti	38/49	40/49	45/49	40/49
Energia rinn.	Sì	No	No	Sì
Spesa totale	94,55 €	229,40 €	263,05 €	110,75 €

In modo evidente, si riducono i servizi erogati, essendo di fatto più difficile trovare le combinazioni giuste per evadere tutte le richieste (anche in caso di *overbooking*). Solo con il vincolo **incrementale** si riesce a erogare molti servizi (45 richieste su 49), senza nemmeno fare uso delle energie rinnovabili, ma sfruttando a pieno ogni nodo che può avere un eccesso.

La spesa totale raggiunge picchi molto elevati, dal momento che la *virtualizzazione* richiede maggiori risorse in termini di *watt*, come ci si aspettava; ancora una volta, però, si nota come l'ottimizzazione futura per le energie rinnovabili sia di cruciale importanza in questo contesto, risultando nuovamente una soluzione promettente.

6.3 Confronto sull'andamento dei guadagni

I due set di dati analizzati danno frutto a due situazioni di mercato importanti che si possono verificare per l'azienda. I risultati che sono stati ottenuti sono di fondamentale importanza per comprendere gli **elementi chiave** su cui conviene puntare per l'azienda, sia per il presente, che per il futuro, soprattutto per sapere con maggiore consapevolezza l'impatto in termini economici nell'uso dei vincoli bonus.

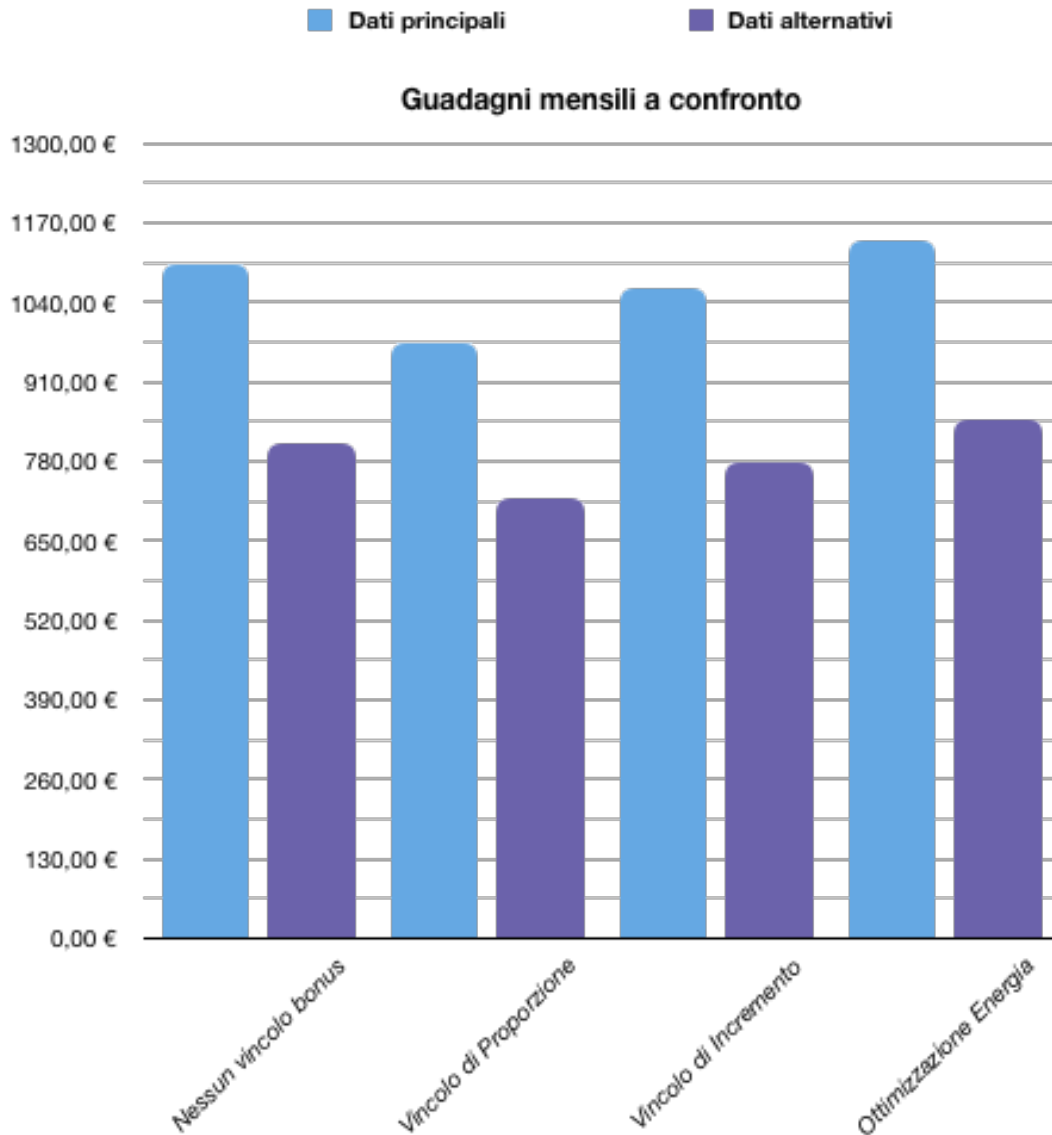
	Proporzione	Incremento	Ottim. energia
Profitti dati principali	-11,7%	-3,5%	+3,3%
Profitti dati alternativi	-11,4%	-4,1%	+4,8%
Media profitti	-11,6%	-3,8%	+4,1%

Come si può dedurre dalla tabella soprastante, la media dei profitti risulta essere molto negativa con l'uso della proporzione, la quale per l'azienda converrà scartare al fine di ridurre le perdite. Per il presente, l'azienda potrà optare per due opzioni:

- *non fare uso di vincoli bonus*, facendo fronte a possibili problemi in termini di mantenimento dei nodi hardware;

- fare uso del vincolo di incremento, affrontando una perdita di denaro non troppo alta, ma preservando al meglio i nodi in termini di manutenzione.

Ovviamente, la soluzione a lungo termine verterà sull'*ottimizzazione dell'energia rinnovabile*, specialmente nel caso in cui ci fossero sempre più richieste per servizi che fanno uso di virtualizzazione.



Leggendo il grafico, infine, si può notare ampiamente di come la curva di guadagni sia quasi del tutto identica in entrambe le casistiche affrontate, pertanto ciò può essere usato a dimostrazione del fatto che le soluzioni adottabili dall'azienda si riducono a quanto affermato precedentemente.

Ci potrebbero essere dei casi particolari che hanno delle tendenze differenti, ma è sicuro che adottando dei vincoli aggiuntivi al modello si otterrà sempre un risultato che sarà uguale o peggiore del caso base.

7 Conclusioni

7.1 Considerazioni aggiuntive sul problema affrontato

A seguito della risoluzione del problema e delle proposte avanzate per l'azienda con i confronti finali, vi sono alcune considerazioni aggiuntive che vale la pena esporre per l'interesse del problema.

Per prima cosa, il miglioramento dell'energia rinnovabile permetterebbe di evadere più servizi nel caso di **overbooking**, risparmiando molto sulla corrente. Ovviamente se questo venisse attuato in futuro e con costi minimi sarebbe un ottimo *upgrade*, ma potrebbe non avere effetti particolarmente esaustivi con *poche richieste*. Per questo motivo, conviene valutare molto attentamente questa opzione, eventualmente con una nuova analisi futura.

Secondariamente, si è potuto vedere che la parte più gravosa riguarda anche il **prezzo** di vendita dei prodotti. Per migliorare le entrate, si potrebbe aumentare il costo di ciascun servizio di circa un 10-20%, pagando di fatto medesimi costi di gestione e valutando l'opzione con sconti e offerte speciali, sempre nell'interesse dell'azienda.

A livello di **scalabilità**, infine, si può affermare di poter sicuramente investire su nuovi nodi a *sud* dell'edificio, così che si possa fruire delle energie rinnovabili, sempre entro i limiti dell'energia pulita che può essere erogata; alternativamente, si potrebbe incrementare anche il limite di risorse nei nodi dedicati, visto il costo-beneficio alto, qualora le richieste di mercato convergessero a questa scelta.

7.2 Commento finale

L'analisi del problema è stata effettuata nei termini esposti all'inizio e si è fatto uso di *AMPL* per la sua risoluzione. L'implementazione non è risultata troppo complessa, ma neanche molto banale, e sono stati fatti alcuni accorgimenti ai controlli di sanità dei dati, affinché le richieste non portassero a un problema irrisolvibile.

Personalmente, reputo che i **vincoli bonus** siano stati interessanti per comprendere realisticamente se all'azienda convenga investire nelle energie rinnovabili, o meno, e soprattutto se in favore della manutenzione dei nodi si possa rischiare di perdere a livello economico.

Per una più approfondita analisi del problema, si sarebbe potuto rendere alcune parti più complesse, adottando, ad esempio, più tipologie di server dedicati o andando a inserire anche le variabile *RAM / Spazio Web / Banda* (come in genere si trova in una azienda di web farming).

Ad ogni modo, l'esperienza per questo progetto è stata complessivamente **positiva e interessante**, e, visti i risultati conseguiti, la ricerca si può dire conclusa.