

Modello di programmazione lineare intera per la gestione di droni orientato alla riduzione di emissioni nelle consegne nei centri urbani

Facoltà di Ingegneria dell'informazione, informatica e statistica

Statistica Gestionale

Marina Zanoni (1964213)

Anno Accademico 2022/2023



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Indice

1 Introduzione

► Introduzione

► Letteratura

► Analisi Sperimentale

► Conclusioni



- Logistica urbana ed ultimo miglio
- Crowdshipping, Parcel-Lockers e ITS (Intelligent Transport System)
- Droni ed utilizzo combinato con veicoli su gomma





Indice

2 Letteratura

► Introduzione

► Letteratura

► Analisi Sperimentale

► Conclusioni



Diverse tipologie di consegna tramite l'utilizzo di droni e veicoli

2 Letteratura

Consegne tramite droni e la cooperazione di veicoli

- Flying Sidekick Traveling Salesman Problem
- Close Enough TSP
- Analisi del caso peggiore

Consegna dei droni supportati dai veicoli

- Horse Fly Problem
- Mothership and Drone Routing Problem
- Algoritmo k-means

La scelta del modello ricade su quello dell'articolo "An Integrated Routing-Scheduling Model for a Hybrid UAV-Based Delivery System", Amorosi et al., 2020



Individuazione del modello

2 Letteratura

- centro urbano congestionato
- orizzonte temporale
- consegne droni, magazzino, raggiungibilità
- criterio di ottimizzazione: riduzione delle esternalità negative
- energia dei droni

La soluzione prevede quindi l'individuazione di:

Routing

Il tour del veicolo utilizzato per il trasporto dei droni che parte e termina nel magazzino, dopo aver servito tutti i clienti. Si considera il caso in cui si riesce a servire tutti i clienti.

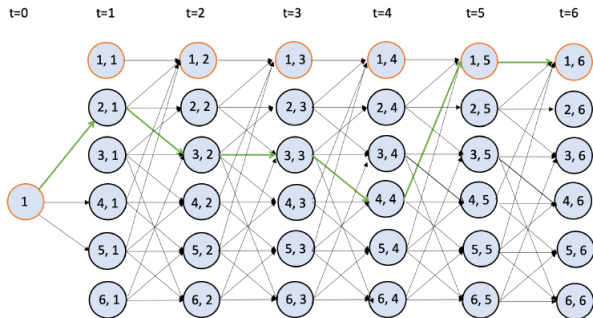
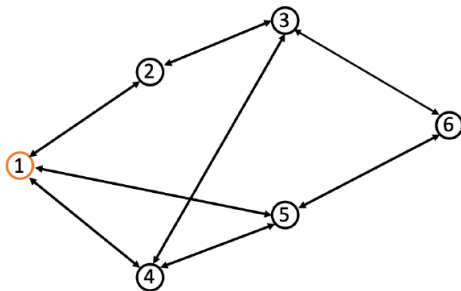
Scheduling

Il programma delle missioni dei droni in modo che tutti i clienti siano serviti all'interno del tempo massimo considerato sotto i vari vincoli del problema.



Approccio modellistico

2 Letteratura





Linearizzazione dei vincoli sui livelli di energia

2 Letteratura

In una prima formulazione:

$$e_d(t) = e_d(t-1) - \sum_{(i,j) \in A_2} x_{i,j}^d(t) \cdot E_{i,j} + w_d(t) \cdot E_{max} \quad \forall d \in D \quad \forall t \in [1, T]$$

Applicando la linearizzazione:

$$e_d(t) = e_d(t-1) - \sum_{(i,j) \in A_2} x_{i,j}^d(t) \cdot E_{i,j} + w_d(t)(E_{max} - e_d(t-1)) \quad \forall d \in D \quad \forall t \in [1, T] \quad (1)$$

È possibile introdurre una nuova variabile $r_d(t)$ definita come:

$$r_d(t) = w_d(t)e_d(t-1) \quad \forall d \in D \quad t \in [1, T]$$



Allora si riscrive il vincolo sull'energia come segue:

$$e_d(t) = e_d(t-1) - \sum_{(i,j) \in A_2} x_{i,j}^d(t) \cdot E_{i,j} + w_d(t) \cdot E_{max} - r_d(t) \quad \forall d \in D \quad \forall t \in [1, T]$$

La nuova variabile per essere definita correttamente dovrà rispettare i seguenti vincoli 2-3:

$$r_d(t) \leq e_d(t-1) \quad (2)$$

Deve essere 0 se non si effettuano ricariche. M è un termine molto grande che in corrispondenza di una ricarica rende questo vincolo ridondante.

$$r_d(t) \leq w_d(t-1) \cdot M \quad (3)$$

Se si effettua una ricarica si scrive la disequazione nel verso opposto per già citato. Si scriva perciò il vincolo:

$$r_d(t) \geq e_d(t-1) - (1 - w_d(t)) \cdot M \quad (4)$$



Riassunto dei vincoli

2 Letteratura

Vincoli sui clienti

- I droni devono servire interamente i clienti
- Un cliente deve essere servito da un solo drone in un unico slot temporale
- Per servire un cliente partendo da un nodo il veicolo deve essere parcheggiato nello stesso nodo per fungere da base di lancio
- I clienti serviti al tempo t sono quelli serviti al tempo precedente e gli eventuali serviti in t



Indice

3 Analisi Sperimentale

► Introduzione

► Letteratura

► **Analisi Sperimentale**

► Conclusioni



Vincolo consegne-spostamento

3 Analisi Sperimentale

Si vuole evitare che il veicolo si sposti mentre i droni stanno effettuando le consegne.

$$x_{i,j}^d(t) \leq \left(1 - \sum_{(i,j): j \neq i} z_{i,j}(t) \right) \quad \forall (i,j) \in A_2, \quad \forall d \in D, \quad \forall t \in [0, T] \quad (5)$$

Variabili
decisionali

$x_{i,j}^d(t) \in \{0, 1\}$ se il cliente j è servito nello slot di tempo t
dal drone d che parte da i assume valore 1, 0 altrimenti

$z_{i,j}(t) \in \{0, 1\}$ è 1 se il veicolo si muove da i a j nello slot di tempo t



Nuove variabili

3 Analisi Sperimentale

Definiamo le variabili m_1 e m_2 per poi imporre le ricariche sui droni. Le loro espressioni, in corrispondenza di un determinato slot temporale t , sono le seguenti:

$$m_d^1(t) = \begin{cases} 1 & \text{se la carica del drone è inferiore o uguale a } \frac{E_{max} - E_{min}}{2} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$m_d^2(t) = \begin{cases} 1 & \text{se la carica del drone è superiore a } \frac{E_{max} - E_{min}}{2} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$



Vincolo sulle ricariche

3 Analisi Sperimentale

Dopo aver implementato le variabili vengono imposti i vincoli per la ricarica

$$w_d(t) \leq 1 + M \cdot \left(1 - \sum_{(i,j): i \neq j} z_{i,j}(t) \right) + M \cdot (1 - m_d^1(t)) \quad \forall d \in D, \forall t \in [0, T]$$

$$w_d(t) \geq 1 - M \cdot \left(1 - \sum_{(i,j): i \neq j} z_{i,j}(t) \right) - M \cdot (1 - m_d^1(t)) \quad \forall d \in D \quad \forall t \in [0, T]$$

Si esplicita anche la relazione tra le due variabili:

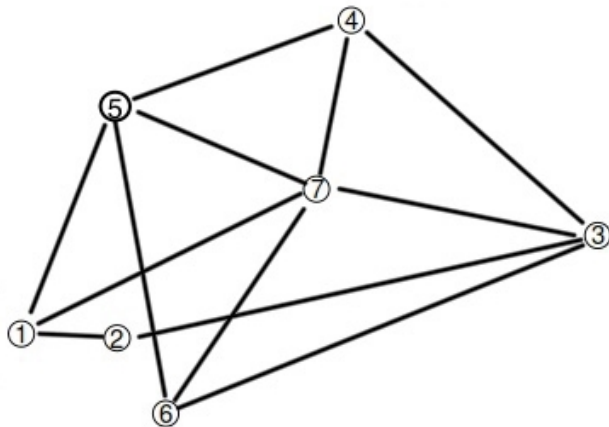
$$m_d^1(t) + m_d^2(t) = 1 \quad \forall d \in D, \forall t \in [0, T] \quad (6)$$



Esempio

3 Analisi Sperimentale

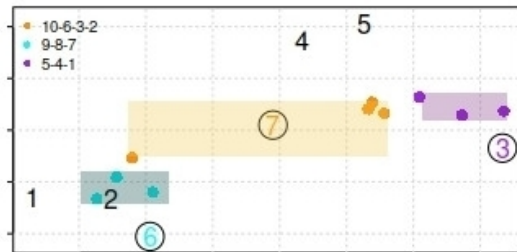
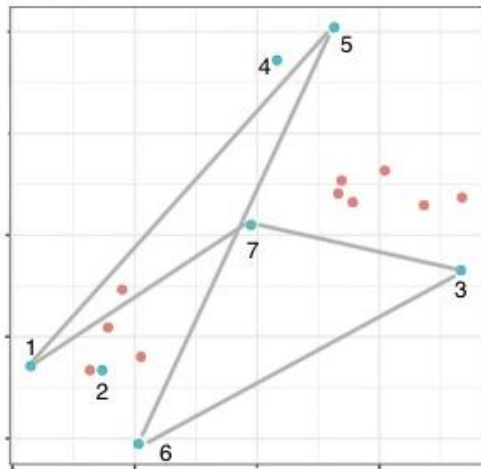
- 7 soste per il veicolo
- 7 slot temporali
- 10 clienti
- 4 e 6 droni
- due formulazioni





Soluzione vincolo 5

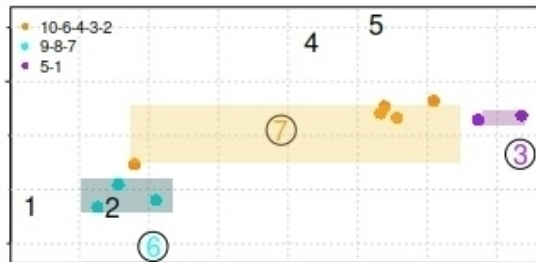
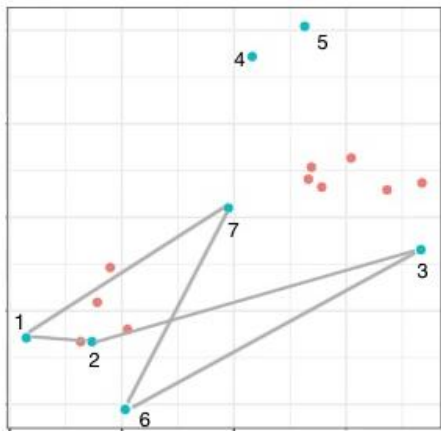
3 Analisi Sperimentale





Soluzione completa

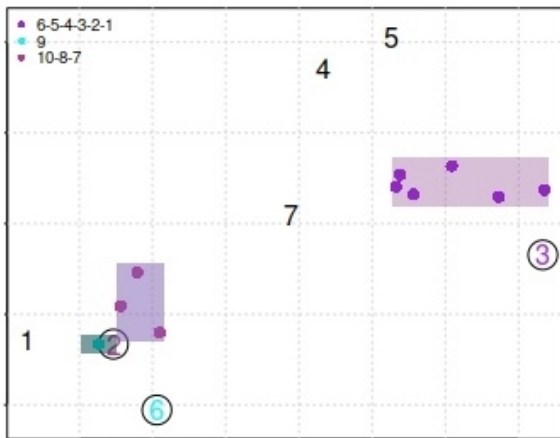
3 Analisi Sperimentale





Aumento a 6 droni

3 Analisi Sperimentale





Indice

4 Conclusioni

► Introduzione

► Letteratura

► Analisi Sperimentale

► Conclusioni



Conclusioni

4 Conclusioni

Grafo incompleto

- La flessibilità può derivare dal percorso del veicolo: gli archi che può percorrere e soprattutto quelli che non può percorrere.
- Capita di scegliere di servire i clienti da un nodo meno vantaggioso, aumentando i costi per rispettare i vincoli.

Vincoli consegna-spostamento

- non evidenziamo un necessario miglioramento nella funzione obiettivo
- Si individua un tentativo di ottimizzare le ricariche negli spostamenti

Vincoli ricariche

- Può potenzialmente riorganizzare le consegne in modo da ridurre le ricariche
- Permette di riconsegnare i droni carichi al deposito.



Grazie per
l'attenzione



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA