

### Esercizio 1

Un'azienda manifatturiera che lavora nel Nord Italia possiede tre stabilimenti produttivi, localizzati a Pavia, Verona e Ravenna. L'azienda rifornisce sette punti vendita, localizzati a Milano, Torino, Genova, Firenze, Bologna, Venezia e Bergamo. Nella tabella successiva sono riportate le distanze in km tra stabilimenti produttivi e punti vendita.

		Stabilimenti		
		Pavia	Verona	Ravenna
Punti Vendita	Milano	40	155	290
	Torino	160	300	370
	Genova	130	290	410
	Firenze	290	240	190
	Bologna	200	145	75
	Venezia	290	115	145
	Bergamo	105	115	320

**Tabella 1** Distanze (km) tra punti vendita e stabilimenti produttivi.

Dalle distanze tra impianti dipendono i costi di trasporto, secondo una relazione positiva e non lineare, che risulta sconosciuta ai vertici dell'azienda. Negli ultimi mesi è stato creato, però, un database per registrare i trasporti realizzati, evidenziando i costi unitari sostenuti e le distanze percorse. I costi di trasporto non dipendono esclusivamente dalle distanze percorse, ma anche da altri fattori, tra i quali il prezzo della benzina, un parametro che ha subito un andamento variabile negli ultimi mesi. Proprio per questo motivo nel database a disposizione a distanze molto ravvicinate spesso corrispondono diversi costi unitari di trasporto. La direzione aziendale è interessata alla stima di una relazione tra costi unitari di trasporto e distanze percorse, attività da condurre proprio a partire dal database a disposizione (*Costi di Trasporto.xlsx*) e indispensabile per determinare i piani di trasporto dagli stabilimenti ai punti vendita.

Ogni punto vendita presenta una domanda mensile (espressa in unità) che deve essere strettamente soddisfatta. Il valore di tale parametro coincide con 100 per il punto vendita di Milano, 50 per Torino, 20 per Genova, 80 per Firenze, 150 per Bologna, 30 per Venezia e 70 per Bergamo.

Ogni stabilimento è caratterizzato, invece, da una massima capacità produttiva mensile (espressa in unità), da un costo fisso mensile (espresso in €) da sostenere in caso di utilizzo dell'impianto e da un costo variabile di produzione (espresso in €/unità). Tali valori sono indicati nella successiva tabella.

Stabilimento Produttivo	Capacità Mensile	Costo Fisso Mensile	Costo Unitario di Produzione
Pavia	250	700	5
Verona	200	600	4
Ravenna	150	550	6

**Tabella 2** Caratteristiche tecniche degli stabilimenti produttivi.

Le produzioni realizzate dai tre stabilimenti sono pressoché identiche, motivo per il quale la domanda di ciascun punto vendita può essere soddisfatta indifferentemente da ciascuno stabilimento.

Sulla base delle informazioni a disposizione:

- a. Determinare i piani di produzione e di trasporto mensili che minimizzano i costi totali sostenuti dall'azienda.
- b. Una più attenta analisi dell'impianto di Pavia ha messo in evidenza come questo stabilimento sia in grado di sfruttare economie di scala, presentando una riduzione dei costi unitari di produzione al crescere delle quantità prodotte. In particolare, l'ufficio Controllo di Gestione ha attribuito all'impianto il seguente profilo di costi unitari:
  - i. Le prime 100 unità prodotte presentano il precedente costo unitario di produzione (5 €/unità);
  - ii. Ogni unità addizionale oltre la soglia delle 100 unità e fino al livello di produzione di 200 unità presenta un costo unitario di produzione inferiore del 10% (e quindi pari a 4.5 €/unità);
  - iii. Oltre la soglia delle 200 unità i costi unitari di produzione subiscono un'ulteriore riduzione. Ogni unità oltre tale soglia presenta, infatti, un costo unitario di produzione inferiore del 25% rispetto al costo unitario di produzione nella prima fascia.

Sapendo che, invece, i due stabilimenti di Verona e Ravenna non presentano economie di scala, determinare i nuovi piani di produzione e trasporto, evidenziando e motivando eventuali differenze rispetto alla soluzione precedentemente individuata.
- c. Si supponga che sia possibile incrementare del 50% la capacità degli stabilimenti produttivi, sostenendo i costi indicati nella seguente tabella.

Stabilimento	Incremento Capacità Mensile	Costo Equivalente Mensile
Pavia	125	600
Verona	100	500
Ravenna	75	300

**Tabella 3** Costi equivalenti e incrementi della capacità legati agli interventi di espansione degli stabilimenti produttivi.

Determinare le scelte ottimali di espansione degli stabilimenti produttivi e i corrispondenti piani di produzione e trasporto nelle due ipotesi relative all'impianto di Pavia di:

- Produzione a costi unitari costanti (pari a 5 €/unità);
- Sfruttamento delle economie di scala.

## Esercizio 2

La pianificazione della generazione di elettricità è un'attività fondamentale per qualsiasi sistema energetico, ma per i territori insulari distanziati svariati chilometri dalla terra ferma tale processo presenta un'importanza ancora maggiore. Infatti, data l'assenza di interconnessioni elettriche, queste aree geografiche presentano un minor grado di flessibilità, non potendo gestire tramite importazioni ed esportazioni condizioni, rispettivamente, di scarsità ed eccesso di generazione zonale. In tali territori la programmazione deve, di conseguenza, garantire in ogni istante dell'orizzonte temporale la capacità di soddisfare con le risorse a disposizione il carico elettrico.

In particolare, si consideri il caso di una piccola isola montuosa, caratterizzata dalla presenza di impianti sia idroelettrici sia termoelettrici.

Le centrali idroelettriche a disposizione sono due e sono posizionate a differenti quote altimetriche all'interno della stessa vallata:

- Il primo impianto, situato all'altezza maggiore, è alimentato da un primo serbatoio e scarica l'acqua turbinata in un bacino a valle.
- La seconda centrale è, invece, alimentata dal precedente bacino inferiore e riversa le acque di scarico in un corso naturale.

Entrambi gli impianti risultano privi di tecnologie per effettuare il sollevamento elettromeccanico delle acque di scarico, ma si sta valutando la possibilità di sostenere un investimento per dotare di tecnologie di pompaggio la prima centrale idroelettrica. Per evitare la tracimazione dei serbatoi in caso di improvvisa ed eccessiva piovosità, sono presenti dei canali per lo sfioro dell'acqua che collegano il bacino a monte con il serbatoio a valle e la vasca a valle con il corso d'acqua. All'interno del file *Idroelettrico.xlsx* sono descritti apporti naturali e caratteristiche tecniche della vallata idroelettrica. In particolare, le informazioni rilevanti ai fini della programmazione sono:

- Volume iniziale, volume finale e capacità massima delle vasche.
- Livello minimo di acqua all'interno dei bacini, pari al 20% della capacità massima delle vasche.
- Portata massima, costo operativo, massima capacità espandibile, costo (equivalente giornaliero) unitario da sostenere per incrementare la capacità delle condotte e coefficiente energetico per convertire in potenza i volumi di acqua movimentati.

Le centrali termoelettriche disponibili sono, invece, un impianto a carbone, un ciclo combinato, un turbogas e un'unità a gasolio e presentano le caratteristiche tecniche descritte nel file *Termoelettrico.xlsx*. Nello specifico, gli impianti in considerazione sono caratterizzati da una potenza massima, massimi incrementi e decrementi di potenza tra istanti temporali successivi, costo marginale di produzione (nell'ipotesi che i costi di produzione dipendano linearmente della potenza prodotta), livello iniziale di produzione, coefficiente emissivo di CO<sub>2</sub>, massima capacità espandibile e costo unitario da sostenere per incrementare la potenza installata di ciascuna unità termoelettrica.

Il territorio in considerazione è soggetto al carico riportato nel file *Sistema.xlsx*, serie storica, così come gli apporti naturali, descritta da dodici valori, ciascuno dei quali corrisponde ad un blocco di due ore.

Sulla base delle informazioni a disposizione:

- a. Determinare l'utilizzo ottimale delle risorse idroelettriche e termoelettriche per il soddisfacimento del carico, commentando i risultati ottenuti ed evidenziando il mix di generazione dell'isola.
- b. Quali valori dei costi d'investimento renderebbero economicamente conveniente l'installazione della pompa con le caratteristiche descritte nel file *Idroelettrico.xlsx*? Basandovi sui dati dello scenario, suggerireste o sconsigliereste questo intervento?
- c. Con riferimento alla soluzione al punto a) si ipotizzi la necessità di condurre un intervento manutentivo sull'unità termoelettrica a gasolio che determina l'indisponibilità di tale impianto per 3 istanti temporali consecutivi. In quali dei 12 periodi della giornata concentrereste tale attività manutentiva e quale sarebbe l'impatto su costi totali e mix energetico?
- d. Con riferimento alla soluzione al punto a) si ipotizzi di poter sostenere degli investimenti per espandere sia la capacità delle condotte forzate che trasportano l'acqua turbinata sia la capacità delle unità termoelettriche, considerando i valori forniti nei file *Idroelettrico.xlsx* e *Termoelettrico.xlsx*, rispettivamente. Determinare le scelte ottimali di investimento e il nuovo mix di generazione.
- e. Come cambierebbe la soluzione al punto d) in presenza del requisito che la generazione di elettricità nell'isola preveda un limite massimo di 2500 tonnellate per le emissioni di CO<sub>2</sub>?
- f. Si ipotizzi la possibilità di investire, oltre che nell'espansione delle condotte forzate e della capacità termoelettrica, anche nell'installazione di capacità eolica, ad un costo (equivalente giornaliero) unitario variabile, pari a 120 €/MW per i primi 200 MW installati e pari a 180 €/MW per ogni unità di capacità addizionale, dai 200 MW ai 500 MW, potenza massima installabile. La potenza prodotta dall'impianto eolico dipenderebbe dalla potenza installata e dalla producibilità eolica, un fattore adimensionale compreso tra 0 e 1 che descrive le condizioni meteorologiche e, in particolare, la velocità del vento nel territorio in considerazione. Un valore di 0.8 di producibilità eolica, ad esempio, per un impianto di capacità 100 MW indicherebbe la possibilità di generare, a costo nullo, 80 MW di produzione. Il prodotto tra producibilità e capacità installata più precisamente rappresenta un upper bound per la produzione rinnovabile, data la possibilità di decurtazione, ovvero di "taglio" di parte della generazione eolica. Ad esempio, ad un valore di producibilità pari a 0.8 potrebbe corrispondere, per un impianto eolico di 100 MW, la produzione di un qualsiasi livello di potenza compreso tra 0 MW e 80 MW. I profili giornalieri di producibilità presentano, poi, un andamento estremamente variabile. Nello specifico, nell'isola è possibile osservare la presenza di giorni con basso, medio o alto vento, descritti nel file *Sistema.xlsx*. Utilizzando le informazioni a disposizione definire come cambierebbero i piani di espansione e di produzione dell'elettricità potendo investire anche nella tecnologia eolica. In particolare, evidenziare la capacità installata, la produzione eolica e la potenza decurtata.
- g. Come cambia la soluzione al punto f) in presenza del requisito che la generazione di elettricità nell'isola preveda un limite massimo di 2500 tonnellate per le emissioni di CO<sub>2</sub>.