Ricarica EV con profilo regolare

Indice

Che cosa cambia

Il modello

Esempio svolto a mano

Implementazione e risultati

Analisi di sensitività

Esercizi

Obiettivi

Alla fine di questo capitolo sarai in grado di:

- penalizzare le variazioni di una grandezza aggregata con un termine quadratico;
- leggere il moltiplicatore del fabbisogno di energia in un QP;
- tracciare la frontiera fra spesa e irregolarità del prelievo.

Prerequisiti

- Dal modulo *Modellazione PL*, Capitolo 5 «Ricarica intelligente di veicoli elettrici»: il modello lineare di ricarica, con i suoi dati
- Da questo modulo, Capitolo 2 «Richiami: convessità, programmazione quadratica e condizioni KKT»: i programmi quadratici convessi, le condizioni KKT e i moltiplicatori come prezzi ombra

Che cosa cambia

Il caso e il suo limite

- Caso, dati e modello lineare: Modellazione PL, «Ricarica intelligente di veicoli elettrici»
- La ricarica a costo minimo insegue le ore economiche: picco di 103,4 kW, salti fino a 54,9 kW da un'ora all'altra
- Rampe ripide affaticano la rete e spesso si pagano
- Classe del problema: **QP convesso**

L'idea

- Penalità **quadratica** sui salti orari del prelievo totale $z_t = b_t + \sum_v x_{vt}$
- z_t è un'espressione lineare, non una variabile nuova
- Un solo dato nuovo: $\gamma \in \mathbb{Q}_{\geq 0}$ (€ per kW^2)
- Il carico di base entra nella penalità: la ricarica può addolcirne le rampe

Il modello

Modello QP di ricarica con profilo regolare

Modello QP di ricarica con profilo regolare

$$\min \quad \sum_{v=1}^{n}\sum_{t=1}^{m} \pi_t \, \Delta t \, x_{vt} + \gamma \sum_{t=2}^{m} \left(z_t - z_{t-1}\right)^2 \tag{10.1a}$$

$$\text{soggetto a} \quad \eta \sum_{t=1}^{m} \Delta t \, x_{vt} \geq e_v, \qquad \forall v \in \{1, \ldots, n\}, \tag{10.1b}$$

$$\sum_{v=1}^{n} x_{vt} + b_t \leq k, \qquad \forall t \in \{1, \ldots, m\}, \tag{10.1c}$$

$$x_{vt} \leq a_{vt} \, \bar{p}_v, \qquad \forall v, \forall t, \tag{10.1d}$$

$$x_{vt} \geq 0, \qquad \forall v, \forall t. \tag{10.1e}$$

Esempio svolto a mano

Un veicolo, due ore

Istanza

$e = 10$ kWh, $\eta = 1$, $\pi_1 = 0{,}10$, $\pi_2 = 0{,}20$ €/kWh, $\bar{p} = 12$ kW, base nulla

Modello lineare: $x_1 = 10$, spesa 1,00 €

- Passo 1, con $\gamma = 0{,}01$: $\tilde{x} = (6{,}25;\ 3{,}75)$, $\tilde{z} = 1{,}4375$, $\tilde{\lambda} = 0{,}15$
- Passo 2: $x_1 = 5 + d$, $x_2 = 5 - d$, $f(d) = 1{,}5 - 0{,}1d + 4\gamma d^2$ $\Rightarrow\ d = 1/(80\gamma)$

Il moltiplicatore è la media dei prezzi

- Passo 3: stazionarietà

$$0{,}10 - 2\gamma(x_2 - x_1) = \lambda = 0{,}20 + 2\gamma(x_2 - x_1) \;\Rightarrow\; \lambda = 0{,}15$$

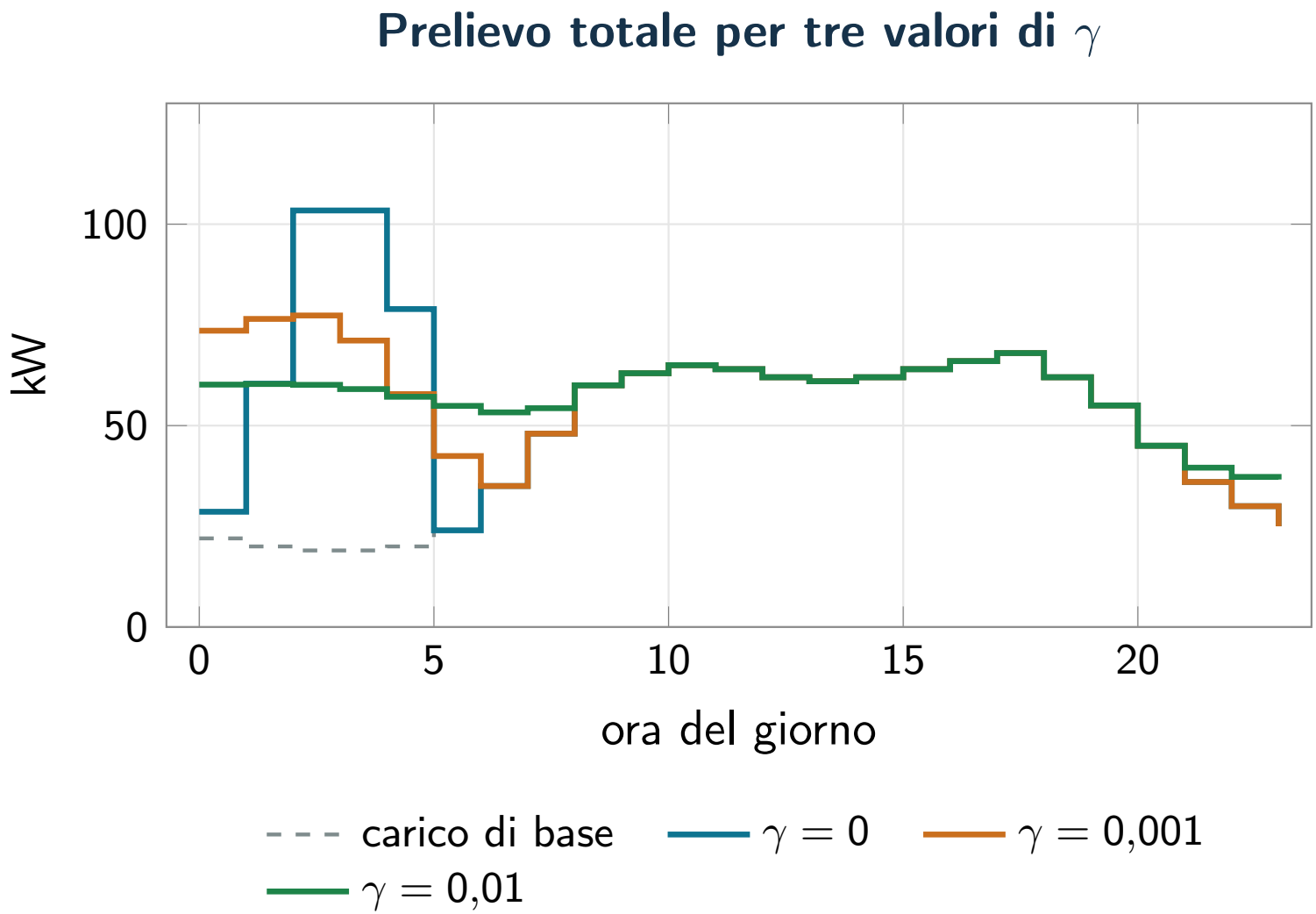
- Vale per ogni $\gamma \geq 1/400$ (finché $x_2 \geq 0$)
- Nel modello lineare il kWh marginale costava il prezzo dell'ora marginale (0,10)

Implementazione e risultati

Cambia solo l'obiettivo

```
z = {t: x.sum("*", t) + base[t] for t in ore}
salti = gp.quicksum((z[t] - z[t-1])**2
                    for t in ore[1:])
m.setObjective(spesa + gamma*salti, GRB.MINIMIZE)
```

Tre valori di γ



Spesa, picco e salti

```
gamma = 0,000: spesa 20,36  picco 103,4 kW  salto max 54,9
gamma = 0,001: spesa 21,76  picco  77,3 kW  salto max 15,4
gamma = 0,010: spesa 24,67  picco  68,0 kW  salto max 10,0
```

- Con $\gamma = 0{,}01$: $+4{,}31$ € a notte, picco al minimo possibile (68 kW)
- Il compromesso lineare di Modellazione PL guarda solo il picco; il QP addolcisce ogni rampa

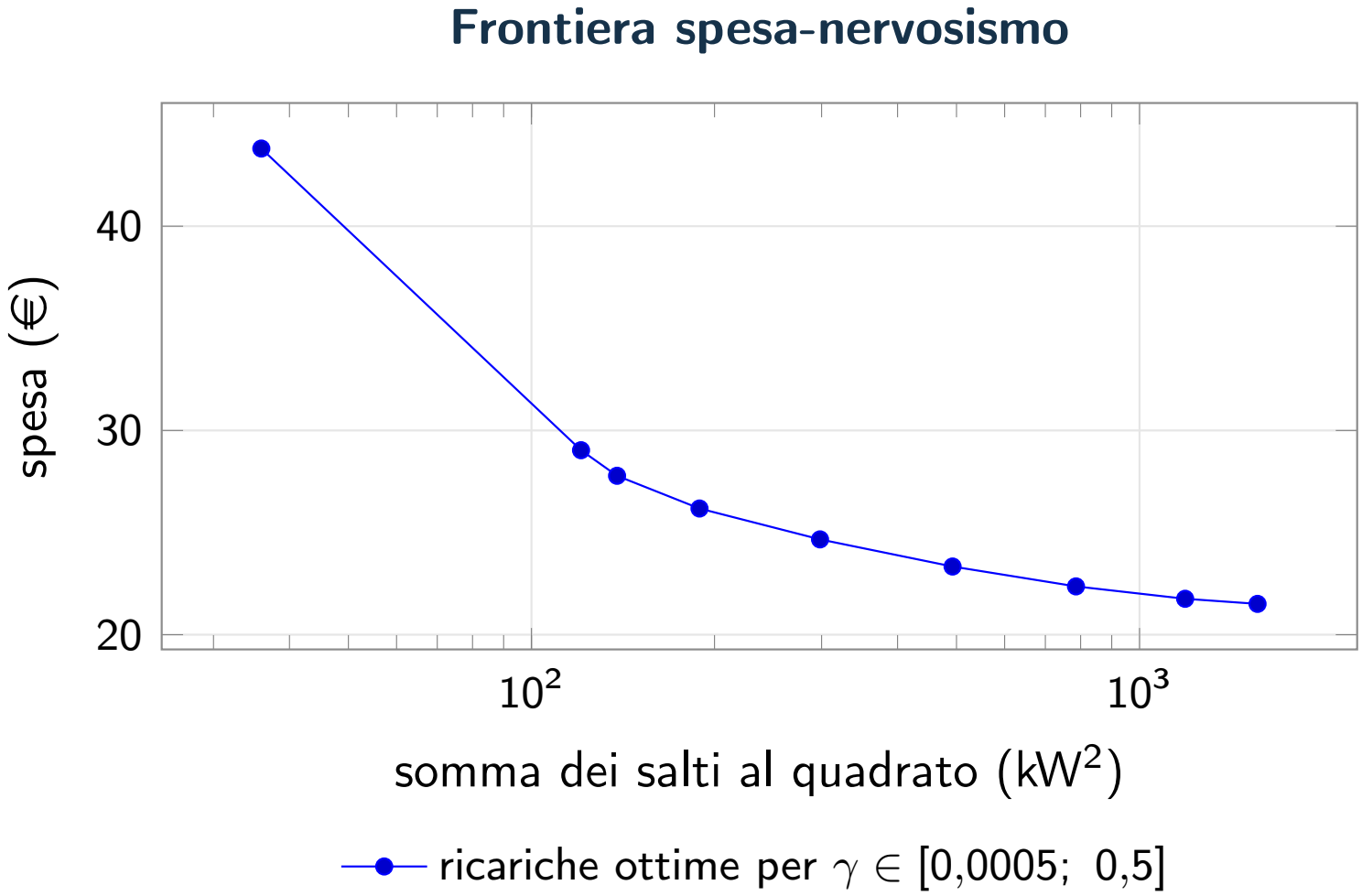
Analisi di sensitività

Un solo prezzo per tutti i veicoli

```
          V1       V2       V3       V4       V5       V6
g=0      0,0947   0,0842   0,0842   0,0947   0,0947   0,0842
g=0,01   0,0916   0,0916   0,0916   0,0916   0,0916   0,0916
Verifica (g=0,01): +1 kWh -> 0,0917; +0,01 -> 0,0916
```

- La penalità lega i veicoli attraverso il prelievo totale: i moltiplicatori coincidono

La frontiera spesa-nervosismo



- Con 1,15 € in più la somma dei salti al quadrato scende da 7.268 a 1.563

Esercizi

Esercizi

1. **A mano**: esempio con $\gamma = 0{,}05$
2. **Verifica**: moltiplicatore di V3 con $\gamma = 0{,}001$
3. **Solo la ricarica**: penalizzare i salti di $\sum_v x_{vt}$
4. **Penalità sulla potenza**: $\gamma \sum_t z_t^2$, $\gamma = 0{,}001$
5. **Contatore**: $k = 70$ kW con $\gamma = 0{,}001$

Riepilogo

- Il termine quadratico penalizza ogni variazione, non solo il picco
- Il kWh marginale si divide fra le ore: nell'esempio costa la media dei prezzi
- Nel QP i moltiplicatori dei veicoli coincidono
- La frontiera è ripida all'inizio: i primi addolcimenti costano poco