
*Pianificazione e Gestione dei Servizi Sanitari***Localizzazione e dimensionamento delle postazioni territoriali di emergenza**

Prof. Domenico Conforti – Lezione 11 – 18.10.23 – Autore: Bina Salvati – Revisionatore: Carlo Luciani

LOCALIZZAZIONE E DIMENSIONAMENTO DELLE POSTAZIONI TERRITORIALI DI EMERGENZA

Si prenda in considerazione un problema reale e concreto che tipicamente occorre affrontare a livello regionale: si tratta di andare a localizzare sul territorio di riferimento le postazioni territoriali di emergenza, cioè i siti dove sono presenti i mezzi di soccorso.

È possibile osservare come si presenta la cosiddetta situazione “AS IS” supponendo di essere coinvolti nella riorganizzazione delle postazioni territoriali di emergenza sul territorio della regione Calabria.

Per prima cosa si va ad analizzare lo stato corrente della situazione, cioè come attualmente viene organizzato e gestito il servizio.

SITUAZIONE “AS IS”

La **centrale operativa** è l'organo che coordina e gestisce, sul territorio di riferimento, le risorse relative alle postazioni territoriali di emergenza o **postazioni ambulanza**. Nello schema sono presenti più postazioni ambulanza, indicate in rosso.

La **scena dell'evento di emergenza** è il luogo da cui proviene la richiesta di intervento di emergenza, attraverso la chiamata al 118.

Inoltre, sul territorio sono presenti gli eventuali **presidi ospedalieri** disponibili (in verde).

In un normale schema di flusso, la centrale operativa riceve una domanda di emergenza (chiamata al 118) e attiva una certa postazione, la quale interviene sulla scena dell'evento di emergenza attivando la postazione territoriale in cui ci sono i mezzi di soccorso più vicini alla scena dell'evento o che consente di intervenire in tempi più ridotti. Infine, viene attivata la postazione ospedaliera.

Bisogna tener presente che un requisito forte è la **tempestività dell'intervento**, in quanto si sta analizzando un sistema che è fortemente tempo-dipendente e ci sono proprio dei protocolli ben definiti. *(ad esempio, nel caso di ipotesi di infarto, l'ambulanza deve arrivare in 12-15 minuti).*

In particolare, nella situazione AS IS, la distribuzione delle postazioni territoriali di emergenza non è tipicamente realizzata sulla base di criteri che possano garantire il soddisfacimento di questo requisito, ovvero non è pianificata in modo tale da avere una distribuzione ben bilanciata sul territorio in termini di distanza e tempi di percorrenza: ci potrebbero essere quindi zone del territorio che non sono sufficientemente coperte da queste postazioni.

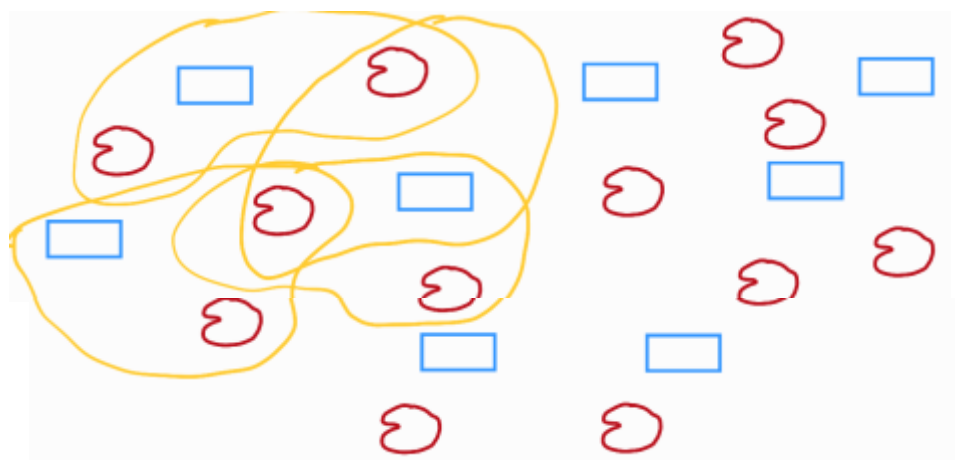
Nello schema precedente si identificano le postazioni territoriali di emergenza come **nodi di servizio**, in quanto rappresentano il punto da cui arriva lo specifico servizio che bisogna andare ad attivare; mentre vengono definiti come **nodi di domanda aggregata** i nodi da cui arriva la richiesta di servizio.

In realtà, la domanda viene soddisfatta in modo tale che ci sia un mezzo di soccorso disponibile per la chiamata arrivata dalla scena dell'evento. Ovviamente dipende dal caso specifico: in caso di un incidente stradale che coinvolge più automobili, potrebbe essere necessario intervenire con più mezzi di soccorso ma, generalmente, si assume che un solo mezzo sia in grado di gestire l'emergenza sulla scena dell'evento. *(in un mondo ideale dovrebbe funzionare così ma molto spesso si verificano disservizi dovuti all'assenza di processi ben definiti, infatti spesso l'ambulanza arriva in ospedale ma non c'è posto in PS).*

Proprio in questo periodo la regione Calabria sta lavorando per riorganizzare il sistema legandolo, però, agli eventi specifici: c'è la rete di emergenza per l'infarto, quella per lo stroke, quella per i politraumi, ecc.

SITUAZIONE "TO BE"

Bisogna fare in modo che, date le caratteristiche del territorio e identificati i potenziali nodi di servizio e i nodi di domanda aggregata, sia possibile andare a localizzare le postazioni territoriali di emergenza soddisfacendo determinati criteri.



 = nodi di domanda aggregata, insieme I
 = nodi di servizio, insieme J

Ciò vuol dire che chi sta progettando il sistema, sulla base di un'analisi condotta sulle caratteristiche del territorio e anche sulla base del budget disponibile o altre condizioni specifiche, identifica il numero e la posizione dei siti dove andare potenzialmente ad attivare una postazione territoriale di emergenza. Accanto a questo, aggrega la domanda distribuita sul territorio in un numero finito di nodi di domanda aggregata.

Gli insiemi I e J devono essere finiti in termini di numero di oggetti che contengono. Ovviamente le condizioni potrebbero essere varie sulla base della viabilità del territorio, della disponibilità di infrastrutture già disponibili sul territorio, del budget disponibile della regione, ecc.

Per fissare le grandezze in gioco, assumiamo:

- Cardinalità di $I \rightarrow |I| = n$
 - Cardinalità di $J \rightarrow |J| = m$
- dove per cardinalità di un insieme si intende il numero di oggetti in esso contenuti (considerando che si tratta di insiemi discreti, finiti).

A causa del requisito tempo-dipendente, quindi, una volta che la centrale operativa ha attivato le risorse di soccorso in una data postazione, la risorsa deve intervenire sulla scena dell'evento entro una soglia massima di tempo identificata come:

T = max tempo di risposta (max distanza di intervento)

T è un dato e consente, alla luce della disposizione sul territorio degli identificati nodi di servizio e nodi di domanda aggregata, di definire, come ulteriore informazione sul sistema, la cosiddetta struttura di **copertura della domanda**.

Data la presenza della soglia T che non può essere superata, si può affermare che, se la domanda proviene da un certo nodo di domanda aggregata, non è possibile intervenire da lontano.

Questo vuol dire che ogni nodo di servizio, alla luce del valore T , avrà un **intorno di riferimento/competenza** \rightarrow il territorio su cui "sarebbe responsabile", ovvero quello raggiungibile entro il tempo massimo partendo dal punto in cui risiedono le ambulanze.

Per ogni casella blu nello schema precedente, si può quindi definire un intorno di riferimento (in giallo) e, in questo caso specifico, si può osservare una parziale sovrapposizione tra i vari intorni, il che dipende da come sono dislocati sul territorio i nodi di servizio.

Precisazione: in questo caso si sta modellando la realtà facendo delle approssimazioni, quindi si può anche non considerare o dare per scontato che siano garantiti alcuni aspetti specifici, altrimenti i modelli sarebbero troppo complessi da trattare.

La struttura di questi intorni si può rappresentare in termini quantitativi:

per ogni coppia di nodi i, j , andando ad analizzare la viabilità (struttura del territorio di riferimento in termini di percorrenza), è possibile misurare una quantità

$$d_{ij} = \text{distanza (tempo) di percorrenza tra nodo } i \text{ e nodo } j$$

$$\forall i \in I$$

$$\forall j \in J$$

A questo punto, gli intorni possono essere rappresentati in modo quantitativo o matematico con delle strutture di questo tipo:

$$\forall j \in J \rightarrow M_j = \{i \in I : d_{ij} \leq \tau\}$$

questo insieme M definisce quali sono i nodi di domanda di competenza del nodo di servizio J .

Dualmente:

$$\forall i \in I \rightarrow N_i = \{j \in J : d_{ij} \leq \tau\}$$

L'insieme M_j e l'insieme N_i definiscono una **matrice di copertura**:

		1				
0						
			1			
	0					

se i è coperto da j o j copre i , il valore è 1; altrimenti è 0.

La copertura della domanda deve essere necessariamente garantita! (*se arriva una chiamata al 118, il 118 deve rispondere*).

È possibile identificare ulteriori dati del problema, cioè quelli relativi a stabilire il criterio guida (o criterio discriminante) per poter ottenere la configurazione del sistema che sia più adeguata per il criterio imposto.

Dato che l'aspetto di qualità del servizio è legato alla tempestività della risposta ed è imposto dal requisito che garantisce la copertura della domanda, un criterio tipicamente utilizzato in questo caso è quello basato sull'aspetto economico/finanziario e quindi sui costi da sostenere per poter configurare il sistema complessivo.

Ciò vuol dire che, a differenza dei modelli di mediana e centro dove si poteva indicare a priori (sempre sulla base di specifiche considerazioni e analisi) esattamente o al più quanti nodi di servizio localizzare, in questo caso a priori non si danno indicazioni di quanti nodi attivare ma si sceglie la configurazione "migliore" in relazione al costo che ovviamente garantisce la qualità del servizio (perché è garantita la copertura della domanda).

Criterio di ottimalità → determinare configurazione sistema a minimo costo.

Per fare questo, tra tutte le modalità possibili, bisogna avere i dati sui costi: è possibile identificare un costo fisso legato all'infrastrutturazione del sito e un costo variabile legato alla gestione delle risorse e quindi agli interventi effettuati dal sito.

- Costi fissi = $c_j \quad \forall j \in J$

vengono rappresentati con una quantità associata ai nodi di servizio (i tecnici finanziari faranno una stima del costo fisso in euro associato ad ogni nodo di servizio).

- Costi variabili = $c_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J$

rappresentano la dinamicità degli interventi e quindi il lavoro quotidiano della postazione territoriale di emergenza.

Sono legati al nodo di servizio ma, dato che questo nell'erogare la prestazione si interfaccia con ogni singolo nodo di domanda aggregata, possono essere identificati come una relazione tra nodo di servizio e nodo di domanda aggregata.

Un altro dato di cui si deve tener conto, in quanto oltre a localizzare la postazione territoriale la si vuole anche dimensionare (=stabilire quante risorse bisogna allocarvi), è quello della soglia da non superare, ovvero in ogni postazione territoriale ci sarà un numero più o meno finito e limitato di mezzi di soccorso (il che è legato anche a condizioni di costo).

È possibile quindi stimare un valore massimo di quantità di risorse che è possibile allocare in un dato nodo di servizio; questa quantità è rappresentata da

$q_j = \text{quantità max di mezzi di soccorso da allocare in } j \in J \text{ (localizzato)}$

In questa situazione si cerca di configurare il sistema tenendo conto anche dell'andamento della potenziale e futura domanda di servizio che il territorio di riferimento può esprimere. In particolare, si tiene conto di una stima della domanda ricordando che la domanda o richiesta di emergenza è un dato aleatorio (incerto) in quanto non è prevista e programmabile (*ad esempio gli accessi al PS sono un numero incerto*).

Quello che si può fare è osservare il passato, su un dato territorio di riferimento, e aggregarlo complessivamente in un valore medio.

In alternativa, si può tener conto delle caratteristiche specifiche del territorio: se si prende in considerazione un territorio a scarsa densità di popolazione, scarsamente infrastrutturato, con età media pari a 20 anni e bassa incidenza di malattie, si dirà che si tratta di un territorio che esprime un livello di rischio mediamente basso e quindi la potenziale domanda di emergenza è limitata.

$h_i = \text{stima livello di domanda nodo } i$

dato un orizzonte temporale di misura (tipicamente l'ora o le 24h), h_i indica il numero di chiamate al 118 che arrivano da quel determinato nodo di domanda aggregata. h_i è, quindi, un valore intero.

Da questo si può capire come modellare nello specifico il problema sottoforma di problema di natura decisionale. Quello che occorre fare è configurare il sistema, cioè capire e determinare dove localizzare la postazione territoriale di emergenza e quanti mezzi di soccorso allocare in ogni postazione.

Decisioni

- Dove localizzare il servizio (postazioni territoriali di emergenza)
- Come dimensionare il servizio

Obiettivo

Controllo (riduzione) dei costi totali da sostenere

Condizioni

- Garantire la copertura della domanda (con adeguato numero di mezzi di soccorso)
- Rispettare i limiti sulle risorse complessive disponibili

Partendo da questa configurazione, si può passare ad una rappresentazione più esplicita in linguaggio matematico.

Variabili decisionali

- La decisione relativa al dove localizzare il servizio è una decisione di tipo binario e viene tradotta nel prendere l'insieme J e ispezionarlo avendo, ad esempio, ordinato i nodi di servizio in modo tale da scegliere, per ogni nodo, se localizzarvi o meno la postazione territoriale di emergenza. A tale scopo, si utilizza la variabile decisionale binaria

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{se nodo servizio } j \in J \text{ localizzato} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

- La decisione relativa al come dimensionare il servizio viene tradotta in allocazione, quindi la quantità di risorse da mettere nel nodo localizzato.
quantità di risorse = numero di mezzi di soccorso (ambulanze)
Questa quantità viene interpretata in relazione al servizio che il nodo j deve erogare per rispondere alla potenziale domanda di servizio che proviene dai nodi del proprio territorio di riferimento. A tale scopo, si utilizza la variabile decisionale

$$X_{ij} \geq 0, \text{ intera} = \text{n° mezzi di soccorso allocati in } j \text{ per rispondere alla domanda } i \in I$$

Alla variabile decisionale di localizzazione Y_j è associato un costo fisso c_j , mentre alla variabile decisionale di allocazione delle risorse X_{ij} in relazione all'interazione tra i e j è associato un costo variabile c_{ij} .

Funzione obiettivo

La funzione obiettivo deve configurare una funzione che calcola il costo totale da sostenere per infrastrutturare il sistema, supponendo sempre una proporzionalità di tipo lineare.

Il costo totale è dato dal pezzo dei costi fissi e dal pezzo dei costi variabili.

$$\min z = \sum_j c_j y_j + \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij}$$

costo
totale

Vincoli

- Garanzia di copertura della domanda: ogni nodo i deve essere soddisfatto e deve poter ricevere il mezzo di soccorso adeguato avendo effettuato la chiamata di emergenza.

$$\sum_{j \in N_i} x_{ij} \geq h_i \quad \forall i \in I$$

ciò vuol dire che, in termini di risorse disponibili e dimensionali, se da un nodo i si stima che arrivi un livello di domanda h_i , per ogni i ci sia disponibile almeno una unità di mezzo di soccorso.

In altre parole, il numero di ambulanze che sono complessivamente allocate nei nodi di servizio j che coprono i deve essere maggiore o uguale al numero di chiamate che provengono dal nodo i .

- Limite sulle risorse complessive disponibili:

$$\sum_{i \in N_j} x_{ij} \leq q_j y_j \quad \forall j \in J$$

si ricorda che q_j è una soglia massima da non superare in termini di numero di ambulanze. Questa soglia viene resa attiva soltanto nei nodi che sono stati localizzati.

Si utilizza, quindi, una maschera del tipo Y_j .

In particolare, $q_j Y_j$ rappresenta un prodotto rispettivamente tra un numero e una variabile: se Y_j assume il valore 0 il prodotto si annulla, se invece assume il valore 1 il prodotto è uguale a q_j .

Ciò significa che dev'esserci al più un numero di mezzi di soccorso installati nel nodo j relativamente a tutti i nodi i coperti da j .

Questo completa la formulazione del modello, che è un modello che si avvicina alla localizzazione semplice. La criticità di questo modello è avere una stima accurata del valore h_i .

In particolare, il modello in questione è un modello decisionale di ottimizzazione statico, in quanto fa riferimento ad un contesto complessivo già fissato in precedenza. Tuttavia, dato che questo sistema è infrastrutturato a livello strategico (non viene cambiato ogni anno ma ha un valore per un periodo di tempo maggiore), e dato che non si può facilmente fare una stima di come sarà in futuro, il parametro h_i è un dato sensibile che può "inficiare" la robustezza complessiva del modello.