Prodotto T2.2.1

Modello della rete di trasporto ottimizzata fra i porti e gli impianti di trattamento

Sommario

PREMESSA 3
1. IL PROBLEMA DI RETE 4
1.1 Descrizione del problema 4
1.2 La formalizzazione del problema matematico 6
2. LO SCENARIO LOGISTICO ANALIZZATO 8
2.1 La domanda della rete marittima 9
2.2 I dati del problema di rete 9
2.3 I risultati della rete ottimizzata 10

PREMESSA

Il presente documento definisce il modello ottimizzato della rete di trasporto marittima, funzionale al collegamento dei porti IMPATTI_NO con gli impianti di trattamento dei rifiuti plastici presenti nell'area transfrontaliera.

Lo scenario logistico analizzato è relativo all'ipotesi di gestione della raccolta dei rifiuti e loro successivo trattamento interamente per via marittima. Lo scenario logistico analizzato prevede l'installazione a bordo nave di un impianto di gassificazione plasma-assistita con capacità di 1500 tonnellate a settimana. I nodi portuali che compongono la rete analizzata sono Cagliari, Olbia, Bastia, Piombino, Livorno, La Spezia, Genova, Savona e Tolone.

1. IL PROBLEMA DI RETE

Lo scenario logistico in esame è relativo all'ipotesi di gestione della raccolta dei rifiuti plastici portuali e al loro successivo trattamento interamente per via marittima. Tale scenario logistico prevede l'installazione a bordo nave di un impianto di gassificazione plasma-assistita con una data capacità di trattamento settimanale. La nave-impianto preleva il materiale plastico nei porti che compongono la rete di raccolta e provvede al suo trattamento direttamente a bordo.

L'obiettivo del problema di ottimizzazione dello scenario di raccolta e trattamento del rifiuto per via marittima è quello di determinare la rete di minimo costo che dovrà essere servita dalla nave - impianto nel rispetto di vincoli di domanda e capacità individuati.

1.1 Descrizione del problema

Ai fini dello studio, il problema relativo allo sviluppo di un modello ottimizzato per la gestione logistica per via marittima dei rifiuti provenienti dalle attività marittime e portuali all'interno della rete dei porti Impatti-No può essere così formalizzato:

- La rete di raccolta si compone di un insieme di nodi (porti) da visitare
- Ogni nodo (porto) si caratterizza per un dato volume di rifiuti da trattare (m^3) che devono essere conferiti alla nave-impianto
- Tutti i nodi portuali della rete devono essere serviti dalla nave nell'orizzonte di pianificazione
- In ogni nodo (porto) toccato, la nave deve caricare l'intera domanda di rifiuti (m^3) relativa al nodo stesso
- Ogni nodo toccato ha un suo costo operativo (€/h)
- L'intera rete è servita da una sola nave-impianto

- Il costo di navigazione (€/h navigata) si compone di una parte fissa e di una parte variabile in funzione della velocità. Maggiore è la velocità, più elevata è la quota di costo variabile
- La nave, considerata inizialmente vuota, carica la domanda di rifiuti da trattare nel primo nodo di partenza del giro. Giunta nel secondo nodo, la nave scarica il quantitativo di prodotto trattato (il syngas; che non necessariamente deriva dall'aver trattato tutto il rifiuto che ha a bordo) e carica il nuovo quantitativo di rifiuto da trattare, e così via in tutti gli altri nodi della rete
- Affinché la nave giunta nel nodo successivo possa caricare il nuovo quantitativo di rifiuto, deve avere una capacità residua nel suo deposito rifiuti pari, almeno, al quantitativo di rifiuto che deve essere caricato in quel nodo.
- Nel caso si rendesse necessario un tempo di lavorazione ulteriore per lo svuotamento del serbatoio rifiuti della nave tale da liberare la capacità residua necessaria per poter accogliere il volume di rifiuti del nodo successivo, è possibile simulare un'attesa in rada utilizzando un nodo fittizio collocato in prossimità del nodo reale e caratterizzato da un costo orario (€/h) pari solamente alla quota del costo fisso di navigazione (la nave è ferma)
- Nella rete considerata il nodo di partenza coincide con il nodo di arrivo finale. La nave termina il giro rientrando nel porto di origine, dopo aver trattato tutto il rifiuto prodotto dalla rete
- Il deposito rifiuti della nave al termine del giro è vuoto ($m^3 = 0$)
- La nave ha un serbatoio rifiuti avente una data capacità massima (m^3) e ha una capacità di trattamento oraria in termini di m^3 di rifiuti trattati ogni ora (m^3/h)
- La velocità con cui i rifiuti vengono trattati a bordo nave è costante, ovvero non varia al variare della velocità della nave.
- Si ipotizzia che non vi siano vincoli di capacità legati allo stoccaggio a bordo nave del prodotto derivante dalla trattazione del rifiuto (la nave può contenere tutto il prodotto senza problemi di spazio fino all'arrivo al porto successivo).

- Si assume che la nave utilizzata sia una nave alimentata in modo tradizionale con HFO o MDO.

L'obiettivo del problema di ottimizzazione è quello di determinare, data una velocità di navigazione fissata, la rete di minimo costo nel rispetto dei vincoli di domanda e capacità individuati.

L'output atteso riguarda:

- La sequenza ottimale delle toccate
- Il costo totale della rete, comprensivo del costo di viaggio e di attesa.

1.2 La formalizzazione del problema matematico

Definiti i seguenti elementi:

- I: insieme dei porti
- Q_{max}: capacità della nave
- ρ: tasso di processamento
- c_s: costo di navigazione
- c_w: costo di attesa
- q: domanda del porto
- t: tempo di viaggio

il problema di ottimizzazione matematica può essere così formulato:

$$min \quad \sum_{i}^{I}\sum_{j}^{I} c_s t_{ij} X_{ij} + c_w w_{ij}$$

$$\sum_{j}^{I} X_{ij} = \sum_{j}^{I} X_{ji} \qquad (1)$$

$$\sum_{j}^{I} X_{ij} = 1 \qquad (2)$$

$$u_j \geq u_i + X_{ij} - I(1 - X_{ij}) \qquad (3)$$

$$u_i \leq 1 \qquad (4)$$

$$Q_j \geq Q_i + q_i - \rho(t_{ij} + w_{ij}) - Q_{MAX}(1 - X_{ij}) \qquad (5)$$

$$Q_j + q_j \leq Q_{MAX} \qquad (6)$$

$$w_{ij} \geq 0 \ (7)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \ (8)$$

La funzione obiettivo è una funzione di minimo costo che minimizza la somma dei costi di viaggio e di attesa, essa è soggetta a una serie di vincoli che assicurano che ciascun porto venga toccato una sola volta, il soddisfacimento della domanda, il rispetto dei limiti di capacità, nonché i tradizionali vincoli di routing.

2. LO SCENARIO LOGISTICO ANALIZZATO

Lo scenario di gestione dei rifiuti analizzato prevede l'installazione a bordo nave di un impianto di gassificazione plasma-assistita con capacità di 1500 tonnellate a settimana.

I nodi toccati dalla nave-impianto sono Cagliari, Olbia, Bastia, Piombino, Livorno, La Spezia, Genova, Savona e Tolone (vedi Figura 1).

Figura 1. I nodi della rete marittima

2.1 La domanda della rete marittima

Ciascun nodo della rete considerata si caratterizza per un dato volume di materiale plastico che deve essere conferito settimanalmente alla nave-impianto per il suo trattamento. Il quantitativo di materiale plastico (t/settimana) che ciascun nodo portuale della rete conferisce settimanalmente alla nave impianto è riportato nella Tabella 1. Il dato di domanda riportato si riferisce alla settimana di punta e, per ciascun nodo, include il rifiuto plastico relativo sia all'ambito portuale che urbano.

Tabella 1: Domanda settimanale.

Porti	Plastiche da trattare* (t/settimana)**
Cagliari - città metropolitana	237,74
Olbia	72,81
Bastia	38,58
Piombino	28,50
Livorno	134,74
La Spezia	78,55
Genova	493,29
Savona	232,50
Tolone	142,41
Totale	**1459,13**

2.2 I dati del problema di rete

Ai fini della definizione della rete di trasporto marittima ottimizzata mediante l'applicazione del modello di ottimizzazione presentato in precedenza, vengono definiti i seguenti parametri dell'offerta:

- Capacità trattamento impianto nave: 1500 t/settimana
- Capacità del serbatoio plastiche a bordo: 500 t
- Velocità di navigazione: 11 kn

- Costo operativo in navigazione: 17,6 €/nm
- Costo di attesa in rada: tenendo conto che, in media, tra il 46 e il 50% del costo operativo è rappresentato dai costi di carburante, si assume che il costo di attesa in rada valga il 50% del costo operativo in navigazione.

2.3 I risultati della rete ottimizzata

Dall'applicazione del modello di ottimizzazione presentato nel capitolo 1 allo scenario logistico in esame così riassumibile:

- La rete si compone di 9 nodi da visitare
- Ogni nodo si caratterizza per un dato volume di rifiuti da trattare (Tabella 1)
- Tutti i nodi portuali della rete devono essere serviti dalla nave nell'orizzonte di pianificazione assunto pari alla settimana
- In ogni nodo toccato, la nave deve caricare l'intera domanda di rifiuti relativa al nodo stesso
- L'intera rete è servita da una sola nave tratta-rifiuti
- La nave, inizialmente vuota, carica la domanda di rifiuti da trattare nel primo nodo di partenza del giro. Affinché la nave giunta nel nodo successivo possa caricare il nuovo quantitativo di rifiuto, deve avere una capacità residua nel suo deposito rifiuti pari, almeno, al quantitativo di rifiuto che deve essere caricato in quel nodo. In caso contrario dovrà attendere in rada finché nel suo deposito non si libera il volume necessario ad accogliere il nuovo quantitativo di rifiuto plastico
- La nave ha un serbatoio rifiuti avente una capacità massima di 500 t e una capacità di trattamento pari a 1500 t/settimana

derivano i seguenti risultati:

- sequenza ottima del giro (vedi Figura 2): Cagliari-Tolone-Savona-Genova-La Spezia-Livorno-Piombino-Bastia-Olbia-Cagliari
- Totale miglia percorse = 1.012 nm/settimana

- Costo di navigazione = 17.811 €/settimana
- Costo di attesa in rada = 6.969,6 €/settimana
- Costo totale rete (navigazione + attesa) = 24.780,6 €/settimana (non include i costi portuali)
- Costo di trasporto annuo = 1.288.600 €/anno (non include i costi portuali)

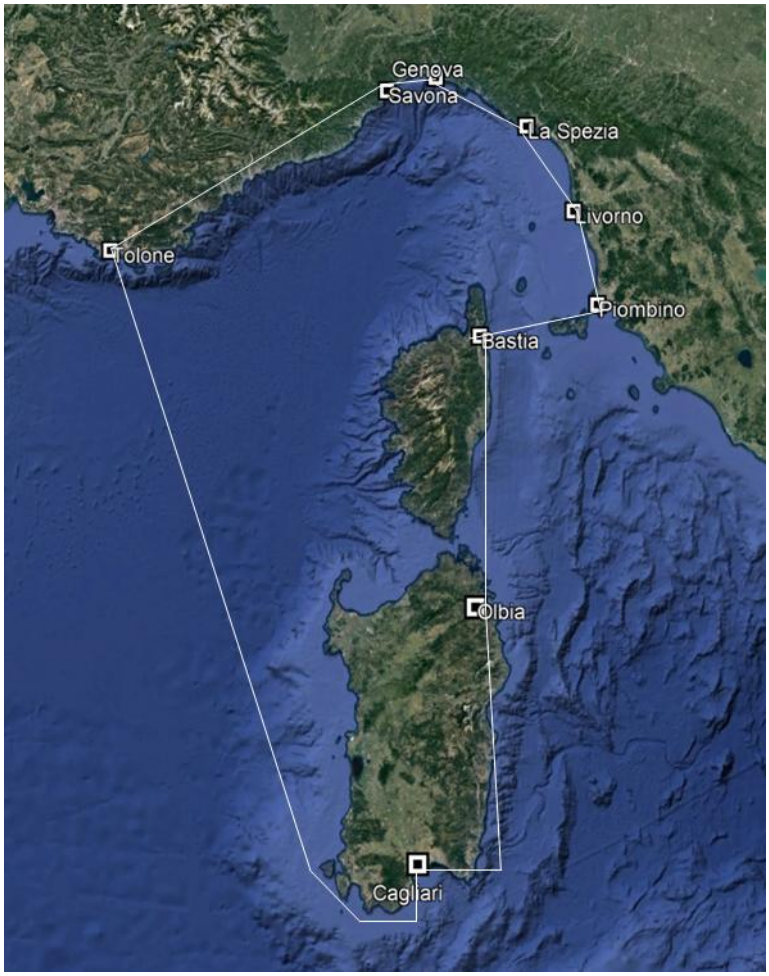

Figura 2: La rete marittima ottimizzata