



# Fisica - Lezione 4

*Energia (continua)*

Maurizio Tomasi ([maurizio.tomasi@unimi.it](mailto:maurizio.tomasi@unimi.it))

Lunedì 27 ottobre 2025



# Introduzione all'argomento di oggi

- Oggi completeremo la trattazione del lavoro e dell'energia
- Introdurremo il concetto di “potenza”
- Vedremo come si produce oggi energia per il consumo casalingo ed industriale



# Inquisitori accademici onorari



# Lavoro ed energia

- L'energia è **la capacità di un corpo di compiere lavoro**, ossia di esercitare una forza  $F$  in grado di spostare un corpo di  $\Delta x$
- Ad esempio, l'energia gravitazionale è ciò che rende possibile lo spostamento di un corpo che cade, compiendo lavoro nel farlo accelerare verso il basso
- Oltre all'energia gravitazionale ci sono altri tipi, e tutti sono associati a qualche tipo di forza
- Vediamo i più importanti



# Energia cinetica

- È l'energia che ha un corpo per il fatto stesso di muoversi:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2.$$

- Se un corpo in movimento ne urta uno fermo, quest'ultimo si muove: è stato compiuto lavoro.
- **Attenzione:** un corpo che si muove di moto rettilineo uniforme non compie lavoro!





# Esempio

- Una palla da bowling da 7 kg viene lanciata e si muove a 1 m/s
- La sua energia cinetica iniziale è

$$E_c^{(i)} = 0 \text{ J}$$

- Quella finale è

$$E_c^{(f)} = \frac{1}{2} \times 7 \text{ kg} \times (1 \text{ m/s})^2 = 3,5 \text{ J}$$

- Di conseguenza, il giocatore ha compiuto un lavoro uguale a 3,5 J.



# Energia potenziale gravitazionale

- La forza di gravità sposta i corpi verso il basso
- Se un corpo sta in alto, ha quindi **energia potenziale gravitazionale**, che per un corpo ad un'altezza  $h$  è

$$E_g = mgh$$





# Esempio

- Un corpo di 1 kg (ad esempio una bottiglia di latte) cade da un'altezza di 10 m. La sua energia cinetica iniziale è zero, e quella potenziale è

$$E_g^{(i)} = 1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 10 \text{ m} = 100 \text{ J}$$

- Quando arriva a terra, tutta l'energia potenziale è diventata cinetica:

$$E_c^{(f)} = E_g^{(i)} = 100 \text{ J}$$

- Questo avviene perché ha acquisito velocità:

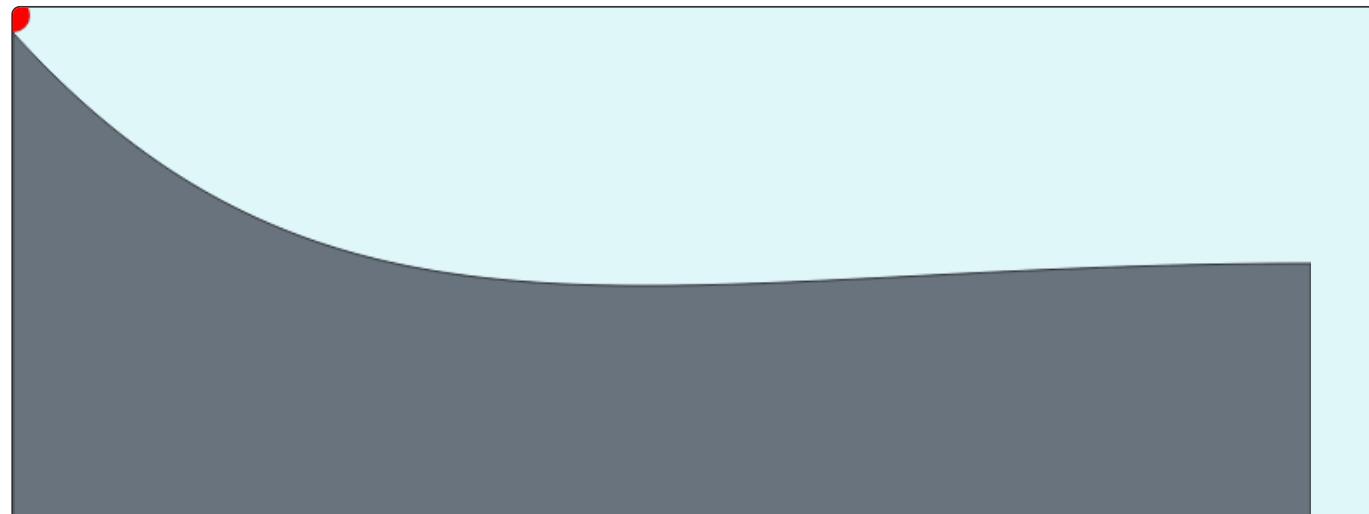
$$100 \text{ J} = \frac{1}{2} m v^2 \quad \Rightarrow \quad v = 14 \text{ m/s.}$$



Profondità della buca:

Altezza del tratto piano:

Avvia Simulazione



#### Conservazione dell'Energia (Cinetica + Potenziale)

Giallo: Cinetica ( $E_c$ ) | Azzurro: Energia potenziale gravitazionale ( $E_g$ )

#### Modulo della Velocità (V)



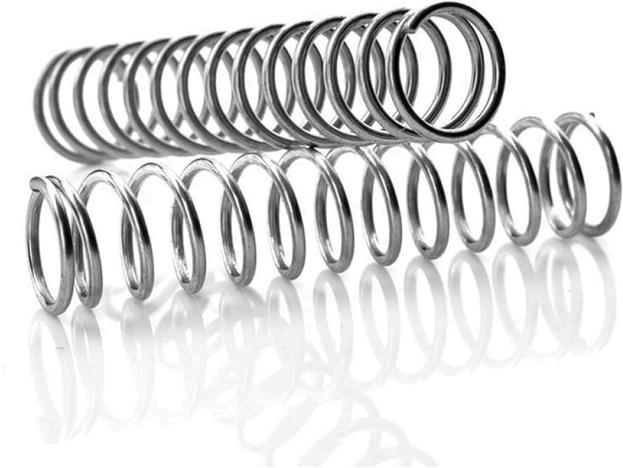
# Energia elastica

- Una molla compressa o allungata di  $\Delta x$  ha la capacità di tornare alla sua posizione originaria:

$$E_e = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2,$$

dove  $k$  è una costante che dice quanto è “dura” una molla

- La molla ha quindi la capacità di compiere lavoro: basta immaginare di attaccare alla sua estremità un corpo





# Esempio

- Una molla con  $k = 10 \text{ N/m}$  viene compressa di 1 cm.
- Nel momento in cui viene rilasciata, l'energia cinetica è nulla, e quella elastica è

$$E_e^{(i)} = \frac{1}{2} \times 10 \text{ N/m} \times (0.01 \text{ m})^2 = 0,0005 \text{ J} = 0,5 \text{ mJ.}$$

- L'energia cinetica della sua estremità, quando torna alla posizione di riposo, è

$$E_c^{(f)} = E_e^{(i)} = 0,5 \text{ mJ.}$$

- Avendo energia cinetica, ha velocità non nulla e quindi inerzia: anziché fermarsi alla posizione di riposo, prosegue dando moto ad un fenomeno oscillatorio



# Energia chimica

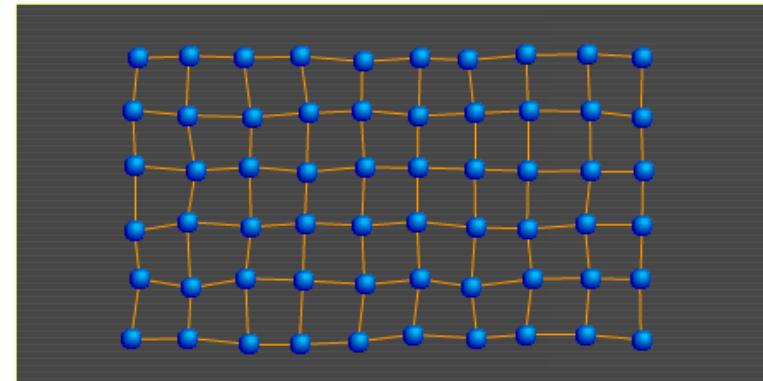
- Le molecole che formano i corpi sono tenute insieme da legami chimici, dovuti a forze elettromagnetiche
- Queste forze agiscono più o meno come molle: impediscono che le molecole si allontanino o si avvicinino troppo
- In una reazione chimica, i legami (le “molle”) si rompono o se ne formano di nuovi. Questo cambiamento porta a un rilascio di energia, oppure a un suo assorbimento





# Energia termica (calore)

- Le molecole dei corpi vibrano continuamente, e la vibrazione è maggiore nei corpi caldi (nei liquidi e nei gas, oltre alla vibrazione sono presenti anche moti rotatori e spostamenti)
- Le vibrazioni sono governate dalle stesse forze molecolari ed atomiche che abbiamo nominato per l'energia chimica
- Ad un corpo è associata quindi una certa **energia termica**, che è una forma di energia elastica/cinetica “disordinata”





# Energia elettrica

- Le cariche elettriche si attraggono e si respingono tra loro
- Il movimento delle cariche elettriche è ciò che trasferisce energia (la “corrente elettrica” non è altro che il moto di cariche elettriche)
- È una forma di energia molto conveniente, perché è estremamente semplice convertirla in altre forme di energia e trasportarla (almeno su distanze non esagerate!)





# Energia sonora

- È l'energia che ci interessa di più!
- In un altoparlante, l'energia elettrica fa vibrare una membrana che fa vibrare l'aria attorno ad essa: questa vibrazione produce un “effetto domino” che fa propagare il suono nell'aria anche a grandi distanze
- Si tratta di energia cinetica: molecole d'aria che si muovono, più o meno come nel caso del calore. Però in questo caso il moto è **ordinato**: sono onde di pressione, che vedremo meglio in seguito





# Esempi della vita reale



# La lavatrice

- La lavatrice consuma energia elettrica
- Converte l'energia elettrica in:

**Energia termica**

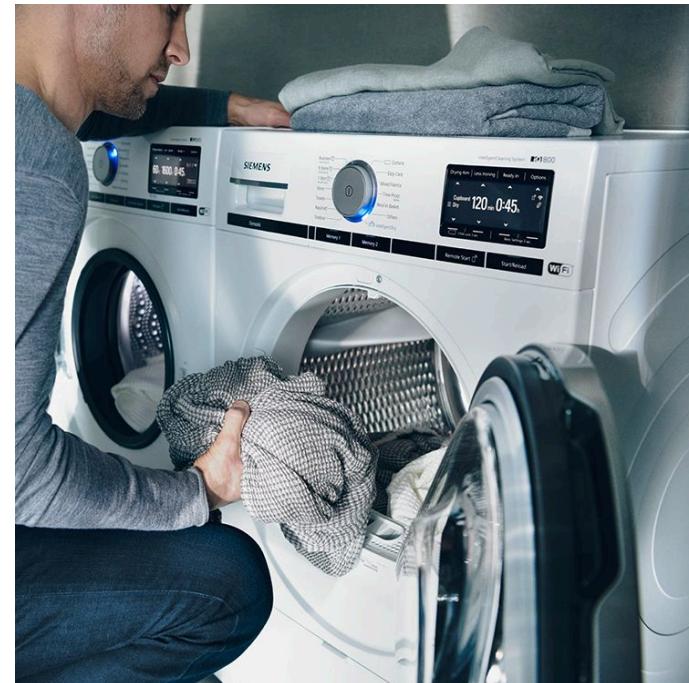
Riscalda l'acqua

**Energia cinetica**

Fa girare il cestello

**Energia sonora**

È il suono che fa quando il programma è  
terminato





# Piatto che si rompe

- Il piatto nella credenza ha energia potenziale gravitazionale  $E_g$
- Durante la caduta converte l'energia potenziale in energia cinetica  $E_c$
- Al momento dell'urto, parte dell'energia diventa termica, parte sonora, e parte resta cinetica (nei frammenti)





# Colpo di tennis

- Una pallina da tennis raggiunge il giocatore con una certa velocità: ha quindi energia cinetica
- Il moto della racchetta trasferisce l'energia cinetica del braccio alla pallina
- Parte dell'energia viene usata per creare il rumore e per la deformazione delle corde e della pallina





# Frenata di un'auto

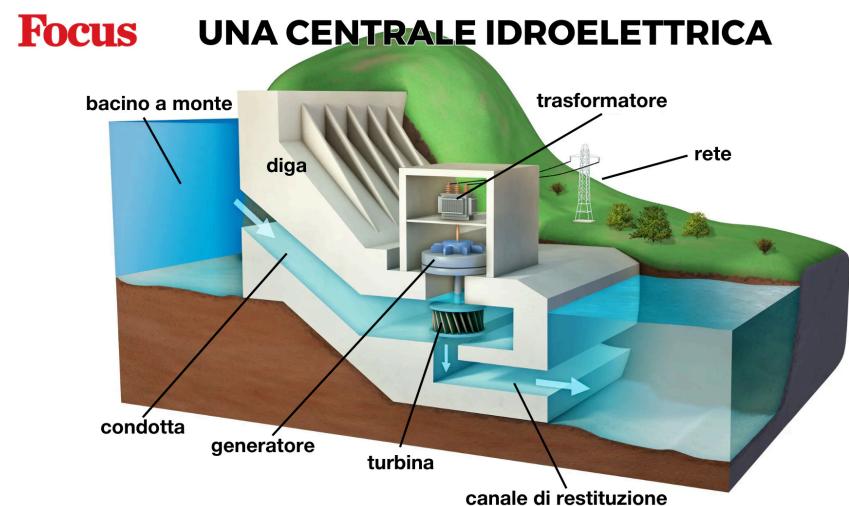
- L'automobile ha una certa energia cinetica
- Il piede muove il pedale (energia cinetica), che stringe le ganasce dei freni
- Le ganasce producono attrito, ossia calore che scalda i freni e l'aria, e rumore (energia sonora)
- Se i freni sono rigenerativi, una dinamo converte parte dell'energia cinetica dell'automobile in elettricità, che viene convertita dalla batteria in energia chimica





# Diga idroelettrica

- Come nel caso dei piatti, l'acqua converte energia potenziale gravitazionale  $E_g$  in energia cinetica
- Questa si trasmette ad una turbina, facendola ruotare
- Una dinamo converte l'energia cinetica (rotatoria) della turbina in energia elettrica





# Analogia col denaro

- Dagli esempi fatti, si capisce che l'energia può essere paragonata a un tipo di denaro che non si può creare né distruggere, e non si svaluta mai
- Come il denaro può essere convertito (contanti, somma in banca, lingotti d'oro), così anche l'energia si può convertire
- Il “bilancio” dell'energia è sempre perfetto: se scompaiono  $x$  Joule di energia da una parte, devono comparirne  $x$  da un'altra.





# Energia e potenza



# Il concetto di “potenza”

- Abbiamo visto che l'energia è fondamentale per tutti i processi fisici e biologici
- È però anche importante la **velocità** con cui l'energia viene convertita
- La **potenza**  $P$  è il rapporto tra una quantità di energia  $E$  e il tempo necessario per “produrla” o “consumarla”:

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$



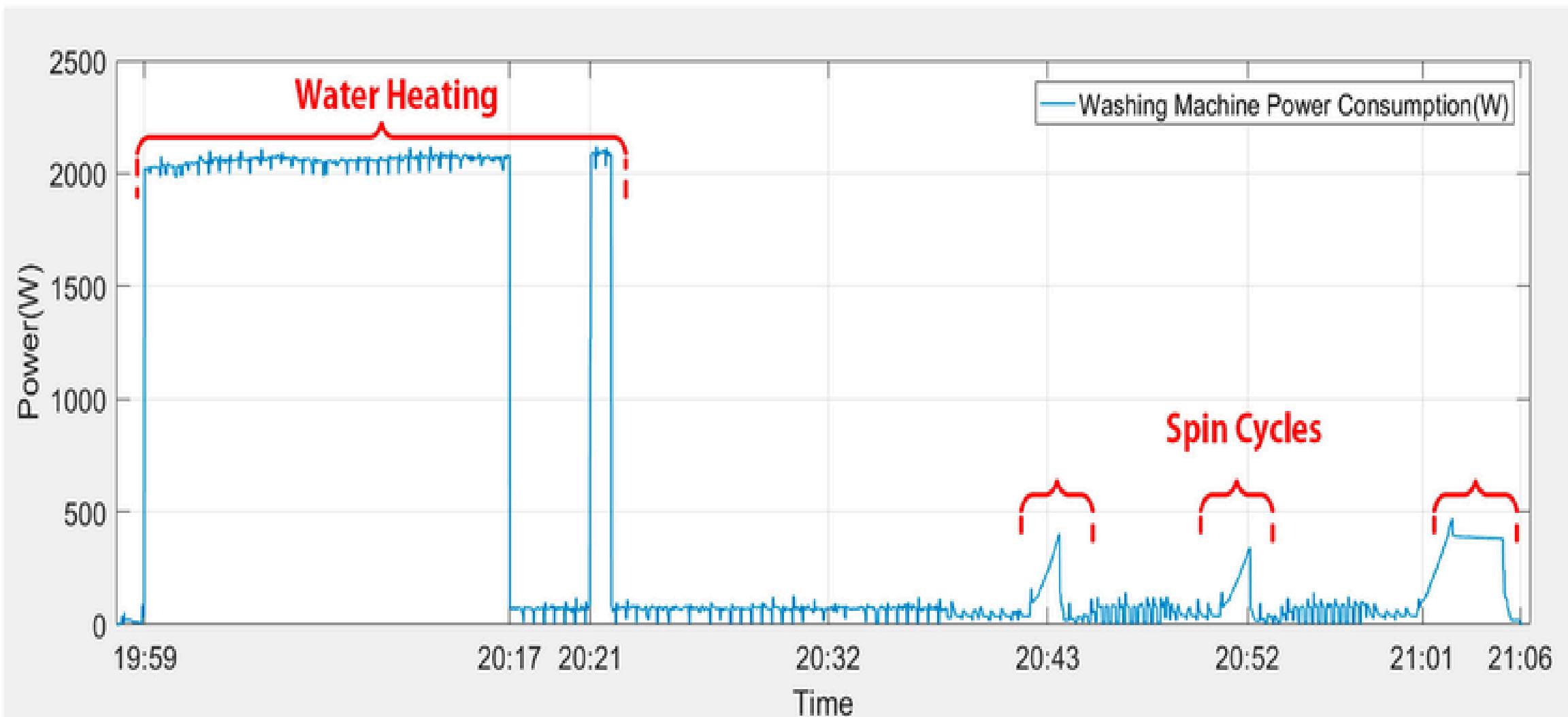
# Unità di misura

- La potenza è una energia sul tempo, quindi la sua unità naturale è il Joule sul secondo. Questo è il Watt, che si abbrevia con W:

$$1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}.$$

- Il Watt è un'unità di misura molto comune!







# Da potenza a energia

- Conoscendo l'andamento della potenza consumata, si può stimare il consumo di energia
- Ad esempio, nel grafico precedente la lavatrice ha consumato:
  - circa 2000 W per una ventina di minuti (riscaldamento, che rappresenta il grosso del consumo)
  - circa 400 W negli ultimi 5 minuti (centrifuga)
  - circa 100 W nei restanti ~40 minuti
- Calcoliamo quanta energia è stata consumata dalla lavatrice



- Se la potenza è il rapporto tra energia e tempo, allora l'energia è la potenza per il tempo:

$$2.000 \text{ W} \times 1.200 \text{ s} = 2.400.000 \text{ J} = 2.400 \text{ kJ}$$

$$400 \text{ W} \times 300 \text{ s} = 120.000 \text{ J} = 150 \text{ kJ}$$

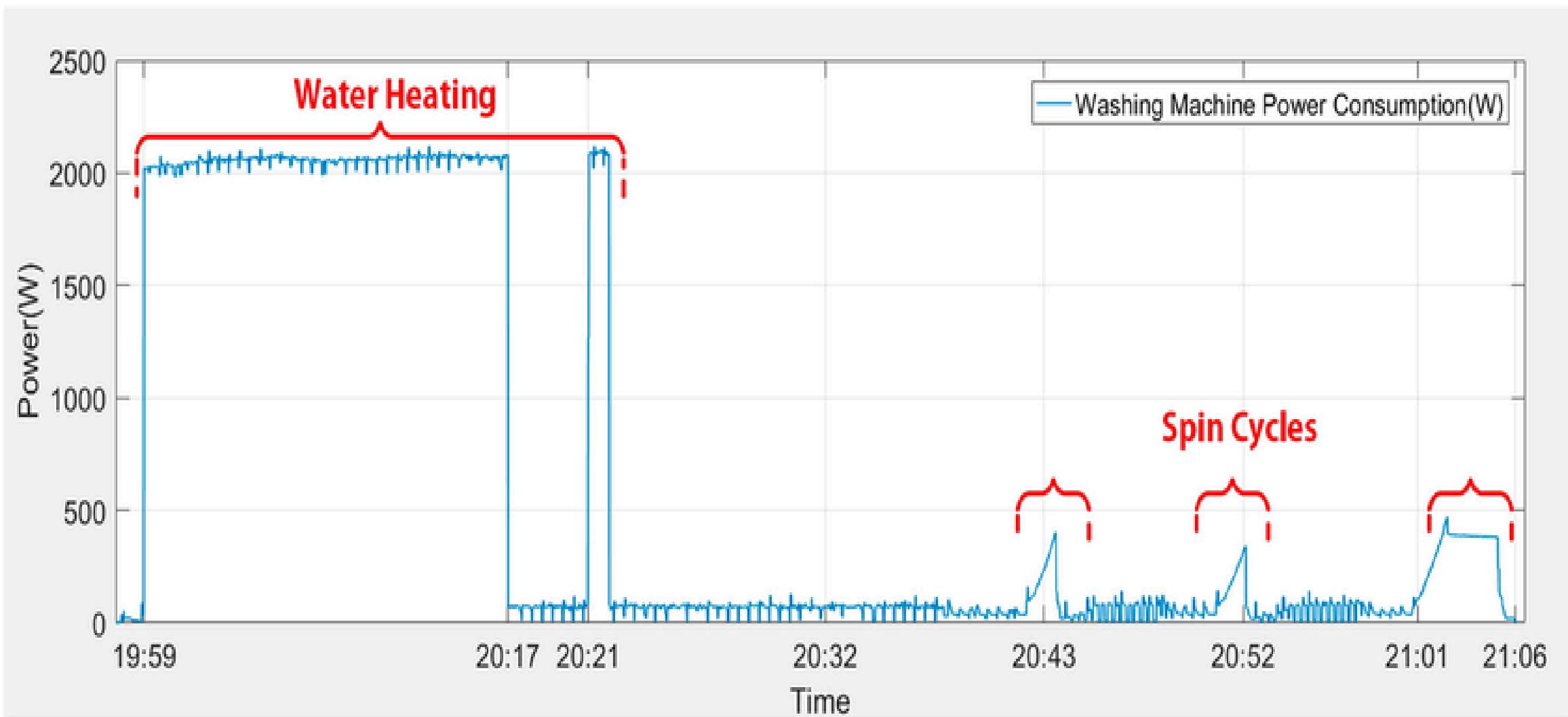
$$100 \text{ W} \times 2.400 \text{ s} = 240.000 \text{ J} = 270 \text{ kJ}$$

- In totale, la lavatrice ha quindi consumato

$$2.400 \text{ kJ} + 120 \text{ kJ} + 240 \text{ kJ} = 2.760 \text{ kJ} \approx 2,8 \text{ MJ},$$

che è circa 0,8 kWh (ricordate che 1 kWh = 3,6 MJ = 3.600 kJ).

- Siamo confidenti del risultato?





# Rifacciamo i conti!

- Guardando attentamente il grafico, è chiaro che abbiamo usato dati approssimativi, e quindi il risultato **esatto** sarà un po' diverso dal nostro. Ma quanto?
- Cerchiamo di stimare non solo i valori della potenza (asse y) e del tempo (asse x), ma anche degli errori approssimativi:
  - $2050 \pm 50$  W per circa  $18 \pm 1$  minuti (riscaldamento)
  - $450 \pm 25$  W negli ultimi  $5 \pm 1$  minuti (centrifuga)
  - $75 \pm 25$  W nei restanti minuti ( $40 \pm 2$ : l'errore è più grande perché ne sono meno sicuri)
- Rifacciamo il calcolo usando la **propagazione degli errori**!



# Da potenza a energia

$$(2050 \pm 50) \text{ W} \times (1080 \pm 60) \text{ s} +$$
$$+(450 \pm 25) \text{ W} \times (300 \pm 60) \text{ s} +$$
$$+(75 \pm 25) \text{ W} \times (2400 \pm 120) \text{ s}$$



# Propagazione errori

- Il conto consiste nella somma di tre termini, e nelle lezioni del dott. Bianchi avete visto che “nella somma gli errori **assoluti** si sommano in quadratura”
- Però ogni termine della somma è il risultato di un prodotto, e “nel prodotto gli errori **relativi** si sommano in quadratura”
- Dobbiamo quindi prima affrontare i tre prodotti



## Il calcolo

$$(2050 \pm 50) \text{ W} \times (1080 \pm 60) \text{ s} = (2.214.000 \pm ?) \text{ J} = (2,214 \pm ?) \text{ MJ}$$

coinvolge due quantità, il cui errore relativo è

$$\frac{50 \text{ W}}{2050 \text{ W}} = 0,024 \text{ (2,4 \%)} , \quad \frac{60 \text{ s}}{1080 \text{ s}} = 0,056 \text{ (5,6 \%)}.$$

L'errore **relativo** è quindi la somma in quadratura:

$$\sqrt{0,024^2 + 0,050^2} = 0,061 \text{ (6,1 \%)}.$$

Il 6,1% di 2,214 MJ è 0,13 MJ, che è l'errore che cerchiamo.



- Applicando i medesimi calcoli agli altri termini, scopriamo che

$$(450 \pm 25) \text{ W} \times (300 \pm 60) \text{ s} = (135 \pm 28) \text{ kJ}$$

$$(75 \pm 25) \text{ W} \times (2640 \pm 60) \text{ s} = (180 \pm 61) \text{ kJ}$$

- La somma è

$$[(2.210 \pm 130) + (135 \pm 28) + (181 \pm 60)] \text{ kJ} = (2.520 \pm 150) \text{ kJ},$$

dove l'errore è dato dalla somma in quadratura:

$$\sqrt{(130 \text{ kJ})^2 + (28 \text{ kJ})^2 + (61 \text{ kJ})^2} = 150 \text{ kJ}.$$



- Abbiamo ottenuto come risultato  $2,52 \pm 0,15$  MJ.
- Col nostro conto originario, molto più semplice, avevamo ottenuto 2,8 MJ.
- I due valori sono **compatibili** solo se ammettiamo che il nostro vecchio valore fosse molto incerto!



# Il Kilowattora

- Possiamo ora comprendere la definizione del **Kilowattora (kWh)**
- Esso è l'energia che si estrae da una potenza di 1 kW (un chilowatt) in un'ora di tempo:

$$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \times 3.600 \text{ s} = 3,6 \text{ MJ}$$

- I fornitori di energia come ENI, Enel, Sorgenia, etc., riportano l'energia consumata in bolletta usando i kWh.

SPESA PER LA MATERIA ENERGIA				Unità di misura
<b>QUOTA FISSA</b>				
Dicembre 2021	€/cliente/mese	3,850200	mesi 1	3,85
Gennaio 2022	€/cliente/mese	3,850200	mesi 1	3,85
<b>QUOTA ENERGIA</b>				
<b>ENERGIA</b>				
In F1 dal 04/11/2021 al 30/11/2021	€/kWh	0,218760	kWh 60	13,13
In F23	€/kWh	0,197480	kWh 129	25,47
In F1 dal 01/12/2021 al 31/12/2021	€/kWh	0,218760	kWh 80	17,50
In F23	€/kWh	0,197480	kWh 147	29,03
In F1 dal 01/01/2022 al 05/01/2022	€/kWh	0,383130	kWh 13	4,98
In F23	€/kWh	0,340210	kWh 25	8,51





# Usare i Kilowattora

- Sebbene i kWh non siano un'unità del SI, sono molto utili!
- Se sapete ad esempio che il vostro frigorifero consuma circa 100 W (complimenti! è **molto efficiente**), allora in un giorno esso consumerà

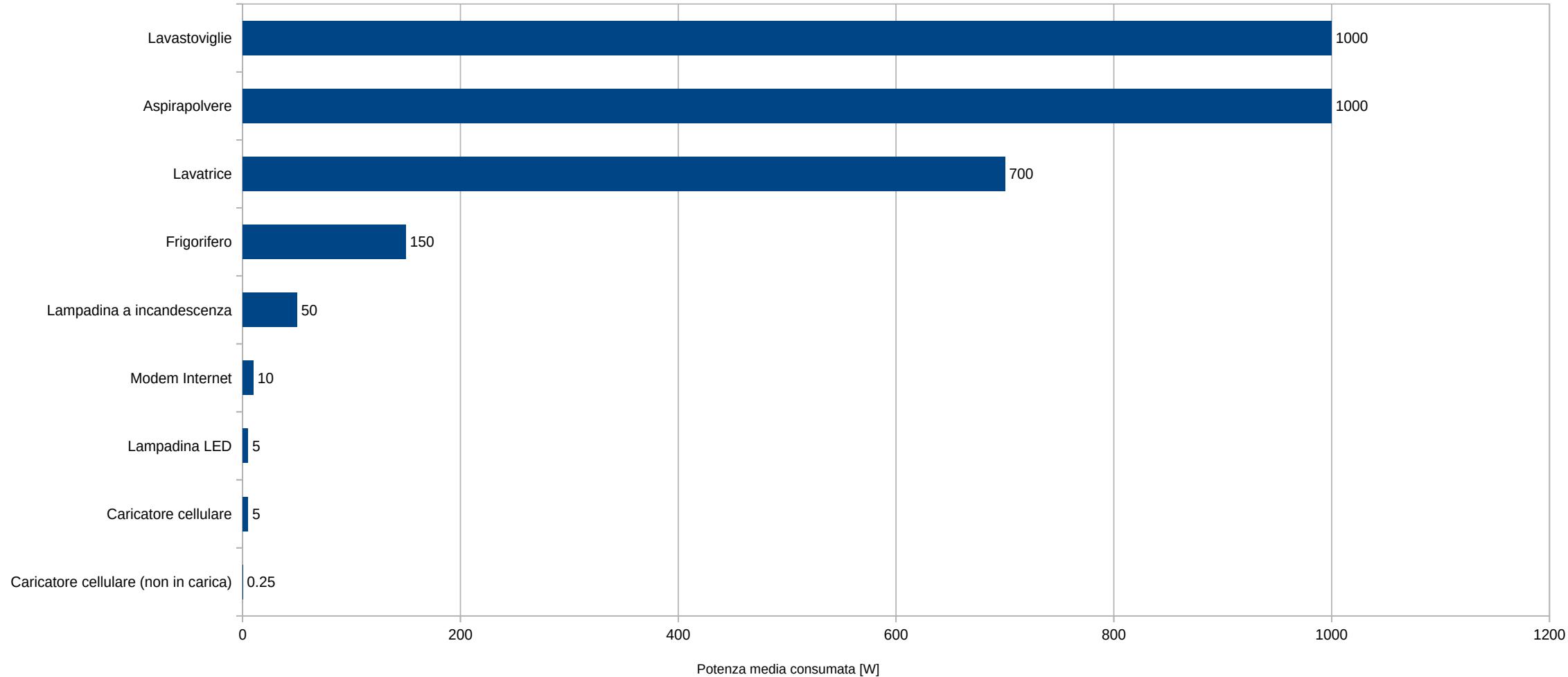
$$100 \text{ W} \times 24 \text{ h} = 2.400 \text{ Wh} = 2,4 \text{ kWh},$$

che corrisponde a una spesa giornaliera di circa 50 centesimi: in un mese il frigo vi costa 15€ in bolletta.

- Per monitorare il consumo degli elettrodomestici, esistono prese intelligenti che misurano la potenza consumata dall'apparecchio a cui sono collegate (cercate su Internet “smart plug” o “presa smart”)



# Esempi di consumo





# “Produzione” di energia



# Energia nelle case

- L'energia nelle case arriva principalmente sotto forma di:
  - Elettricità
  - Gas
  - Biomassa (legna, pellet...)
- In ambito domestico, il gas e la biomassa vengono tipicamente usate solo per produrre calore (fornelli, termosifoni, stufe). Non è però così a livello di produzione nazionale
- L'energia elettrica è estremamente versatile perché è facile trasportarla (su distanze non eccessive) e convertirla in altre forme



# L'energia in Italia

- Nel 2024, in Italia si sono consumati 312 TWh di energia
- Convertiti in Joule, si tratta di un **miliardo di miliardi di Joule**, ossia un milione di TJ
- Come produciamo questa energia?



# Fonti fossili

- Poco più del 40% dell'energia prodotta in Italia viene da fonti fossili: principalmente gas, ma anche carbone:
  - Il gas viene bruciato (producendo CO<sub>2</sub> 😞) per scaldare acqua
  - L'acqua evapora, e il vapore fa girare turbine
  - Alle turbine è collegata una dinamo, che produce energia elettrica
- Esistono ancora 4 centrali a carbone in Italia: 2 sono sul punto di essere chiuse, mentre per le altre 2 (entrambe in Sardegna) è stata **posticipata la chiusura al 2029**



# Fonti rinnovabili

- Un altro 40% proviene da fonti rinnovabili:
  - Centrali idroelettriche
  - Energia solare
  - Pale eoliche
  - Biomasse (le uniche che producono CO<sub>2</sub>)
- Le centrali idroelettriche hanno un rilevante impatto ambientale quando vengono costruite (anche sul medio termine, **a livello di gas serra**)
- La produzione di pannelli fotovoltaici e pale eoliche è **molto inquinante**, ma avviene di solito all'estero



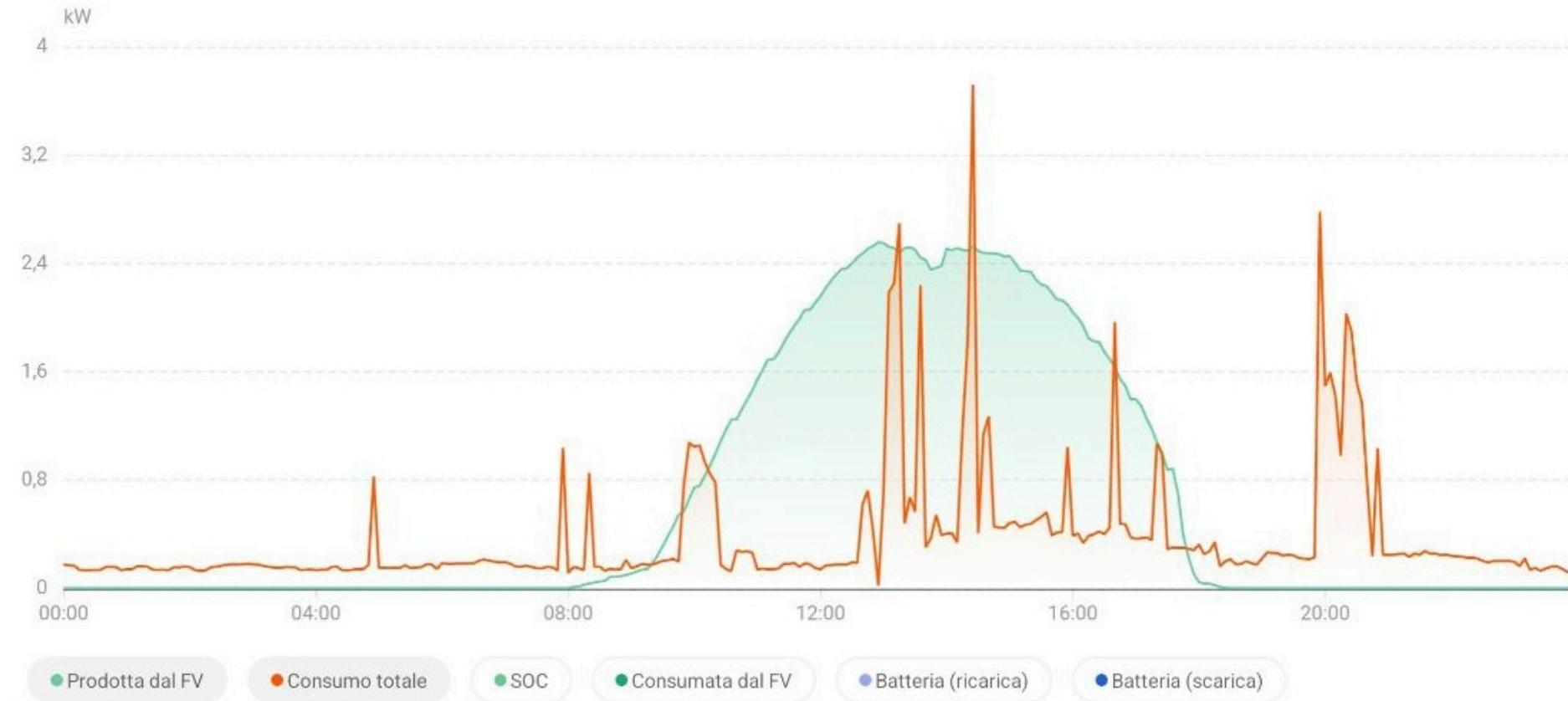
# Acquisti dall'estero

- Oltre al 40% di fonti fossili e al 40% di rinnovabili, il restante 20% è energia elettrica acquistata dall'estero
- Dal momento che l'energia elettrica non può essere trasportata per lunghi tratti, possiamo acquistarla solo da Francia, Svizzera, Slovenia ed Austria
- Oltre ad acquistare elettricità dall'estero, importiamo però anche moltissimo gas: il 95% di quanto consumiamo! Questo è uno dei motivi per cui il costo dell'energia elettrica in Italia è **uno dei più cari in Europa**

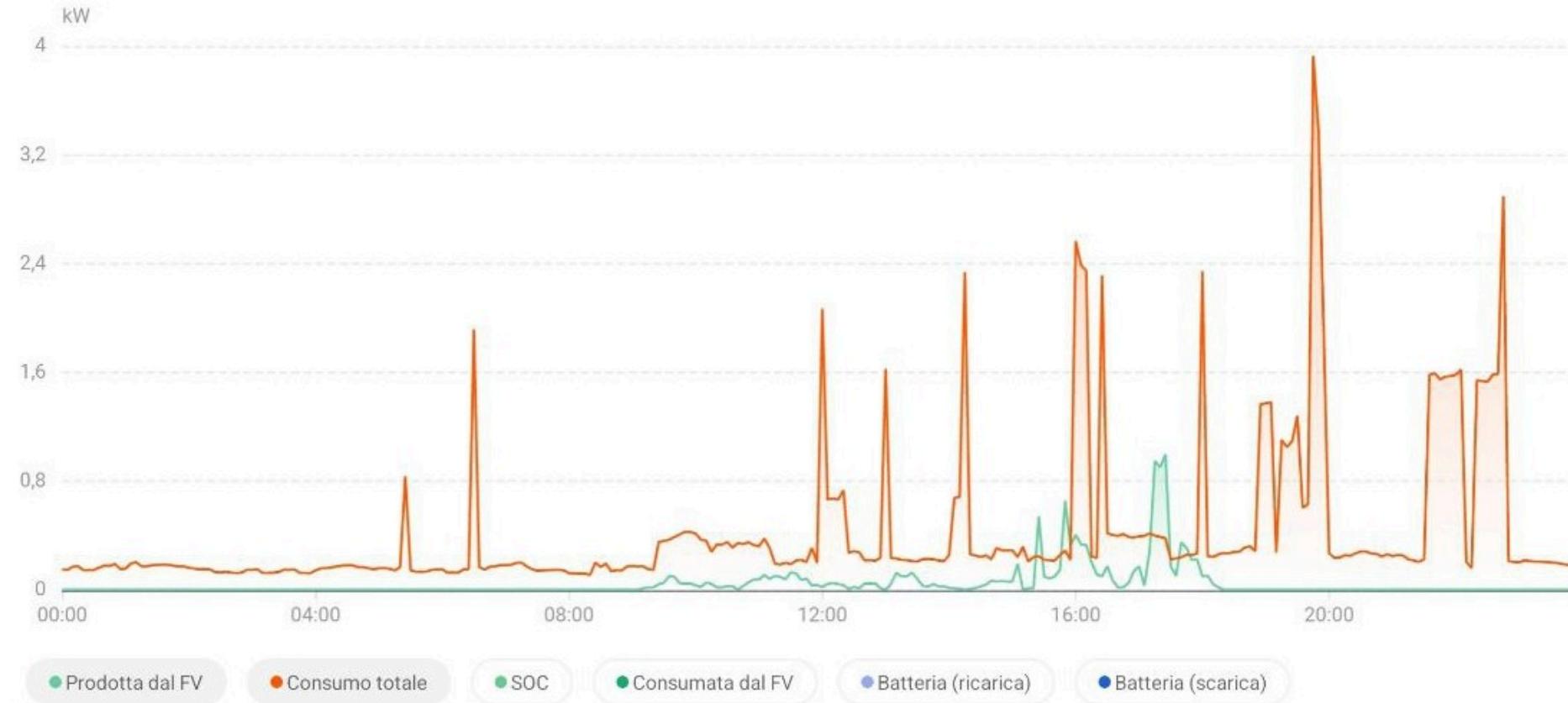


# Requisiti

- Qualsiasi sistema di distribuzione elettrica deve garantire un flusso di energia costante: non è possibile produrre meno di quanto serve (ovvio!), ma neanche di più (meno ovvio!)
- Questo è problematico soprattutto per l'energia solare ed eolica! A queste fonti variabili deve quindi sempre essere associata una o più centrali di “emergenza” (gas, carbone, nucleare)
- Una possibile soluzione sarebbe l'uso di **sistemi di accumulo** (ad es., batterie), che immagazzinino l'energia quando è abbondante e la distribuiscano nei periodi di bisogno.



Produzione (da pannelli fotovoltaici) e consumo di energia in una giornata di sole (venerdì 24 ottobre 2025). I pannelli hanno prodotto 14,61 kWh; 6,74 ne sono stati consumati, e 1,88 sono stati immessi dalla rete per un consumo totale di 8,62 kWh.



Produzione (da pannelli fotovoltaici) e consumo di energia in una giornata di pioggia (giovedì 24 ottobre 2025). I pannelli hanno prodotto 0,68 kWh; sono stati quasi tutti auto-consumati, e ne sono stati importati 9,69 dalla rete.



# Tipi di accumulatori

- Batterie dei cellulari e dei dispositivi elettronici: 0,01 kWh
- Batterie per la casa: 10–80 kWh
- Batterie per le automobili elettriche: 20–120 kWh
- Grandi batterie: fino a 2.000 kWh ([Moss Landing Power Plant](#), California)

Per avere un sistema di accumulo come quello Californiano ma capace di garantire all’Italia una potenza di 50 GW per 4 ore ci vorrebbero 2.500 G€, che è più del doppio del PIL nazionale (la manovra finanziaria 2025 è di 18 G€).



# Conclusioni



# Cosa sapere per l'esame

- Cos'è l'energia
- Tipi di energia
- Tutti gli esempi sull'energia visti in classe (lavatrice, piatto che si rompe...)
- Potenza, W e kWh