



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Gestionale

Modelli di ottimizzazione per il problema della selezione dei fornitori di dispositivi di protezione individuale per il comitato regionale Marche della Croce Rossa Italiana.

Optimization models for the problem of selecting suppliers of personal protective equipment for the Marche regional committee of the Italian Red Cross.

Relatore:

Prof.ssa Ornella Pisacane

Tesi di Laurea di:

Edgar Di Genova

mat 1089039

Correlatore:

Dott. Giovanni Ceccaroni

A.A. 2020 / 2021

Ringraziamenti

Desidero ringraziare per questo traguardo, al primo posto, la mia famiglia senza la quale sarebbe stato molto più complesso affrontare questi tre anni: mia madre per tutte le chiamate fatte per sapere come stavo e per tutti gli abbracci e i baci, mai mancati, ogni volta che rientravo a casa; mio padre per tutti i pranzi insieme in cui mi ha sempre spronato a fare meglio, a dare il massimo e soprattutto a non arrendermi quando tutto sembrava insormontabile; mio fratello per essere sempre stato d'aiuto offrendo svago e distrazioni quando ne avevo la necessità e per essere sempre la persona su cui so di poter contare in qualsiasi circostanza.

Un ringraziamento speciale al mio fratello acquisito Fabio con cui ho condiviso momenti indimenticabili sia da coinquilini, sia quando siamo stati lontani e, proprio grazie a quest'ultimi, ho capito quanto il nostro rapporto sia straordinario e forte.

Un grazie di cuore a Bruno che sa sempre usare le parole adeguate e toccare le corde giuste per fare emergere il lato migliore di ogni persona: ci sei riuscito anche con me e te ne sarò grato per sempre.

Ringrazio tutti i miei compagni di università con cui ho passato momenti di svago indimenticabili e che hanno reso più leggeri questi anni, in particolare, un grazie sincero a Sara che nonostante tutte le discussioni è sempre rimasta al mio fianco; supportandoci a vicenda, siamo riusciti a concludere questo viaggio insieme per iniziarne uno nuovo che, sono sicuro, sarà altrettanto bello.

Grazie a tutti i miei amici del gruppo Batteria Suburra, per tutti i viaggi fino a Fermo per passare una semplice serata insieme e per tutti gli svaghi offerti tra feste e uscite insieme, ogni volta che tornavo a casa. Senza di voi oggi non sarei la persona che sono.

Infine, vorrei ringraziare la mia relatrice, la Prof.ssa Ornella Pisacane, per aver proposto questo progetto entusiasmante, per la grande disponibilità mostrata in ogni occasione e soprattutto per la passione con cui insegna la propria materia riuscendo a trasmetterla ai propri studenti.

Abstract

In quest'ultimo anno, tutto il mondo si è trovato di fronte a grandi difficoltà a livello sociale, sanitario ed economico dovute alla pandemia causata dall'infezione SARS-CoV-2.

In questa situazione, la categoria di lavoratori più colpita e allo stesso tempo che più si è prodigata per portare cure e benessere al prossimo è quella degli operatori socio-sanitari, i quali spesso hanno sacrificato la loro vita per salvare quella dei cittadini.

L'obiettivo di questo studio è stato in primis quello di ricavare dei criteri sulla base dei quali opportunamente selezionare i fornitori di Dispositivi di Protezione Individuali (DPI) quali mascherine, camici e guanti, utili a medici ed operatori della Croce Rossa Italiana (CRI) nelle loro attività quotidiane. Tali criteri sono stati quindi inglobati in modelli di ottimizzazione matematica, opportunamente formulati per determinare il set ottimo di fornitori da selezionare.

Il punto di partenza è stata la determinazione di criteri che prendessero in considerazione ogni aspetto della selezione dei fornitori come ad esempio la qualità, la tempestività nella consegna e i costi. Ad ogni criterio è stato assegnato un peso, che ne determina quindi l'importanza del criterio rispetto agli altri, attraverso la tecnica dell'*Analytical Hierarchic Process* (AHP).

In secondo luogo, sono stati formulati ed in seguito implementati mediante il linguaggio di modellazione algebrica AMPL, tre diversi modelli matematici, con obiettivi e vincoli differenti, in maniera da considerare diverse ipotesi nel processo di selezione dei fornitori.

L'ultima parte della tesi ha infine riguardato la sperimentazione degli approcci proposti su un caso di studio fornito dal comitato CRI della Regione Marche.

Capitolo 1

L'oggetto della tesi è la selezione dei fornitori per i DPI per il comitato regionale Marche della CRI durante la pandemia causata dall'infezione SARS-CoV-2.

Questo virus fa parte della famiglia dei coronavirus, chiamati così a causa della loro forma, essi sono caratterizzati da un'elevata trasmissibilità ed è proprio questa peculiarità ad aver agevolato l'espandersi dell'onda pandemica. L'utilizzo di dispositivi che permettano di proteggere ogni individuo (DPI) in modo da limitare la diffusione e la circolazione del virus diventa quindi un aspetto assolutamente cruciale. Essi sono classificati in base alla parte del corpo che devono proteggere, ad esempio, esistono i dispositivi di protezione delle vie respiratorie e i dispositivi di protezione delle mani e delle braccia. Oltre questa distinzione, i DPI sono classificati in tre categorie differenti in base al grado di rischio connesso all'attività lavorativa:

1. DPI di prima categoria: sono dispositivi di protezione per attività che hanno rischio minimo e che procurano danni di lieve entità (come l'effetto di vibrazioni, raggi solari, urti lievi e fenomeni atmosferici). Sono autocertificati dal produttore.
2. DPI di seconda categoria: qui vengono inclusi i DPI che non rientrano nelle altre due categorie e che sono legati ad attività con rischio significativo (il D.Lgs. 475/92 non fornisce una vera e propria definizione di tale categoria). È richiesto un attestato di certificazione di un organismo di controllo autorizzato.
3. DPI di terza categoria: dispositivi che proteggono il lavoratore da danni gravi o permanenti per la sua salute, o dal rischio di morte. Secondo le norme vigenti in ambito salute e sicurezza sul lavoro, è previsto un addestramento specifico obbligatorio per poterli utilizzare in modo corretto. Alcuni esempi di DPI di terza

categoria sono: imbragature, caschi con allaccio sottogola, autorespiratori, guanti ignifughi).

Le autorità sanitarie hanno ritenuto sufficiente l'utilizzo, per quanto concerne i cittadini, esclusivamente delle mascherine come dispositivi di sicurezza mentre per quanto riguarda gli operatori della CRI le misure adottate sono più stringenti a causa degli elevati contatti con persone a rischio ed è richiesto l'utilizzo di mascherine, guanti o doppi guanti, camici, tute e visiere, quest'ultimi sono gli unici DPI che possono essere disinfettati e riutilizzati.

Le mascherine a loro volta possono essere di diversa tipologia: infatti, gli operatori della CRI indossano mascherine FFP2 e FFP3 nelle situazioni in cui non si ha la certezza che l'individuo con cui entrano in contatto non sia positivo al virus perché esse filtrano rispettivamente il 94% e il 99% delle particelle che si trovano nell'aria, mentre nel caso in cui siano certi che il paziente sia negativo utilizzano le mascherine chirurgiche, le quali assicurano una protezione minore da un'eventuale infezione ma hanno dei costi più contenuti e sono più facilmente reperibili.

La quantità di DPI utilizzati ogni mese a livello globale, secondo gli studiosi, è di circa 65 miliardi di guanti e 129 miliardi di mascherine; questi numeri pongono il focus sulla produzione e sullo smistamento di questi dispositivi necessari a tutta la popolazione.

Lo studio di queste problematiche e in particolare della selezione dei fornitori è fondamentale in questa particolare situazione poiché la celerità nella consegna e la qualità dei DPI sono due aspetti cardine della lotta al virus che ogni giorno tutti noi ma, in particolare, gli uomini e le donne della CRI si trovano ad affrontare.

Per questa motivazione, il principale obiettivo che questo lavoro si è prefissato di raggiungere è stato la formulazione di modelli di ottimizzazione matematici efficienti che potessero dare delle risposte chiare su quali siano i fornitori migliori da cui

ordinare le varie tipologie di DPI in base al fabbisogno di ogni comitato della CRI situato nel territorio della Regione Marche.

La CRI, infatti, come si evince dal loro sito web, è organizzata con un comitato nazionale che stabilisce la strategia dell'associazione e approva le normative generali, a livello regionale invece, sono presenti i Comitati Regionali che coordinano e controllano, mediante specifiche attribuzioni, l'attività dei Comitati locali che operano nelle provincie, nel rispetto dell'autonomia di ciascun Comitato.

L'impatto che i modelli matematici avranno sarà di forte aiuto nella gestione dell'emergenza sanitaria poiché permetterà agli operatori di avere sempre l'attrezzatura adeguata in modo da far fronte a ogni situazione ma, allo stesso tempo, contenendo al meglio i costi dovuti alle spese ingenti causate dalle grandi quantità di DPI necessari.

Nel secondo capitolo, viene proposta una disamina bibliografica che descrive i contributi in letteratura in riferimento al problema della selezione dei fornitori in generale e nello specifico, nel contesto della logistica emergenziale.

Nel terzo capitolo, vengono presentati e analizzati i criteri che sono stati scelti per effettuare una valutazione puntuale dei fornitori: infatti quest'ultimi, sono stati selezionati dall'albo della CRI e sono stati valutati secondo i dati storici a disposizione ponendo particolare attenzione su qualità, puntualità e costi. Sono stati assegnati dei pesi a ogni criterio di valutazione seguendo la tecnica dell'AHP ed è stata ricavata una classifica in modo da capire quali possano essere i fornitori migliori per ogni sede e per ogni tipologia di DPI.

Inoltre, vengono descritte le formulazioni matematiche proposte, partendo da una più semplice per arrivare all'ultima che tiene in conto ipotesi più realistiche. Infatti, nel primo modello, non è fatta distinzione sul tipo di DPI e si tratta, più in generale, il

lotto di DPI come l'insieme di più DPI che servono alla vestizione completa di ogni operatore.

Nel secondo modello, invece, i DPI vengono analizzati singolarmente e per ogni tipologia si definiscono i fornitori migliori per ogni sede sulla base dei criteri scelti. Infine, nel terzo modello proposto, oltre alla distinzione per tipologia di DPI, si escludono anche tutti quei fornitori che non riuscirebbero a rispettare i tempi di consegna di cui la CRI ritiene di avere necessità.

Il quarto capitolo, invece, presenta i risultati ottenuti, dopo aver implementato i modelli proposti usando il linguaggio di modellazione AMPL, sul caso di studio reale proposto dal comitato regionale della CRI.

Il quinto capitolo, infine, presenta le conclusioni sul lavoro svolto e identifica alcuni sviluppi futuri.

Capitolo 2

2.1 Introduzione

La selezione dei fornitori è un argomento ampiamente trattato in letteratura in quanto è presente nella maggior parte dei settori industriali e logistici per ottimizzare i processi produttivi, migliorare le prestazioni di un'azienda o aumentare la qualità dei prodotti e servizi resi ai consumatori. Dalle prestazioni dei fornitori spesso dipendono anche quelli dell'azienda sia in termini economici ma anche di servizi offerti alla propria clientela ed è per questi motivi che nella pianificazione dei sistemi logistici questa sezione assume una rilevanza sempre maggiore.

L'analisi e la scelta accurata dei fornitori e contestualmente anche dei criteri di selezione per quest'ultimi sono delle attività relativamente recenti nate con la globalizzazione della produzione orientata all'aumento degli standard qualitativi e alla diminuzione dei tempi di consegna degli ordini, dovuti a una concorrenza sempre maggiore a livello mondiale.

2.2 Stato dell'arte

La gestione dei fornitori si articola in tre fasi fondamentali.

1. Ricerca dei fornitori.

L'attività di ricerca dei fornitori inizia nel momento in cui l'azienda è nuova sul mercato e non possiede ancora nessun portafoglio fornitori oppure quando intende rinnovare il proprio albo. Per questa fase si possono utilizzare diversi tipi di fonti come ad esempio fiere di settore, incontri organizzati o motori di ricerca. In questo periodo è possibile effettuare dei controlli di ispezione per tastare la qualità e i metodi di lavoro di eventuali fornitori per ottenere in modo immediato determinate informazioni.

2. Definizione dei criteri di selezione.

È la fase più critica e delicata dell'intero processo decisionale in quanto sono proprio i criteri scelti e il peso ad essi attribuito a determinare quali saranno i fornitori selezionati. Solitamente, la scelta di questi parametri è in linea con le strategie aziendali che dipendono dal tipo di mercato in cui si opera; non è possibile, di conseguenza, stilare una lista di criteri di selezione dei fornitori valida in senso generale. Uno studio di interesse è quello condotto da G.W. Dickson che, attraverso un'indagine effettuata negli USA, coinvolgendo 273 responsabili degli acquisti ha identificato 23 differenti criteri di valutazione e il loro peso per stabilire l'importanza relativa a ciascuno di essi e li ha riportati nella seguente tabella presente in [\[1\]](#):

| Classifica | Criterio | Peso |
|------------|-----------------------------------|-------|
| 1 | Qualità | 3,508 |
| 2 | Termini di consegna | 3,147 |
| 3 | Storico delle prestazioni | 2,998 |
| 4 | Condizioni di garanzia | 2,849 |
| 5 | Capacità strutturale e produttiva | 2,775 |
| 6 | Prezzo | 2,758 |
| 7 | Capacità tecnica | 2,545 |
| 8 | Posizione finanziaria | 2,514 |
| 9 | Conformità delle procedure | 2,488 |
| 10 | Sistema di comunicazione | 2,426 |
| 11 | Reputazione | 2,412 |
| 12 | Attrattività | 2,256 |
| 13 | Gestione e organizzazione | 2,216 |
| 14 | Controlli operativi | 2,211 |
| 15 | Servizio assistenza | 2,187 |

| | | |
|----|--|-------|
| 16 | Attitudine | 2,120 |
| 17 | Impressione | 2,054 |
| 18 | Capacità negli imballaggi | 2,009 |
| 19 | Rapporti di lavoro conclusi | 2,003 |
| 20 | Posizione geografica | 1,872 |
| 21 | Totale delle transazioni economiche concluse | 1,597 |
| 22 | Aiuti formativi | 1,537 |
| 23 | Reciproci accordi | 0,610 |

Più recentemente, T.Y. Choi e J.L. Hartley hanno studiato i criteri di selezione dei fornitori nel settore automobilistico e anch'essi hanno individuato 23 criteri suddivisi in 8 categorie principali riportati nella seguente tabella presente, anch'essa, in [\[1\]](#):

| Categoria | Criterio |
|----------------------|---|
| Finanze | Condizioni finanziarie |
| | Redditività |
| | Disponibilità di informazioni finanziarie |
| | Premi di prestazione |
| Consistenza | Conformità del prodotto |
| | Rispetto dei tempi di consegna |
| | Filosofia aziendale basata sulla qualità |
| | Tempi di risposta |
| Capacità relazionali | Relazioni di lungo termine |
| | Chiusura nelle relazioni |
| | Apertura nelle comunicazioni |
| | Reputazione |

| | |
|-----------------------|---|
| Flessibilità | Modifiche dei volumi di produzione Riduzione dei tempi di attrezzaggio Riduzione dei tempi di consegna Risoluzione dei conflitti |
| Capacità tecnologiche | Capacità di progettazione Capacità tecniche |
| Servizi | Assistenza post-vendita Competenze dei rappresentanti alle vendite |
| Affidabilità | Miglioramenti incrementali Affidabilità del prodotto |
| Prezzo | Prezzo iniziale |

In generale i criteri ritenuti tra i più importanti in ogni ambito e in ogni studio condotto sono il prezzo di acquisto e la qualità, le prestazioni nelle consegne, la flessibilità e le capacità finanziarie. Ovviamente, non tutti i criteri possono avere lo stesso peso per tutte le aziende quindi per determinare il peso da attribuire ai diversi criteri si può utilizzare la procedura derivata *dall'Analytical Hierarchic Process (AHP)* che si articola in due fasi.

Nel primo step si indicano con m il numero di criteri adottati e sia A una matrice quadrata m -dimensionale i cui elementi a_{kj} , $k=1,\dots,m$; $j=1,\dots,m$; $k \neq j$, esprimono l'importanza relativa del criterio k rispetto al criterio j e $a_{jk}=1/a_{kj}$. Gli elementi a_{kk} sono posti uguali a 1.

Nel secondo step, per ogni criterio k si determina la quantità

$$W_k = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m a_{kj}}$$

corrispondente alla media geometrica degli elementi appartenenti alla riga k -esima di A . Si determina il peso di ogni criterio k ponendo:

$$w_k = \frac{\hat{w}_k}{\sum_{k=1}^m \hat{w}_k} \quad K=1, \dots, m$$

L'obiettivo di questa tecnica è quello di poter misurare fattori quantitativi e qualitativi fornendo un giudizio sul grado di coerenza dei giudizi dei decisori in merito all'importanza relativa dei criteri di valutazione.

Il principio di questo metodo è l'organizzazione in forma gerarchica degli obiettivi, dei criteri e delle alternative: infatti il primo passo del metodo comporta la costruzione della *gerarchia di dominanza* intesa come una struttura reticolare costituita da due o più livelli in cui il primo livello rappresenta l'obiettivo della valutazione mentre il secondo livello rappresenta gli obiettivi e gli attributi intermedi che specificano contenuti e significati dei goal. Ciascuno di questi livelli può essere suddiviso in obiettivi più specifici fino ad arrivare all'ultimo livello in cui sono indicate le possibili alternative.

Tutti gli elementi subordinati allo stesso elemento della gerarchia vengono confrontati a coppie e gli elementi di ciascuna coppia vengono comparati al fine di stabilire quale di essi è più importante in rapporto all'elemento sovraordinato e in quale misura. Il risultato di questo confronto è il coefficiente di dominanza che rappresenta una stima della dominanza del primo elemento sul secondo o viceversa.

Per determinare i valori dei coefficienti di dominanza occorre utilizzare la scala di Saaty che mette in relazione i primi nove numeri interi con dei giudizi che esprimono i possibili risultati del confronto.

| Intensità di importanza | Definizione | Spiegazione |
|-------------------------|-----------------------|--|
| 1 | Uguale importanza | I due criteri contribuiscono nella stessa misura |
| 3 | Prevalenza debole | L'esperienza ed il giudizio favoriscono leggermente il criterio "i" |
| 5 | Prevalenza forte | L'esperienza e il giudizio favoriscono chiaramente il criterio "i" |
| 7 | Prevalenza dimostrata | La prevalenza del criterio "i" è dimostrata |
| 9 | Prevalenza assoluta | La prevalenza del criterio "i" è dimostrata con il massimo livello di certezza |
| 2,4,6,8 | Valori intermedi | Da utilizzare se compatibili con la capacità di discriminazione |

I coefficienti di dominanza vanno a formare la matrice A detta matrice dei confronti a coppie da cui si ottengono i pesi di tutti gli elementi della gerarchia che misurano l'importanza relativa dei singoli elementi.

L' AHP è una tecnica che può essere usata anche in settori logistici molto particolari come, ad esempio, la valutazione dei fornitori con criteri legati all'ecocompatibilità e alla sostenibilità ambientale oppure nella gestione degli acquisti e delle strutture in caso di disastri naturali quali terremoti. Su quest'ultimo aspetto si è soffermato il lavoro [\[3\]](#), che ha focalizzato principalmente lo studio sul problema della locazione

delle piattaforme logistiche nelle aree colpite da emergenza utilizzando il *Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)*.

Alla base è presente l'idea che, per avere dei servizi umanitari efficienti in situazioni d'emergenza, è necessaria una localizzazione delle unità logistiche adeguata e ciò è possibile esclusivamente con una metodologia che tiene in considerazione tutti gli aspetti e tutti i criteri come ad esempio l'*AHP* che, in questo caso, è stato associato al *Fuzzy set*, che garantisce maggiore flessibilità nei giudizi.

Utilizzando l'*AHP* si possono tenere in considerazione diversi fattori come gli aiuti umani necessari o l'attrezzatura e le strutture più urgenti in modo da poter avere anche una stima dei potenziali rischi ed essere in grado di affrontarli al meglio.

Un ulteriore studio su quanto riguarda la logistica emergenziale è [\[4\]](#) dove viene proposto un metodo di valutazione per i sistemi logistici in caso di catastrofi naturali, quali tsunami o terremoti, basato sull'*AHP*.

Il primo passo è progettare un sistema di indici di valutazione e, in seguito, dare un peso ad ogni indice attraverso la tecnica dell'*AHP* che è di fondamentale importanza in questo studio, in quanto, permette di dare la giusta importanza ad ogni indice in modo da ottenere una valutazione coerente e il più possibile precisa del sistema in esame.

In questo articolo viene preso in esempio il terremoto di Wenchuan del 2008 per analizzare questo metodo di valutazione e mostrare che esso è valido per questo tipo di situazioni. Nei risultati finali appare evidente che il metodo fornisca valutazioni sul livello dell'efficienza della macchina operativa emergenziale estremamente simili alla realtà dei fatti evidenziandone sia i punti di forza che di debolezza e, di conseguenza, lo studio si conclude con una valutazione di buona praticabilità e applicabilità del metodo stesso a questa tipologia di eventi.

Un argomento su cui le aziende pongono sempre più attenzione è quello della sostenibilità ambientale che riguarda anche il settore dei fornitori: infatti i criteri di valutazione non sono più limitati alla qualità e ai costi ma anche all'attenzione a una produzione e a un trasporto green. Lo studio [2] si è concentrato sul ricercare il miglior trade-off tra le prestazioni dei fornitori e la loro ecosostenibilità. Sono stati selezionati dei criteri per valutare la performance delle aziende nel campo della sostenibilità come, ad esempio, le emissioni e gli sprechi per ogni unità di prodotto, il livello di efficienza energetica degli impianti o l'uso di petrolio e derivati.

Questi fattori contribuiscono con il peso a loro assegnato nella valutazione in modo da avere una panoramica completa nel momento in cui viene presa la decisione sul fornitore da selezionare.

3. Selezione del fornitore.

Per la selezione del fornitore può essere usata una ricca varietà di metodi, il più utilizzato è il metodo del punteggio che consiste nell'attribuire un punteggio complessivo per ogni fornitore sulla base dei criteri prescelti per la selezione.

Sia V l'insieme dei fornitori potenziali, a ogni prescelto criterio di selezione k viene associato un peso w_k in base alla sua rilevanza rispetto agli altri criteri. Sia s_{ik} con i che appartiene a V , il punteggio attribuito al criterio k di selezione per il fornitore i ; il punteggio totale r_i del fornitore i è calcolato con:

$$r_i = \sum_{k=1}^m w_k s_{ik}$$

Quando il calcolo è stato eseguito su tutti i potenziali fornitori, è possibile ordinare quest'ultimi per valori non crescenti del punteggio totale in modo da avere una classifica ben delineata.

In letteratura il problema della selezione dei fornitori è stato formulato anche come modello di ottimizzazione.

Il più semplice e maggiormente utilizzato nella pratica per risolvere problemi in questo settore è il modello che corrisponde al problema di programmazione lineare multi-obiettivo in cui è presente l'insieme V dei potenziali fornitori e il numero di criteri di selezione individuati m , ciascuno dei quali avente peso w_k con $k=1, \dots, m$.

Viene definita s_{ik} , con i che appartiene a V , la valutazione del fornitore potenziale i rispetto al criterio k e di conseguenza il punteggio totale del fornitore i è dato da:

$$r_i = \sum_{k=1}^m w_k s_{ik}$$

Per sviluppare il modello devono essere note anche D , ovvero la quantità di prodotto complessivamente richiesta ai fornitori, c_i cioè il costo unitario di acquisto praticato dal fornitore i e q_i : la quantità massima di prodotto che può essere resa disponibile da un fornitore durante il periodo di pianificazione. Le variabili decisionali sono x_i ognuna delle quali rappresenta la quantità di prodotto acquistata presso il fornitore i . Da questi parametri si ottiene il modello matematico:

$$\min \sum_{i \in V} c_i x_i$$

$$\max \sum_{i \in V} v_i x_i$$

$$\sum_{i \in V} x_i = D$$

$$0 < x_i < q_i$$

Dove $v_i = r_i / \max \{r_k\}$.

La funzione di minimo esprime il costo totale della fornitura da minimizzare; la funzione di massimo corrisponde alla massimizzazione del punteggio complessivo di tutti i fornitori selezionati. L'equazione impone che la domanda debba essere soddisfatta mentre l'ultimo vincolo stabilisce i limiti inferiori e superiori sulla quantità consegnata da ciascun fornitore.

Per determinare una soluzione Pareto-ottima del problema si può utilizzare il metodo dell'ε-vincolo. Si seleziona una funzione obiettivo e la restante viene trasformata in vincolo imponendo un limite superiore sul suo valore nel caso di obiettivo originario di minimo ovvero un limite inferiore nel caso di obiettivo originario di massimo.

Nel settore della ricerca dei fornitori è stato elaborato un processo, che prende il nome di "*Vendor evaluation*", che consiste in una serie di tecniche volte a strutturare il processo decisionale e a monitorare le prestazioni dei fornitori.

Questa tecnica punta a introdurre dei principi di oggettività e trasparenza delle scelte attraverso la formalizzazione di algoritmi e parametri di scelta oggettivi in modo da aiutare l'azienda nella scelta dei fornitori ma anche di supportare quest'ultimi che, conoscendo i fattori sui quali vengono valutati, hanno la possibilità di migliorare le proprie prestazioni.

Le fasi del processo sono:

1. **La definizione del problema:** si definisce quale sia la problematica che può richiedere l'uso di un'opportuna tecnica di valutazione dei fornitori.
2. **La formulazione dei criteri:** in relazione alle caratteristiche del problema è necessario individuare un insieme di criteri di valutazione che possono riferirsi alle potenzialità di un fornitore sia alle effettive prestazioni dimostrate storicamente.
3. **Qualificazione dei fornitori:** quest'attività consiste nel ridurre l'insieme dei potenziali fornitori ad un set ristretto formando una lista da cui cercare il miglior fornitore nel momento in cui si deve assegnare una fornitura.
4. **Scelta finale:** questa fase è ottenuta con una valutazione globale che porta ad un'effettiva classifica di preferenze in relazione ad un particolare approvvigionamento.

I parametri più importanti da studiare quando si effettua questo tipo di selezione sono la definizione della situazione di approvvigionamento e la tipologia di relazione tra azienda e fornitori.

Per quanto concerne la situazione di approvvigionamento, essa può essere relativa a un prodotto del tutto nuovo e per il quale l'azienda non ha nessuna esperienza precedente con nessun fornitore oppure può essere un caso di riacquisto in cui l'azienda possiede già delle informazioni storiche sia sul prodotto che sui fornitori.

Nella tipologia di relazione tra azienda e fornitori avviene una divisione in tre classi: i fornitori normali, i fornitori integrati e i fornitori partner.

I fornitori normali hanno delle transazioni incentrate su piccoli ordini come ad esempio le scorte di sicurezza e hanno delle procedure di controllo qualità variabili; i fornitori integrati hanno una relazione con l'azienda di lungo termine e hanno una garanzia di autocertificazione e di rifornimenti diretti ai reparti; i fornitori partner sono quelli più vicini all'azienda e cooperano allo sviluppo dei prodotti, hanno una riduzione dei prezzi e forniscono scambi informativi sulla programmazione e i processi produttivi.

Questi rapporti vanno considerati in modo dinamico, ovvero un fornitore può passare da una categoria all'altra anche molto velocemente se riesce a rispettarne i parametri.

In conclusione, i vantaggi di questa metodologia sono legati a una riduzione della soggettività dei giudizi, a una comunicazione migliore e più distesa con i propri fornitori da parte dell'azienda e alla possibilità di riuscire a correggere velocemente eventuali punti deboli evidenziati dalle prestazioni.

Capitolo 3

3.1 L'AHP e la selezione dei fornitori per la CRI Marche.

Questa tecnica, descritta nel capitolo precedente, permette di assegnare un peso ad ogni criterio preso in considerazione per la selezione dei fornitori. Nel caso oggetto di studio i criteri selezionati sono, in ordine di importanza: qualità dei DPI, puntualità nella consegna, flessibilità legata alla variazione della domanda e alla tipologia di DPI forniti, costi per ogni tipologia di DPI, storico delle prestazioni risultanti dagli archivi dei fornitori della CRI e la gestione e l'organizzazione degli ordini.

Sulla base di questi criteri e della loro importanza è stata realizzata la matrice "A", una matrice quadrata di dimensione "m", con "m" indicante il numero di criteri selezionati, in questo caso sei, i cui elementi esprimono l'importanza di un parametro rispetto ad un altro.

Il giudizio sul confronto tra due criteri "i" e "j" è tradotto in valori predefiniti a seconda del grado di importanza di un parametro rispetto ad un altro. Indicati, rispettivamente con " a_{ij} " e " a_{ji} ", il rapporto tra il criterio "i" e il criterio "j" e viceversa, si possono avere diversi tipi di relazione:

- "i" e "j" sono ugualmente importanti: $a_{ij}= 1$ e $a_{ji}= 1$;
- "i" è moderatamente preferibile a "j": $a_{ij}=3$ e $a_{ji}= 1/3$;
- "i" è abbastanza preferibile a "j": $a_{ij}= 5$ e $a_{ji}= 1/5$;
- "i" è decisamente preferibile a "j": $a_{ij}= 7$ e $a_{ji}= 1/7$;
- "i" è decisamente estremamente preferibile a "j": $a_{ij}=9$ e $a_{ji}= 1/9$.

Sulla base dei suddetti valori è stata realizzata la matrice "A", prendendo in esame i criteri elencati precedentemente e il relativo grado di importanza.

| CRITERI | QUALITÀ | PUNTUALITÀ | FLESSIBILITÀ | COSTI | STORICO PREST. | GESTIONE E ORG. |
|------------------------|---------|------------|--------------|-------|-------------------|--------------------|
| QUALITÀ | 1 | 3 | 5 | 7 | 7 | 9 |
| PUNTUALITÀ | 1/3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| FLESSIBILITÀ | 1/5 | 1/3 | 1 | 3 | 5 | 7 |
| COSTI | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1 | 3 | 5 |
| STORICO PRESTAZIONI | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1 | 3 |
| GESTIONE E ORG. | 1/9 | 1/9 | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1 |

Dalla matrice si evince l'importanza di fattori quali la puntualità e la qualità che presentano, in relazione con gli altri parametri, valori più alti.

Ogni fornitore presente nell'albo della CRI è valutato sulla base dei criteri descritti, i quali essendo chiari e oggettivi sono di facile interpretazione e comprensione, in modo da facilitare il processo di selezione ma allo stesso tempo permettono ai fornitori di comprendere su quali aspetti è necessario focalizzarsi maggiormente per migliorare le proprie prestazioni.

Questa tecnica permette di aumentare la competitività tra i fornitori e quindi di ottenere un servizio migliore ma anche di avere a disposizione una classifica in modo da poter selezionare fornitori validi in caso di adempienze o di ritardi dei fornitori migliori.

3.2 Formulazioni matematiche proposte

In questo capitolo vengono presentati i quattro modelli matematici di ottimizzazione che presentano un livello di complessità ed efficienza crescente.

Essi hanno in comune, nella funzione obiettivo, la minimizzazione dei costi di fornitura rappresentati dal coefficiente C_{ijk} ; le differenze tra i primi tre modelli e il quarto riguardano i criteri di valutazione considerati poiché i primi analizzano i fornitori esclusivamente in base alla minimizzazione dei costi di fornitura, il quarto, invece, considera tutti i criteri precedentemente elencati tenendo in considerazione anche i pesi che essi hanno e che sono stati assegnati attraverso la tecnica dell'AHP.

Il primo modello considera i DPI come lotti di prodotti che possono essere acquistati e quindi non prende in esame le diverse tipologie. Inoltre, esso non considera nessun limite di tempo ma i vincoli esprimono esclusivamente la massima quantità di lotti che ogni fornitore può offrire e la domanda minima che deve essere fornita ad ogni centro della cri.

$$\min z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

$$1 \sum_{i=1}^m x_{ij} \geq q_j \quad \text{con } j=1, \dots, n.$$

$$2 \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq p_i \quad \text{con } i=1, \dots, m.$$

$$3 \quad x_{ij} \geq 0 \text{ e intere}$$

| VARABILI | SIGNIFICATO |
|----------|--|
| x_{ij} | Quantità di lotti di DPI trasportati dal fornitore "i" alla sede "j" della CRI |

| PARAMETRI | SIGNIFICATO |
|-----------|---|
| C_{ij} | Costo di ogni lotto di DPI consegnato dal fornitore "i" alla sede "j" |
| q_j | Quantità minima di lotti di DPI richiesti dalla sede "j" della CRI |
| p_i | Quantità massima di lotti di DPI che ogni fornitore "i" riesce a consegnare |

Il vincolo numero 1 è chiamato vincolo di domanda mentre il vincolo numero 2 è chiamato vincolo di offerta. La funzione obiettivo è data dal prodotto tra la variabile decisionale intera e non negativa x_{ij} e C_{ij} che, come indicato nella tabella, rappresenta il costo, inteso come peso, di ogni lotto di DPI derivante dalla tecnica dell'AHP.

Il secondo modello, a differenza del primo, analizza e divide i DPI per tipologia incrementando il rapporto di veridicità tra la modellizzazione e la realtà.

$$\min Z = \sum_{i=1}^m \cdot \sum_{j=1}^n \cdot \sum_{k=1}^s c_{ijk} x_{ijk}$$

$$1 \sum_{i=1}^m x_{ijk} \geq q_{jk} \quad j=1, \dots, m ; k=1, \dots, s.$$

$$2 \sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq p_{ik} \quad i=1, \dots, n ; k=1, \dots, s.$$

$$3 x_{ijk} \geq 0 \text{ e intere } i=1, \dots, n ; j=1, \dots, m ; k=1, \dots, s.$$

La struttura del problema rimane inalterata rispetto al primo modello: infatti, sono presenti i vincoli di domanda (1) e di offerta (2) e la funzione obiettivo minimizza i costi totali. La variabile decisionale in questo caso è a tre indici "ijk" che indicano rispettivamente i fornitori, le sedi e le tipologie di DPI.

| VARIABILI | SIGNIFICATO |
|-----------|---|
| X_{ijk} | Quantità di DPI di tipo "k" trasportati dal fornitore "i" alla sede "j" |
| PARAMETRI | SIGNIFICATO |
| C_{ijk} | Costo di ogni tipo di DPI "k" consegnato dal fornitore "i" alla sede "j" |
| q_{jk} | Quantità minima di DPI di tipo "k" richiesta dalla sede "j" della CRI |
| p_{ik} | Quantità massima di ogni tipo "k" di DPI che il fornitore "i" riesce a consegnare |

Il terzo modello è il più complesso poiché tiene in considerazione più fattori in quanto, in questa configurazione, viene effettuata una preselezione a monte dei fornitori legata al tempo di consegna degli ordini riportato nei dati storici delle sedi della CRI per ogni tipologia di DPI. Rientrano nel processo decisionale, quindi, tutti e solo i fornitori che rispettano la seguente condizione:

$$t_{ijk} \leq T_{jk}$$

dove t_{ijk} rappresenta il tempo di consegna del fornitore "i" per il DPI "k" alla sede CRI "j" e T_{jk} rappresenta il tempo massimo per la consegna del DPI "k" alla sede CRI "j".

Il modello per i fornitori che superano la preselezione è il seguente:

$$\min Z = \sum_{i=1}^m \cdot \sum_{j=1}^n \cdot \sum_{k=1}^s c_{ijk} x_{ijk}$$

$$1 \sum_{i=1}^m x_{ijk} \geq q_{jk} \quad j=1, \dots, n ; k=1, \dots, s.$$

$$2 \sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq p_{ik} \quad i=1, \dots, m ; k=1, \dots, s.$$

$$3 \sum_{i=1}^m y_{ijk} \geq e_{jk} \quad j=1, \dots, n ; k=1, \dots, s.$$

$$4 x_{ijk} \leq p_{ik} \cdot y_{ijk} \quad i=1, \dots, m ; j=1, \dots, n ; k=1, \dots, s.$$

$$5 x_{ijk} \geq 0 \text{ e intera} \quad i=1, \dots, m ; j=1, \dots, n ; k=1, \dots, s.$$

$$6 y_{ijk} \text{ binaria e intera.} \quad i=1, \dots, m ; j=1, \dots, n ; k=1, \dots, s.$$

La funzione obiettivo e i primi due vincoli non differiscono dalla precedente sia per forma che per significato. Nel terzo vincolo viene introdotta una variabile binaria y_{ijk} , che assume valore unitario se il fornitore "i" rifornisce la sede CRI "j" con il DPI di tipo "k" e assume valore nullo se questa condizione non è verificata: questo vincolo è necessario per permettere a tutte le sedi dislocate nel territorio marchigiano di avere un numero minimo di fornitori per ogni tipologia di DPI in modo da riuscire a sopperire a mancanze da parte del miglior distributore dovute, ad esempio, a ritardi imprevisti, a limiti produttivi o ad aumenti improvvisi della domanda. Il vincolo numero quattro lega le due variabili decisionali del problema x_{ijk} e y_{ijk} in modo che se $x_{ijk} > 0$ allora y_{ijk} assume valore unitario, viceversa, se y_{ijk} assume valore nullo allora anche $x_{ijk} = 0$.

| VARIABILI | SIGNIFICATO |
|-----------|--|
| x_{ijk} | Quantità del DPI di tipo "k" inviato dal fornitore "i" alla sede CRI "j" |

| | |
|-----------|---|
| Y_{ijk} | =1 se il fornitore "i" rifornisce la sede "j" con il DPI di tipo "k"; = 0 altrimenti; |
| PARAMETRI | SIGNIFICATO |
| C_{ijk} | Costo di ogni tipo di DPI "k" consegnato dal fornitore "i" alla sede "j" |
| q_{jk} | Quantità minima di DPI di tipo "k" richiesta dalla sede "j" della CRI |
| p_{ik} | Quantità massima di ogni tipo "k" di DPI che il fornitore "i" riesce a consegnare |
| e_{jk} | Soglia minima del numero di fornitori per il DPI di tipo "k" necessario alla sede "j" della CRI |

Il quarto modello differisce dai precedenti poiché esso non prende in considerazione esclusivamente i costi ma utilizza l'analisi effettuata con la tecnica dell'AHP sui fornitori in modo da usare tutti i criteri descritti precedentemente per effettuare la valutazione.

$$\min Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

$$1 \sum_{i=1}^m x_{ij} \geq q_j; \text{ con } j=1, \dots, n.$$

$$2 \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq p_i; \text{ con } i=1, \dots, m.$$

$$3 \sum_{i=1}^m v_i y_i \geq \alpha$$

$$4 \ x_{ij} \leq p_i y_i$$

$$5 \ x_{ij} \geq 0 \text{ e intera } i=1,\dots,m ; j=1,\dots,n.$$

$$6 \ y_i \text{ binaria } i=1,\dots,m.$$

| VARIABILI | SIGNIFICATO |
|-----------|---|
| x_{ij} | Quantità di ogni lotto di DPI inviata dal fornitore "i" alla sede "j" della CRI |
| y_i | =1 se il fornitore "i" è attivo; = 0 altrimenti. |
| PARAMETRI | SIGNIFICATO |
| c_{ij} | Costo di ogni lotto di DPI consegnato dal fornitore "i" alla sede "j" |
| q_j | Quantità minima di lotti di DPI richiesti dalla sede "j" della CRI. |
| p_i | Quantità massima di lotti di DPI che ogni fornitore "i" riesce a consegnare. |
| v_i | Punteggio ottenuto dal fornitore "i" attraverso l'AHP. |
| α | Valore soglia per la valutazione del fornitore |

Il parametro " α " può essere oggetto di un'analisi di sensitività per comprendere e analizzare come cambia la soluzione a possibili cambiamenti su questa soglia.

Capitolo 4

4.1 Introduzione

In questa sezione verranno presentate le implementazioni dei modelli analizzati nel capitolo precedente attraverso il linguaggio di modellazione algebrica AMPL utilizzando in parte dati provenienti dalla CRI (quando disponibili) e dati comunque settati in maniera verosimile (quando non di facile reperibilità).

Sono stati separati i dati dalla struttura logica in modo da poter variare la parte numerica del problema, ad esempio, a causa di una variazione nei dati provenienti dalla CRI in modo rapido e garantendo comunque la risoluzione dell'istanza poiché la parte riguardante variabili decisionali, vincoli e funzione obiettivo non deve essere aggiornata ma resta valida con qualsiasi dato numerico inserito. Un ulteriore vantaggio derivante da questa metodologia è rappresentato dalla possibilità di cambiare la tipologia di risolutore, anche in questo caso, senza apportare modifiche alla struttura del modello; nelle istanze riguardanti i modelli oggetto di questo capitolo il risolutore utilizzato è stato il CPLEX.

Per tutti i modelli, inizialmente, sono stati sviluppati dei "toy example", al fine di validare la correttezza dei modelli matematici proposti.

4.2 Primo modello

Il primo modello preso in esame non tiene conto delle diverse tipologie di DPI ma esclusivamente della richiesta di ciascuna sede della CRI e della capacità massima di ciascun fornitore; inoltre, nella funzione obiettivo viene considerata esclusivamente la minimizzazione dei costi.

L'istanza giocattolo prevede un numero di sedi da rifornire pari a 4 ognuna con la propria domanda presente nella tabella sottostante:

| SEDE | QUANTITA' DOMANDATA |
|------|---------------------|
| 1 | 70 |
| 2 | 40 |
| 3 | 80 |
| 4 | 60 |

Tabella 4.2.1: richiesta di DPI per ciascuna sede CRI.

Un numero di fornitori possibili pari a tre ciascuno con la propria disponibilità:

| FORNITORI | QUANTITA' DISPONIBILE |
|-----------|-----------------------|
| 1 | 100 |
| 2 | 80 |
| 3 | 70 |

Tabella 4.2.2: disponibilità di DPI di ciascun fornitore.

Nella funzione obiettivo i coefficienti delle variabili sono rappresentati da dei parametri chiamati coefficienti di costo, i quali, rappresentano i costi di fornitura unitari:

| FORNITORI/SEDI | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 4 | 2 | 1 |
| 2 | 3 | 6 | 7 | 2 |
| 3 | 8 | 3 | 5 | 4 |

Tabella 4.2.3: coefficienti delle variabili in funzione obiettivo

All'interno dei vincoli i coefficienti delle variabili invece vengono rappresentate da parametri che indicano la richiesta da parte delle sedi della CRI dei DPI

| FORNITORI/SEDI | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 5 | 7 | 15 | 3 |
| 2 | 6 | 11 | 2 | 13 |
| 3 | 7 | 9 | 10 | 6 |

Tabella 4.2.4: coefficienti delle variabili nei vincoli.

Il risolutore riesce a trovare la soluzione ottima del problema minimizzando le spese della fornitura trovando un valore dei costi totali pari a 87,2051.

Un'istanza verosimile, invece, ha 34 comitati della CRI dislocati geograficamente come rappresentato in figura 4.2.1:

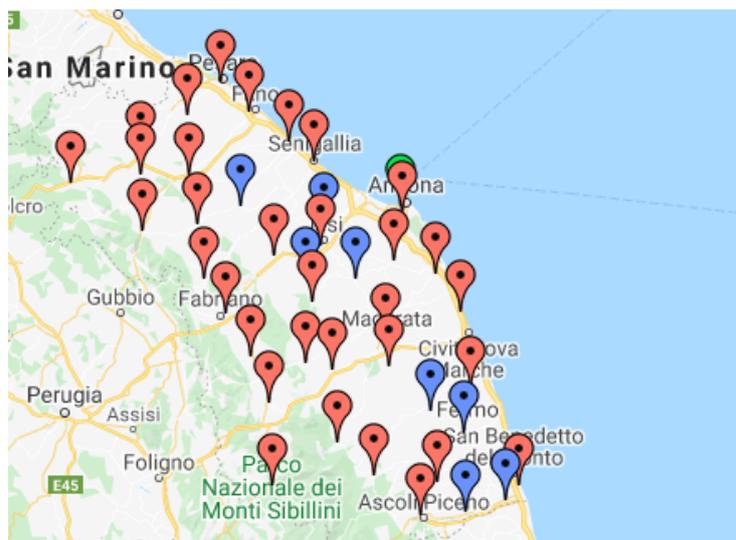


Figura 4.2.1: comitati CRI Marche.

Ciascun comitato ha una domanda di DPI espressa nella seguente tabella:

| SEDE | QUANTITA' DOMANDATA |
|----------------------|----------------------------|
| Ancona 1 | 70 |
| Ancona 2 | 40 |
| Cagli | 30 |
| Fano | 60 |
| Castelplanio | 30 |
| Cingoli | 20 |
| Fermo | 40 |
| Jesi | 30 |
| Macerata | 45 |
| Matelica | 20 |
| Osimo | 25 |
| Pesaro | 10 |
| Porto potenza picena | 60 |
| Sarnano | 65 |
| San Severino marche | 35 |
| Senigallia | 30 |
| Tolentino | 50 |
| Ascoli Piceno | 40 |
| Visso | 20 |
| Camerino | 10 |
| Castignano | 45 |
| Fabriano | 50 |
| Fermignano | 65 |
| Fossombrone | 10 |
| Loreto | 20 |
| Marotta | 30 |
| Montelabbate | 50 |
| Pergola | 60 |
| Petriolo | 30 |
| Sassoferrato | 20 |
| Sant'angelo in vado | 50 |

| | |
|---------------------------------|----|
| Urbino | 50 |
| San benedetto del Tronto | 60 |
| Sibillini | 10 |

Tabella 4.2.5: richiesta di DPI per ciascuna sede CRI.

Per quanto riguarda il numero di fornitori e la loro capacità, non avendo a disposizione dati ufficiali, sono stati utilizzati dati verosimili:

| FORNITORI | QUANTITA' DISPONIBILE |
|------------------|------------------------------|
| 1 | 130 |
| 2 | 160 |
| 3 | 140 |
| 4 | 150 |
| 5 | 200 |
| 6 | 180 |
| 7 | 180 |
| 8 | 130 |

Tabella 4.2.6: disponibilità di DPI di ciascun fornitore.

Essendo la struttura logica del problema reale identica al toy example anche in questo caso nella funzione obiettivo i coefficienti delle variabili sono rappresentati da dei parametri chiamati coefficienti di costo che rappresentano i costi di fornitura unitari:

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1 | 5 | 3 | 8 | 3 | 5 | 3 | 3 | 2 |
| Ancona 2 | 4 | 6 | 3 | 4 | 4 | 1 | 1 | 3 |
| Cagli | 2 | 7 | 5 | 5 | 3 | 5 | 4 | 6 |
| Fano | 1 | 2 | 4 | 4 | 2 | 7 | 6 | 7 |
| Castelplanio | 3 | 5 | 3 | 3 | 1 | 8 | 7 | 9 |
| Cingoli | 6 | 3 | 1 | 6 | 6 | 9 | 4 | 1 |
| Fermo | 9 | 1 | 2 | 4 | 6 | 3 | 3 | 5 |
| Jesi | 1 | 6 | 5 | 7 | 9 | 2 | 2 | 7 |
| Macerata | 3 | 7 | 7 | 8 | 4 | 1 | 5 | 8 |

| | | | | | | | | |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Matelica | 4 | 9 | 8 | 2 | 8 | 4 | 9 | 2 |
| Osimo | 7 | 3 | 4 | 1 | 3 | 5 | 8 | 1 |
| Pesaro | 8 | 5 | 5 | 3 | 4 | 6 | 6 | 4 |
| Porto potenza | 9 | 3 | 9 | 1 | 6 | 8 | 3 | 6 |
| Sarnano | 5 | 6 | 2 | 4 | 8 | 9 | 1 | 7 |
| San Severino | 2 | 8 | 1 | 5 | 3 | 2 | 5 | 9 |
| Senigallia | 6 | 7 | 5 | 4 | 2 | 1 | 6 | 2 |
| Tolentino | 4 | 1 | 6 | 2 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| Ascoli Piceno | 1 | 2 | 7 | 6 | 7 | 6 | 7 | 6 |
| Visso | 8 | 4 | 9 | 7 | 3 | 8 | 3 | 7 |
| Camerino | 9 | 6 | 5 | 9 | 4 | 2 | 8 | 8 |
| Castignano | 1 | 9 | 3 | 8 | 1 | 4 | 5 | 1 |
| Fabriano | 3 | 9 | 1 | 7 | 5 | 5 | 2 | 2 |
| Fermignano | 4 | 5 | 5 | 9 | 9 | 7 | 1 | 4 |
| Fossombrone | 5 | 3 | 7 | 3 | 8 | 9 | 9 | 4 |
| Loreto | 6 | 1 | 9 | 3 | 7 | 9 | 6 | 6 |
| Marotta | 2 | 1 | 8 | 5 | 1 | 3 | 5 | 9 |
| Montelabbate | 1 | 2 | 5 | 6 | 2 | 3 | 1 | 9 |
| Pergola | 7 | 6 | 1 | 7 | 4 | 4 | 8 | 8 |
| Petriolo | 9 | 8 | 4 | 9 | 6 | 5 | 6 | 2 |
| Sassoferrato | 8 | 9 | 7 | 1 | 5 | 6 | 7 | 1 |
| Sant'angelo | 6 | 5 | 8 | 3 | 7 | 1 | 4 | 3 |
| Urbino | 3 | 4 | 3 | 4 | 7 | 1 | 2 | 5 |
| San Benedetto | 1 | 4 | 2 | 5 | 8 | 8 | 1 | 6 |
| Sibillini | 4 | 3 | 1 | 7 | 8 | 7 | 1 | 8 |

Tabella 4.2.7: coefficienti delle variabili in funzione obiettivo.

Ragionamento analogo per quanto riguarda i coefficienti delle variabili all'interno dei vincoli, che indicano la richiesta di DPI:

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1 | 5 | 6 | 7 | 3 | 6 | 3 | 4 | 3 |
| Ancona 2 | 7 | 11 | 9 | 7 | 7 | 4 | 6 | 9 |
| Cagli | 15 | 2 | 10 | 9 | 10 | 19 | 8 | 10 |
| Fano | 3 | 13 | 6 | 10 | 13 | 2 | 10 | 13 |
| Castelplanio | 19 | 13 | 13 | 12 | 4 | 18 | 13 | 4 |
| Cingoli | 20 | 17 | 15 | 14 | 15 | 4 | 15 | 15 |
| Fermo | 3 | 13 | 2 | 9 | 6 | 17 | 8 | 3 |
| Jesi | 5 | 14 | 7 | 3 | 18 | 9 | 19 | 16 |
| Macerata | 8 | 9 | 15 | 14 | 19 | 15 | 1 | 9 |
| Matelica | 14 | 7 | 3 | 16 | 20 | 3 | 13 | 12 |
| Osimo | 11 | 5 | 18 | 17 | 3 | 16 | 15 | 7 |
| Pesaro | 2 | 4 | 7 | 4 | 2 | 4 | 9 | 16 |
| Porto potenza | 8 | 15 | 19 | 7 | 18 | 15 | 20 | 8 |
| Sarnano | 9 | 13 | 4 | 9 | 5 | 6 | 18 | 18 |
| San Severino | 10 | 12 | 15 | 3 | 15 | 14 | 4 | 4 |
| Senigallia | 11 | 19 | 7 | 11 | 1 | 8 | 19 | 12 |
| Tolentino | 16 | 12 | 14 | 10 | 13 | 12 | 4 | 11 |
| Ascoli Piceno | 18 | 7 | 6 | 15 | 14 | 4 | 13 | 20 |
| Visso | 2 | 8 | 16 | 8 | 8 | 11 | 15 | 4 |
| Camerino | 4 | 4 | 4 | 9 | 2 | 6 | 7 | 7 |
| Castignano | 7 | 9 | 5 | 4 | 19 | 11 | 12 | 13 |
| Fabriano | 8 | 3 | 9 | 16 | 20 | 2 | 5 | 9 |
| Fermignano | 9 | 15 | 2 | 4 | 2 | 10 | 6 | 3 |
| Fossombrone | 11 | 2 | 1 | 17 | 4 | 9 | 8 | 2 |
| Loreto | 15 | 17 | 20 | 18 | 8 | 5 | 13 | 19 |
| Marotta | 17 | 3 | 11 | 4 | 9 | 3 | 7 | 16 |
| Montelabbate | 18 | 18 | 14 | 19 | 10 | 2 | 11 | 13 |
| Pergola | 19 | 20 | 5 | 6 | 11 | 11 | 9 | 5 |
| Petriolo | 15 | 12 | 7 | 2 | 12 | 14 | 10 | 8 |
| Sassoferrato | 11 | 18 | 8 | 3 | 13 | 17 | 3 | 10 |

| | | | | | | | | |
|----------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|
| Sant'Angelo | 6 | 5 | 9 | 10 | 14 | 18 | 14 | 14 |
| Urbino | 4 | 3 | 20 | 11 | 15 | 20 | 8 | 5 |
| San benedetto | 2 | 8 | 15 | 15 | 8 | 3 | 17 | 4 |
| Sibillini | 8 | 15 | 12 | 7 | 9 | 5 | 15 | 5 |

Tabella 4.2.8: coefficienti delle variabili nei vincoli.

Anche per il problema reale il risolutore riesce a trovare la soluzione ottima del problema minimizzando le spese della fornitura e trovando un valore dei costi totali pari a 188,302.

4.3 Secondo modello

Questo modello differisce dal primo in quanto vengono considerate le diverse tipologie di DPI, il relativo fabbisogno per ogni sede della CRI e la disponibilità di ogni produttore. Le variabili decisionali del modello hanno tre indici ognuno indicante rispettivamente una sede della CRI, un fornitore e una tipologia di DPI.

Nell'istanza giocattolo sono stati presi in esame 4 sedi CRI, 3 fornitori e 2 tipologie di DPI.

La richiesta delle sedi della CRI per ciascun DPI sono riassunte nella tabella seguente:

| SEDI/DPI | 1 | 2 |
|----------|----|----|
| 1 | 70 | 50 |
| 2 | 40 | 20 |
| 3 | 80 | 90 |
| 4 | 60 | 70 |

Tabella 4.3.1: quantità di DPI domandati per ogni sede della CRI.

Ciascun fornitore per ogni tipologia di DPI ha una quantità massima che riesce a rifornire:

| FORNITORI/DPI | 1 | 2 |
|---------------|-----|----|
| 1 | 100 | 65 |
| 2 | 80 | 90 |
| 3 | 70 | 80 |

Tabella 4.3.2: quantità massima di DPI erogati da ciascun fornitore.

I coefficienti delle variabili, i quali rappresentano i costi unitari di fornitura all'interno della funzione obiettivo sono rappresentati da due tabelle, una per ogni tipologia di DPI:

| FORNITORI/SEDI | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 4 | 7 | 5 | 2 |
| 2 | 9 | 3 | 6 | 8 |
| 3 | 7 | 6 | 4 | 7 |

Tabella 4.3.3: coefficienti delle variabili in funzione obiettivo per il DPI 1.

| FORNITORI/SEDI | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 3 | 5 | 9 | 1 |
| 2 | 2 | 4 | 6 | 9 |
| 3 | 1 | 4 | 8 | 3 |

Tabella 4.3.4: coefficienti delle variabili in funzione obiettivo per il DPI 2.

Anche le richieste di DPI da parte delle sedi CRI, rappresentate dai coefficienti delle variabili, sono presentate da due tabelle suddivise per ogni tipologia di DPI:

| FORNITORI/SEDI | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 3 | 5 | 1 | 8 |
| 2 | 2 | 7 | 4 | 6 |
| 3 | 4 | 8 | 2 | 5 |

Tabella 4.3.5: coefficienti delle variabili nei vincoli per il DPI 1.

| FORNITORI/SEDI | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 4 | 7 | 5 | 8 |
| 2 | 1 | 9 | 7 | 3 |
| 3 | 2 | 4 | 8 | 9 |

Tabella 4.3.6: coefficienti delle variabili nei vincoli per il DPI 2.

La soluzione ottima trovata dal risolutore che minimizza i costi totali per il toy example è pari a 394,514.

A differenza del primo modello in questo caso il risolutore non riesce a trovare la soluzione ottima analizzando le richieste dei 34 comitati presi singolarmente, quindi, è stato necessario provvedere a un clustering, riunendo i comitati in gruppi composti da sedi geograficamente vicine tra loro e sommare le loro richieste in modo che esse siano soddisfatte.

Sono stati analizzati i dati provenienti dalla CRI ove reperibili, in caso contrario, sono stati utilizzati dati verosimili. I DPI considerati sono quattro e corrispondono alla richiesta di mascherine, camici, visori e guanti chirurgici, che rappresentano la quota maggioritaria all'interno degli ordini di ogni sede.

| SEDI/DPI | Mascherine | Guanti | Camici | Visori |
|--|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Ancona 1-2 | 110 | 70 | 125 | 80 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 70 | 75 | 180 | 115 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 170 | 170 | 190 | 180 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 55 | 100 | 115 | 115 |
| San Severino-Tolentino- Camerino-Matelica | 110 | 145 | 120 | 100 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 55 | 80 | 75 | 125 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 65 | 80 | 125 | 60 |
| Loreto-Osimo-Porto potenza | 110 | 85 | 65 | 90 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 80 | 105 | 110 | 95 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 215 | 170 | 135 | 165 |

Tabella 4.3.7: richiesta di DPI da parte delle sedi della CRI.

Come per l'istanza giocattolo anche in questo caso i fornitori non hanno una capacità illimitata:

| FORNITORI/DPI | Mascherine | Guanti | Camici | Visori |
|----------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | 190 | 250 | 360 | 180 |
| 2 | 130 | 260 | 350 | 380 |
| 3 | 160 | 250 | 340 | 295 |
| 4 | 200 | 240 | 400 | 250 |
| 5 | 290 | 210 | 340 | 190 |
| 6 | 250 | 300 | 210 | 190 |
| 7 | 310 | 270 | 180 | 200 |
| 8 | 170 | 340 | 220 | 260 |

Tabella 4.3.8: capacità di ciascun fornitore per ogni tipologia di DPI.

Le variabili decisionali all'interno della funzione obiettivo hanno dei coefficienti differenti a seconda della tipologia di DPI preso in considerazione; questi coefficienti rappresentano i costi unitari di fornitura:

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1-2 | 11 | 12 | 13 | 11 | 4 | 12 | 10 | 10 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 20 | 13 | 12 | 20 | 19 | 12 | 11 | 14 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 25 | 31 | 21 | 25 | 26 | 34 | 28 | 26 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 8 | 9 | 14 | 15 | 19 | 10 | 12 | 13 |
| San Severino-Tolentino-Camerino-Matelica | 25 | 26 | 21 | 17 | 26 | 15 | 14 | 23 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 22 | 14 | 12 | 21 | 13 | 16 | 20 | 18 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 17 | 17 | 13 | 19 | 18 | 10 | 14 | 12 |
| Loreto-Osimo-Porto Potenza | 11 | 17 | 13 | 14 | 16 | 17 | 7 | 19 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 10 | 11 | 19 | 18 | 16 | 13 | 24 | 17 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 19 | 32 | 32 | 16 | 16 | 27 | 24 | 23 |

Tabella 4.3.9: coefficienti delle variabili nella funzione obiettivo per il DPI 1.

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1-2 | 8 | 6 | 5 | 12 | 6 | 11 | 13 | 9 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 13 | 13 | 12 | 21 | 17 | 13 | 8 | 21 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 29 | 15 | 11 | 18 | 31 | 14 | 26 | 30 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 9 | 17 | 14 | 16 | 18 | 15 | 12 | 12 |
| San Severino-Tolentino-Camerino-Matelica | 18 | 26 | 24 | 25 | 14 | 22 | 31 | 10 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 15 | 10 | 17 | 17 | 17 | 15 | 16 | 19 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 11 | 15 | 14 | 13 | 13 | 22 | 16 | 19 |
| Loreto-Osimo-Porta potenza | 10 | 22 | 20 | 15 | 10 | 18 | 14 | 14 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 10 | 15 | 18 | 13 | 19 | 17 | 22 | 15 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 40 | 16 | 27 | 16 | 31 | 18 | 21 | 17 |

Tabella 4.3.10: coefficienti delle variabili nella funzione obiettivo per il DPI 2.

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1-2 | 8 | 11 | 4 | 8 | 11 | 11 | 5 | 11 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 13 | 13 | 14 | 23 | 18 | 20 | 18 | 13 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 23 | 29 | 24 | 30 | 26 | 22 | 28 | 22 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 11 | 10 | 16 | 15 | 17 | 12 | 16 | 11 |
| San Severino-Tolentino-Camerino-Matelica | 24 | 22 | 22 | 23 | 23 | 24 | 17 | 20 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 9 | 24 | 18 | 15 | 15 | 22 | 20 | 21 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 16 | 15 | 17 | 5 | 14 | 9 | 22 | 19 |
| Loreto-Osimo-Porta Potenza | 22 | 17 | 17 | 13 | 6 | 20 | 16 | 20 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 14 | 13 | 9 | 18 | 12 | 12 | 12 | 15 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 22 | 21 | 26 | 29 | 23 | 20 | 29 | 17 |

Tabella 4.3.11: coefficienti delle variabili nella funzione obiettivo per il DPI 3.

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1-2 | 3 | 10 | 3 | 8 | 14 | 13 | 12 | 6 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 12 | 13 | 19 | 13 | 16 | 18 | 20 | 12 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 37 | 18 | 33 | 24 | 23 | 20 | 20 | 18 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 14 | 17 | 16 | 11 | 11 | 13 | 16 | 16 |
| San Severino -Tolentino-Camerino-Matelica | 11 | 24 | 15 | 16 | 26 | 22 | 21 | 23 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 10 | 12 | 18 | 14 | 16 | 17 | 12 | 13 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 12 | 11 | 16 | 21 | 10 | 8 | 13 | 15 |
| Loreto-Osimo-Porto potenza | 11 | 11 | 18 | 22 | 18 | 16 | 20 | 17 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 17 | 20 | 15 | 24 | 17 | 17 | 12 | 22 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 19 | 33 | 18 | 17 | 23 | 30 | 30 | 28 |

Tabella 4.3.12: coefficienti delle variabili nella funzione obiettivo per il DPI 4.

Analogamente anche i coefficienti delle variabili all'interno dei vincoli, si differenziano a seconda del DPI preso in considerazione:

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1-2 | 8 | 9 | 12 | 6 | 11 | 5 | 5 | 13 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 16 | 16 | 16 | 11 | 11 | 18 | 16 | 8 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 34 | 25 | 26 | 24 | 27 | 23 | 16 | 37 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 16 | 15 | 11 | 15 | 17 | 7 | 11 | 10 |
| San Severino-Tolentino-Camerino-Matelica | 18 | 15 | 14 | 14 | 16 | 24 | 22 | 15 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 10 | 18 | 17 | 16 | 22 | 23 | 22 | 14 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 19 | 20 | 22 | 9 | 11 | 17 | 15 | 7 |
| Loreto-Osimo-Porta Potenza | 7 | 19 | 15 | 14 | 12 | 11 | 17 | 10 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 21 | 8 | 11 | 14 | 19 | 7 | 6 | 18 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 15 | 16 | 19 | 21 | 18 | 25 | 22 | 25 |

Tabella 4.3.13: coefficienti delle variabili nei vincoli per il DPI 1.

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1-2 | 11 | 10 | 6 | 9 | 12 | 17 | 6 | 10 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 17 | 17 | 11 | 17 | 7 | 10 | 15 | 20 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 23 | 12 | 25 | 13 | 29 | 25 | 15 | 17 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 20 | 15 | 16 | 10 | 16 | 11 | 18 | 15 |
| San Severino-Tolentino-Camerino-Matelica | 25 | 27 | 18 | 22 | 12 | 18 | 24 | 25 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 9 | 13 | 20 | 23 | 15 | 7 | 5 | 12 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 13 | 10 | 19 | 18 | 19 | 16 | 14 | 18 |
| Loreto-Osimo-Porta Potenza | 12 | 18 | 15 | 21 | 16 | 19 | 9 | 22 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 13 | 14 | 16 | 9 | 15 | 21 | 23 | 12 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 18 | 27 | 23 | 23 | 22 | 22 | 33 | 19 |

Tabella 4.3.14: coefficienti delle variabili nei vincoli per il DPI 2.

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1-2 | 7 | 9 | 10 | 11 | 10 | 11 | 14 | 9 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 19 | 12 | 13 | 16 | 8 | 17 | 12 | 12 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 14 | 23 | 24 | 21 | 20 | 17 | 23 | 19 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 10 | 16 | 9 | 23 | 18 | 11 | 17 | 14 |
| San Severino-Tolentino-Camerino-Matelica | 20 | 23 | 25 | 15 | 31 | 22 | 19 | 20 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 7 | 18 | 16 | 15 | 8 | 15 | 16 | 23 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 16 | 16 | 21 | 14 | 17 | 10 | 19 | 20 |
| Loreto-Osimo-Porta Potenza | 26 | 19 | 15 | 18 | 15 | 11 | 15 | 16 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 17 | 18 | 16 | 12 | 15 | 22 | 10 | 9 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 26 | 29 | 21 | 19 | 26 | 28 | 19 | 26 |

Tabella 4.3.15: coefficienti delle variabili nei vincoli per il DPI 3.

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1-2 | 8 | 11 | 3 | 14 | 11 | 7 | 6 | 5 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 15 | 13 | 19 | 13 | 18 | 18 | 8 | 13 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 27 | 29 | 22 | 25 | 20 | 32 | 23 | 26 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 10 | 9 | 16 | 19 | 12 | 14 | 17 | 18 |
| San Severino-Tolentino-Camerino-Matelica | 17 | 23 | 27 | 21 | 25 | 17 | 21 | 18 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 18 | 12 | 16 | 17 | 20 | 15 | 14 | 15 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 19 | 6 | 26 | 13 | 9 | 11 | 10 | 20 |
| Loreto-Osimo-Porta Potenza | 11 | 18 | 10 | 21 | 9 | 6 | 13 | 18 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 17 | 11 | 8 | 14 | 15 | 15 | 17 | 8 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 21 | 35 | 20 | 27 | 25 | 22 | 27 | 22 |

Tabella 4.3.16: coefficienti delle variabili nei vincoli per il DPI 4.

CPLEX determina una soluzione ottima di costo pari a 2666,9.

4.4 Terzo modello

In questo modello viene inserito un nuovo vincolo riguardante il numero minimo di fornitori che ogni sede CRI possiede in modo che non accada la mancata fornitura di DPI a causa di problematiche relative alla quantità richiesta o a tempistiche non rispettate.

Il toy example prevede quindi, oltre le tabelle già viste in precedenza, un'ulteriore struttura per assicurare il numero minimo di fornitori per ogni sede:

| SEDI/DPI | 1 | 2 |
|----------|---|---|
| 1 | 3 | 1 |
| 2 | 4 | 2 |
| 3 | 2 | 3 |
| 4 | 1 | 4 |

Tabella 4.4.1: numero di fornitori per ogni sede della CRI e per ogni tipologia di DPI.

Le richieste di ogni sede per le varie tipologie di DPI sono riassunte nella seguente tabella:

| SEDI/DPI | 1 | 2 |
|----------|----|----|
| 1 | 70 | 50 |
| 2 | 40 | 20 |
| 3 | 80 | 90 |
| 4 | 60 | 70 |

Tabella 4.4.2: quantità di DPI domandati per ogni sede della CRI.

La quantità massima che ogni fornitore può elargire a ogni sede è rappresentata da:

| FORNITORI/DPI | 1 | 2 |
|---------------|-----|----|
| 1 | 100 | 65 |
| 2 | 80 | 90 |
| 3 | 70 | 80 |

Tabella 4.4.3: quantità massima di DPI erogati da ciascun fornitore.

I coefficienti delle variabili decisionali a tre indici all'interno della funzione obiettivo, i quali rappresentano i costi di fornitura per ogni tipologia di DPI sono rappresentati nelle tabelle sottostanti:

| FORNITORI/SEDI | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 4 | 7 | 5 | 2 |
| 2 | 9 | 3 | 6 | 8 |
| 3 | 7 | 6 | 4 | 7 |

Tabella 4.4.4: coefficienti delle variabili nella funzione obiettivo per il DPI 1.

| FORNITORI/SEDI | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 3 | 5 | 9 | 1 |
| 2 | 2 | 4 | 6 | 9 |
| 3 | 1 | 4 | 8 | 3 |

Tabella 4.4.5: coefficienti delle variabili nella funzione obiettivo per il DPI 2.

I coefficienti delle variabili, anch'essi divisi per tipologie di DPI in base alle richieste delle sedi, all'interno dei vincoli sono presentati nei seguenti schemi:

| FORNITORI/SEDI | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 3 | 5 | 1 | 8 |
| 2 | 2 | 7 | 4 | 6 |
| 3 | 4 | 8 | 2 | 5 |

Tabella 4.4.6: coefficienti delle variabili nei vincoli per il DPI 1.

| FORNITORI/SEDI | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 4 | 7 | 5 | 8 |
| 2 | 1 | 9 | 7 | 3 |
| 3 | 2 | 4 | 8 | 9 |

Tabella 4.4.7: coefficienti delle variabili nei vincoli per il DPI 2.

Per questa istanza giocattolo il risolutore calcola la soluzione ottima con costi totali pari a 456.

Per il problema reale di questo modello viene introdotta una preselezione dei fornitori: infatti coloro che non rispettano il Tempo massimo definito dalla CRI vengono automaticamente esclusi. Non avendo i dati ufficiali, si è proceduto ipotizzando che degli 8 potenziali fornitori considerati nei modelli precedenti solamente 6 rispettino la condizione imposta. Inoltre, analogamente al precedente modello, si è provveduto a una clusterizzazione.

La richiesta di DPI pe ogni sede è pari a:

| SEDI/DPI | Mascherine | Guanti | Camici | Visori |
|--|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Ancona 1-2 | 120 | 60 | 135 | 70 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 80 | 85 | 170 | 105 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 160 | 180 | 200 | 170 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 65 | 160 | 180 | 190 |
| San Severino-Tolentino-Camerino-Matelica | 120 | 135 | 110 | 110 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 65 | 70 | 85 | 115 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 75 | 75 | 125 | 70 |
| Loreto-Osimo-Porta Potenza | 120 | 95 | 55 | 80 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 90 | 115 | 100 | 85 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 205 | 160 | 145 | 175 |

Tabella 4.4.8: richiesta di DPI da parte delle sedi della CRI.

La quantità massima di DPI forniti è rappresentata in tabella:

| FORNITORI/DPI | Mascherine | Guanti | Camici | Visori |
|----------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | 200 | 240 | 320 | 190 |
| 2 | 120 | 270 | 340 | 350 |
| 3 | 150 | 260 | 340 | 390 |
| 4 | 190 | 250 | 390 | 260 |
| 5 | 300 | 200 | 350 | 180 |
| 6 | 260 | 290 | 220 | 200 |

Tabella 4.4.9: capacità di ciascun fornitore per ogni tipologia di DPI.

La variazione rispetto agli altri modelli è rappresentata dalla tabella che segue poiché essa rappresenta il numero minimo di fornitori che ogni raggruppamento di sedi avrà per ogni tipologia di DPI:

| SEDI/DPI | Mascherine | Guanti | Camici | Visori |
|--|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Ancona 1-2 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 4 | 3 | 2 | 5 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 4 | 2 | 2 | 3 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 2 | 3 | 3 | 2 |
| San Severino-Tolentino-Camerino-Matelica | 5 | 2 | 4 | 2 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 3 | 2 | 4 | 2 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 2 | 4 | 2 | 3 |
| Loreto-Osimo-Porta Potenza | 4 | 2 | 3 | 3 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 2 | 3 | 3 | 4 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 2 | 3 | 2 | 4 |

Tabella 4.4.10: numero minimo di fornitore per le sedi CRI per ogni DPI.

All'interno della funzione obiettivo le variabili assumono un coefficiente diverso, che rappresenta i differenti costi di fornitura, a seconda dei DPI presi in considerazione:

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1-2 | 12 | 13 | 15 | 19 | 20 | 25 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 21 | 14 | 18 | 20 | 15 | 26 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 24 | 30 | 30 | 23 | 30 | 29 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 9 | 10 | 25 | 26 | 16 | 14 |
| San Severino-Tolentino-Camerino-Matelica | 24 | 25 | 28 | 33 | 18 | 10 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 21 | 12 | 13 | 13 | 26 | 25 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 16 | 14 | 10 | 18 | 29 | 28 |
| Loreto-Osimo-Porta Potenza | 11 | 13 | 8 | 20 | 21 | 23 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 10 | 31 | 17 | 27 | 31 | 14 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 19 | 29 | 26 | 28 | 19 | 17 |

Tabella 4.4.11: coefficienti delle variabili nella funzione obiettivo per il DPI 1.

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1-2 | 19 | 9 | 14 | 10 | 20 | 26 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 24 | 21 | 18 | 15 | 25 | 10 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 27 | 24 | 29 | 18 | 31 | 27 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 29 | 30 | 30 | 20 | 24 | 14 |
| San Severino-Tolentino-Camerino-Matelica | 30 | 35 | 25 | 24 | 16 | 28 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 19 | 12 | 21 | 21 | 19 | 15 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 13 | 6 | 24 | 30 | 20 | 11 |
| Loreto-Osimo-Porta Potenza | 16 | 9 | 14 | 4 | 15 | 13 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 17 | 15 | 15 | 7 | 26 | 25 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 12 | 18 | 19 | 8 | 12 | 32 |

Tabella 4.4.12: coefficienti delle variabili nella funzione obiettivo per il DPI 2.

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1-2 | 20 | 21 | 31 | 24 | 10 | 25 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 25 | 25 | 25 | 12 | 5 | 28 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 27 | 26 | 16 | 19 | 19 | 21 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 12 | 29 | 18 | 15 | 24 | 22 |
| San Severino-Tolentino-Camerino-Matelica | 14 | 14 | 19 | 25 | 21 | 15 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 29 | 16 | 27 | 16 | 26 | 18 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 17 | 18 | 16 | 28 | 15 | 20 |
| Loreto-Osimo-Porta Potenza | 24 | 20 | 17 | 14 | 17 | 21 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 21 | 24 | 10 | 16 | 19 | 30 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 30 | 26 | 11 | 27 | 20 | 14 |

Tabella 4.4.13: coefficienti delle variabili nella funzione obiettivo per il DPI 3.

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1-2 | 21 | 13 | 30 | 10 | 15 | 12 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 25 | 16 | 26 | 24 | 18 | 16 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 34 | 20 | 21 | 35 | 20 | 20 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 10 | 25 | 15 | 10 | 26 | 21 |
| San Severino-Tolentino-Camerino-Matelica | 19 | 16 | 17 | 9 | 21 | 24 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 14 | 18 | 26 | 6 | 23 | 27 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 17 | 24 | 24 | 12 | 26 | 25 |
| Loreto-Osimo-Porta Potenza | 28 | 23 | 15 | 16 | 15 | 14 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 29 | 16 | 13 | 24 | 17 | 33 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 24 | 28 | 11 | 29 | 19 | 31 |

Tabella 4.4.14: coefficienti delle variabili nella funzione obiettivo per il DPI 4.

Come per i modelli precedenti, anche in questo caso i coefficienti delle variabili nei vincoli sono rappresentate nella tabella e rispecchiano le quantità di DPI richieste:

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1-2 | 15 | 16 | 23 | 20 | 16 | 35 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 18 | 18 | 26 | 23 | 20 | 6 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 29 | 24 | 29 | 25 | 24 | 12 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 21 | 26 | 20 | 27 | 22 | 16 |
| San Severino-Tolentino-Camerino-Matelica | 24 | 25 | 14 | 13 | 16 | 19 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 26 | 22 | 16 | 25 | 18 | 15 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 29 | 21 | 18 | 26 | 19 | 17 |
| Loreto-Osimo-Porta Potenza | 13 | 30 | 19 | 15 | 23 | 23 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 16 | 31 | 35 | 16 | 26 | 26 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 10 | 9 | 7 | 18 | 31 | 24 |

Tabella 4.4.15: coefficienti delle variabili nei vincoli per il DPI 1.

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1-2 | 15 | 20 | 9 | 13 | 28 | 11 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 18 | 24 | 13 | 16 | 21 | 13 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 29 | 14 | 26 | 19 | 24 | 16 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 23 | 26 | 29 | 21 | 23 | 29 |
| San Severino-Tolentino-Camerino-Matelica | 25 | 15 | 15 | 24 | 14 | 26 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 10 | 28 | 17 | 26 | 18 | 24 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 32 | 17 | 22 | 18 | 20 | 21 |
| Loreto-Osimo-Porta Potenza | 21 | 19 | 24 | 11 | 15 | 20 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 34 | 30 | 29 | 13 | 18 | 10 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 12 | 31 | 10 | 16 | 12 | 9 |

Tabella 4.4.16: coefficienti delle variabili nei vincoli per il DPI 2.

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1-2 | 20 | 9 | 18 | 30 | 29 | 25 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 25 | 7 | 11 | 21 | 23 | 29 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 23 | 23 | 19 | 24 | 18 | 21 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 26 | 34 | 23 | 18 | 14 | 30 |
| San Severino-Tolentino-Camerino-Matelica | 19 | 31 | 25 | 25 | 17 | 15 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 17 | 35 | 28 | 17 | 22 | 18 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 13 | 28 | 30 | 14 | 21 | 19 |
| Loreto-Osimo-Porta Potenza | 16 | 10 | 23 | 12 | 25 | 12 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 12 | 12 | 15 | 18 | 29 | 11 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 11 | 13 | 13 | 20 | 14 | 9 |

Tabella 4.4.17: coefficienti delle variabili nei vincoli per il DPI 3.

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1-2 | 19 | 5 | 15 | 31 | 24 | 13 |
| Castelplanio-Cingoli-Jesi | 21 | 12 | 18 | 27 | 27 | 15 |
| Pesaro-Fano-Montelabbate-Senigallia-Marotta | 24 | 15 | 20 | 25 | 28 | 18 |
| Sarnano-Sibillini-Visso | 25 | 19 | 29 | 21 | 21 | 29 |
| San Severino-Tolentino-Camerino-Matelica | 17 | 23 | 23 | 17 | 23 | 23 |
| Castignano-San Benedetto-Ascoli Piceno | 13 | 26 | 17 | 14 | 17 | 21 |
| Fabriano-Sassoferrato-Pergola | 14 | 28 | 24 | 12 | 14 | 25 |
| Loreto-Osimo-Porta Potenza | 19 | 27 | 22 | 11 | 15 | 26 |
| Petriolo-Fermo-Macerata | 10 | 21 | 14 | 25 | 18 | 30 |
| Urbino-Fermignano-Fossombrone-Sant'Angelo-Cagli | 32 | 31 | 11 | 28 | 19 | 33 |

Tabella 4.4.18: coefficienti delle variabili nei vincoli per il DPI 4.

La soluzione ottima calcolata dal risolutore è pari a 3072 e rappresenta la minimizzazione dei costi totali del problema reale.

4.5 Quarto modello

Il quarto è il modello più complesso e maggiormente rispecchia la realtà in quanto tiene conto di una valutazione dei fornitori in tutti gli aspetti legati alla logistica, diversamente dai modelli precedenti che tenevano in considerazione esclusivamente la minimizzazione dei costi. Questa analisi viene fatta attraverso la tecnica dell'AHP descritta dettagliatamente nel capitolo precedente e tiene conto di fattori quali la velocità nella consegna, la qualità dei prodotti ed altri.

Per questo problema è stato ritenuto sufficiente eseguire direttamente l'istanza reale senza utilizzare un toy example; quest'istanza prevede l'utilizzo di variabili decisionali a due indici: infatti non avviene la divisione per ogni tipologia di DPI e vengono introdotti due nuovi parametri.

Il primo parametro è il valore soglia che corrisponde alla valutazione minima che un fornitore deve ricevere affinché esso possa entrare a far parte della lista dei possibili fornitori. Nei risultati che verranno presentati il valore di questo parametro sarà pari a 5.

Il secondo parametro è strettamente collegato al precedente poiché riguarda la valutazione dei fornitori, ovvero, il punteggio che essi ottengono attraverso la tecnica dell'AHP, illustrato nella seguente tabella:

| FORNITORI | PUNTEGGIO OTTENUTO |
|------------------|---------------------------|
| 1 | 7 |
| 2 | 6 |
| 3 | 5 |
| 4 | 8 |
| 5 | 9 |
| 6 | 3 |
| 7 | 4 |
| 8 | 2 |

Tabella 4.5.1: punteggio ottenuto dai fornitori mediante l'AHP.

La richiesta di DPI per ogni sede della cri è rappresentata da:

| SEDI | RICHIESTA DI DPI |
|-----------------------------|-------------------------|
| Ancona 1 | 100 |
| Ancona 2 | 129 |
| Cagli | 67 |
| Fano | 89 |
| Castelplanio | 92 |
| Cingoli | 77 |
| Fermo | 103 |
| Jesi | 122 |
| Macerata | 134 |
| Matelica | 94 |
| Osimo | 78 |
| Pesaro | 91 |
| Porto potenza picena | 88 |
| Sarnano | 76 |
| San Severino marche | 102 |
| Senigallia | 140 |
| Tolentino | 99 |
| Ascoli Piceno | 68 |
| Visso | 75 |
| Camerino | 65 |
| Castignano | 91 |
| Fabriano | 95 |
| Fermignano | 87 |
| Fossombrone | 75 |
| Loreto | 88 |
| Marotta | 77 |
| Montelabbate | 89 |
| Pergola | 70 |
| Petriolo | 91 |
| Sassoferrato | 100 |
| Sant'Angelo in vado | 71 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| Urbino | 67 |
| San benedetto del Tronto | 79 |
| Sibillini | 100 |

Tabella 4.5.2: richiesta di DPI da parte delle sedi della CRI.

La capacità massima dei fornitori è invece suggerita dalla seguente tabella:

| FORNITORI | DISPONIBILITA' DI DPI |
|------------------|------------------------------|
| 1 | 565 |
| 2 | 345 |
| 3 | 526 |
| 4 | 431 |
| 5 | 500 |
| 6 | 390 |
| 7 | 410 |
| 8 | 322 |

Tabella 4.5.3: capacità massima di DPI per ogni fornitore

I coefficienti delle variabili, che rappresentano i costi di fornitura, in questo caso non dipendono dalla tipologia di DPI ma esclusivamente dai fornitori e dai comitati della CRI:

| SEDI/FORNITORI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ancona 1 | 9 | 18 | 10 | 23 | 20 | 15 | 31 | 21 |
| Ancona 2 | 4 | 21 | 15 | 28 | 13 | 11 | 24 | 13 |
| Cagli | 12 | 29 | 22 | 31 | 17 | 25 | 20 | 29 |
| Fano | 34 | 31 | 27 | 35 | 31 | 29 | 11 | 35 |
| Castelplanio | 21 | 7 | 30 | 11 | 35 | 31 | 15 | 11 |
| Cingoli | 17 | 9 | 31 | 5 | 29 | 39 | 18 | 10 |
| Fermo | 20 | 25 | 4 | 22 | 24 | 20 | 9 | 39 |
| Jesi | 11 | 30 | 7 | 30 | 17 | 9 | 16 | 40 |
| Macerata | 14 | 10 | 19 | 36 | 27 | 21 | 37 | 5 |
| Matelica | 25 | 15 | 24 | 20 | 18 | 28 | 30 | 22 |

| | | | | | | | | |
|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Osimo | 29 | 32 | 35 | 12 | 10 | 16 | 28 | 33 |
| Pesaro | 30 | 36 | 38 | 15 | 13 | 19 | 25 | 17 |
| Porto potenza | 10 | 40 | 21 | 18 | 38 | 33 | 21 | 29 |
| Sarnano | 5 | 4 | 11 | 9 | 9 | 30 | 13 | 19 |
| San Severino | 22 | 24 | 13 | 16 | 7 | 25 | 8 | 40 |
| Senigallia | 13 | 17 | 39 | 25 | 12 | 21 | 6 | 21 |
| Tolentino | 18 | 20 | 8 | 23 | 30 | 16 | 4 | 9 |
| Ascoli Piceno | 31 | 11 | 20 | 31 | 25 | 18 | 22 | 24 |
| Visso | 35 | 10 | 29 | 34 | 15 | 9 | 25 | 13 |
| Camerino | 29 | 33 | 23 | 27 | 32 | 6 | 15 | 16 |
| Castignano | 19 | 39 | 16 | 18 | 21 | 8 | 37 | 25 |
| Fabriano | 9 | 12 | 14 | 7 | 28 | 20 | 40 | 28 |
| Fermignano | 11 | 6 | 25 | 26 | 9 | 28 | 20 | 30 |
| Fossombrone | 16 | 25 | 31 | 35 | 9 | 37 | 22 | 5 |
| Loreto | 19 | 31 | 36 | 12 | 22 | 40 | 31 | 8 |
| Marotta | 21 | 17 | 9 | 13 | 31 | 10 | 16 | 17 |
| Montelabbate | 25 | 19 | 25 | 11 | 34 | 13 | 32 | 38 |
| Pergola | 15 | 12 | 15 | 23 | 29 | 19 | 18 | 31 |
| Petriolo | 22 | 32 | 18 | 19 | 14 | 25 | 19 | 27 |
| Sassoferrato | 10 | 35 | 11 | 29 | 16 | 31 | 33 | 35 |
| Sant'Angelo | 35 | 27 | 27 | 9 | 20 | 35 | 24 | 19 |
| Urbino | 32 | 4 | 30 | 10 | 23 | 28 | 26 | 20 |
| San Benedetto | 24 | 22 | 28 | 40 | 13 | 17 | 18 | 26 |
| Sibillini | 28 | 16 | 22 | 21 | 11 | 12 | 11 | 13 |

Tabella 4.5.4: coefficienti delle variabili nella funzione obiettivo.

La soluzione ottima calcolata dal risolutore per questa istanza è pari a 25.974.

Capitolo 5

5.1 Conclusioni e sviluppi futuri

All'interno del panorama della lotta al coronavirus determinati aspetti della logistica, come la distribuzione e l'approvvigionamento, sono fondamentali per avere le giuste contromisure in situazioni difficili. In questo senso, avere una rete di fornitori e di partner affidabili e veloci sono dei fattori determinanti e di grande supporto per risolvere anche le problematiche più complesse.

In questo contesto, l'applicazione di metodi e modelli messi a disposizione dalla ricerca operativa è stato fondamentale al fine di ottimizzare, per quanto possibile, le prestazioni di un sistema così complesso.

Oggetto di studio di questa tesi è stata la selezione di fornitori di Dispositivi di Protezione Individuale (DPI), necessari per contenere il rischio di contagi, che approvvigionano la sede principale ed i vari comitati della Croce Rossa Italiana nel territorio marchigiano.

A tale scopo, si è partiti da una formulazione di un modello molto semplice che prevede diverse ipotesi di base semplificative, passando per un modello che considera anche le diverse tipologie di DPI, il numero minimo di fornitori e un tempo massimo di consegna, fino ad arrivare ad un modello che rispecchia le esigenze presentate dalla CRI relative, non solo, alle tempistiche ma anche all'affidabilità dei fornitori, ad esempio.

Tra le ipotesi semplificative rientra la clusterizzazione poiché potrebbe essere un vantaggio logistico e organizzativo quello di raggruppare i comitati vicini geograficamente in modo da controllare con maggior facilità la domanda e le sue fluttuazioni.

Dei possibili sviluppi futuri potrebbero prevedere l'implementazione di nuovi criteri per la valutazione dei fornitori come, ad esempio, l'impatto ambientale della produzione o la valutazione delle tecnologie utilizzate negli stabilimenti: infatti recentemente tante aziende hanno iniziato a dare risalto a questi aspetti; oppure, nel caso fossero introdotti nuovi DPI si potrebbe modificare i modelli andando a inserire nuovi fornitori che in questo momento non rientrano nell'albo.

In linea generale, i modelli matematici proposti potranno essere adeguatamente aggiornati seguendo le esigenze della CRI anche nel momento in cui l'emergenza Covid sarà terminata ma ci sarà ancora bisogno di un'organizzazione logistica adeguata a far fronte alle sfide che ogni giorno uomini e donne di questa associazione si trovano ad affrontare mettendo sempre al primo posto la cura e il benessere dei cittadini.

Bibliografia

- [1] G. Ghiani, G. Laporte e R. Musmanno, 2016, "Introduzione alla gestione dei sistemi logistici", edizione numero nove, ISEDI, Torino, 450 pagine.
- [2] R. Handfield, S. Walton, R. Sroufe, S. Melnyk, 2002, "Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the Analytical Hierarchy Process", *European Journal of Operational Research*, Volume 141, Issue 1.
- [3] K. Zejli, A. Azmani e S. Issa, November 2012, " Applying Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) to Evaluate Factors Locating Emergency Logistics Platforms", *International Journal of Computer Applications (0975 –8887)* Volume 57–No.21.
- [4] G. Zhang, M. Zhang, Z. Zhang and G. Li, "An Evaluation Model for Emergency Logistics System" *2010 International Conference on Management and Service Science*, 2010, pp. 1-4.