



La gestione dell'energia negli allevamenti delle bovine da latte

Antonio Pazzona
Dipartimento Ingegneria del Territorio
Università degli Studi di Sassari

Obiettivi dell'UE per il 2020 per l'energia

- almeno il 20% dell'energia primaria dovrà essere prodotta con fonti rinnovabili
- le emissioni di CO₂ in atmosfera dovranno essere ridotte del 20%
- 20% è il risparmio di energia che si intende ottenere soprattutto attraverso un ampio recupero di efficienza energetica

Premessa

Caratteristiche dell'energia solare

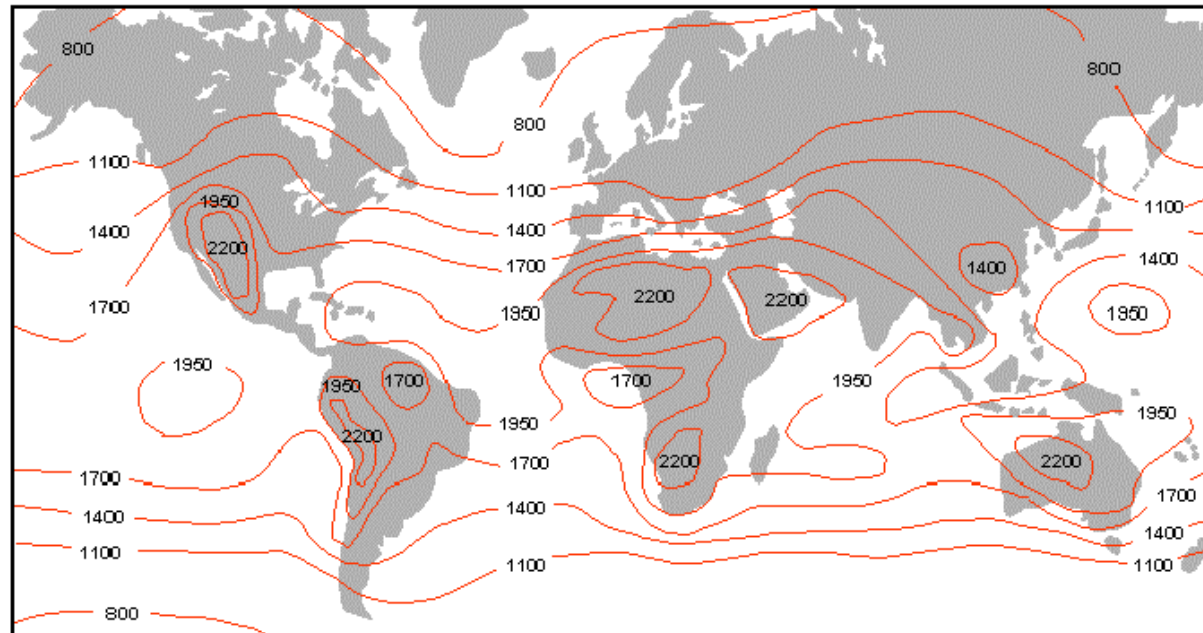


Figura 7 - Radiazione globale media su superfici orizzontali in kWh/m² anno

l'intensità dell'energia solare dipende dalla latitudine

ITALIA 1.400 kWh/m² anno, ovvero a **13,8 MJ/m² giorno**

Premessa

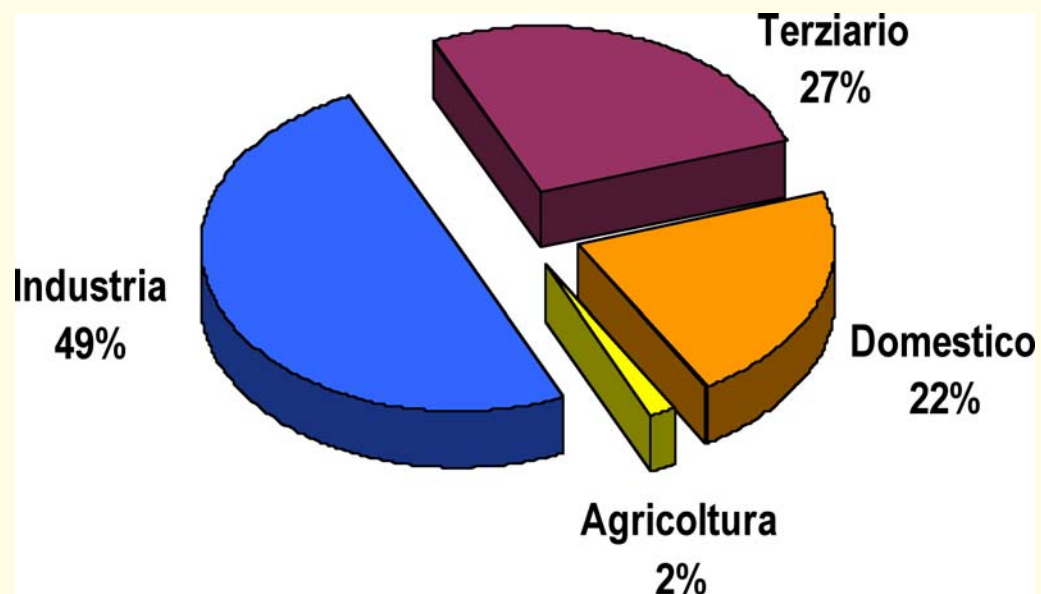
Radiazione solare sul piano orizzontale (MJ/m²giorno)

Località	Gen Feb	Mar Apr	Mag Giu	Lug Ago	Set Ott	Nov Dic
Bolzano	5,5	11,9	16,8	16,3	10,0	13,8
Milano	4,4	11,4	17,0	16,6	9,3	2,9
Bologna	15,8	13,0	19,0	19,2	10,3	3,9
Roma	7,2	14,1	20,8	20,9	12,7	5,5
Napoli	5,9	13,6	19,6	17,6	11,0	4,8
Cagliari	7,7	14,3	20,0	20,5	13,0	5,9
Trapani	7,9	14,4	20,1	20,3	13,2	7,0

Premessa

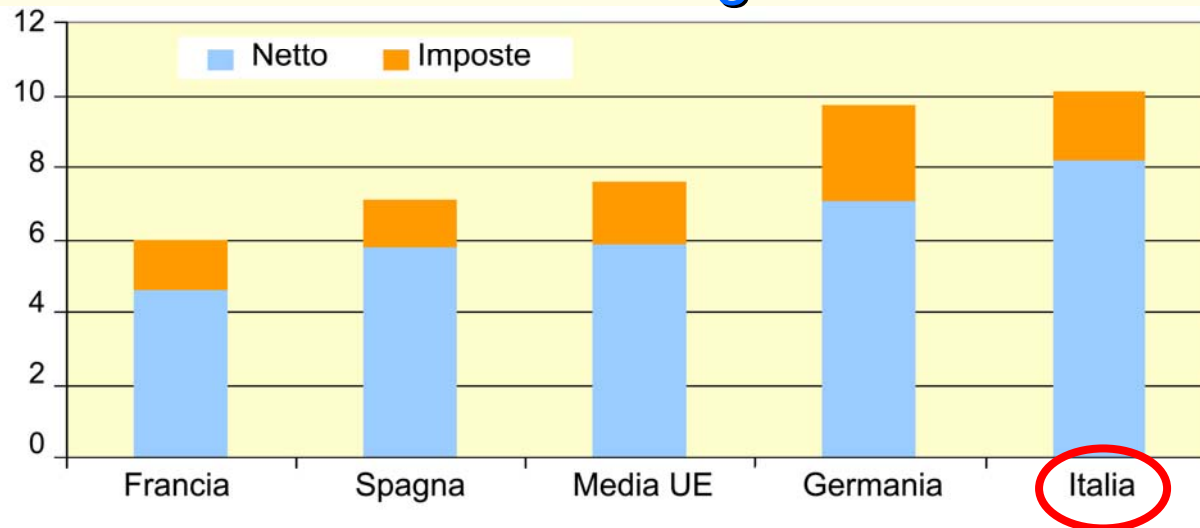
Consumi elettrici nazionali (milioni di kWh -
anno 2005)

SETTORE DI ATTIVITÀ				
Agricoltura	Industria	Terziario	Domestico	Totale
5.364,4	153.726,8	83.793,0	66.932,5	309.816,8



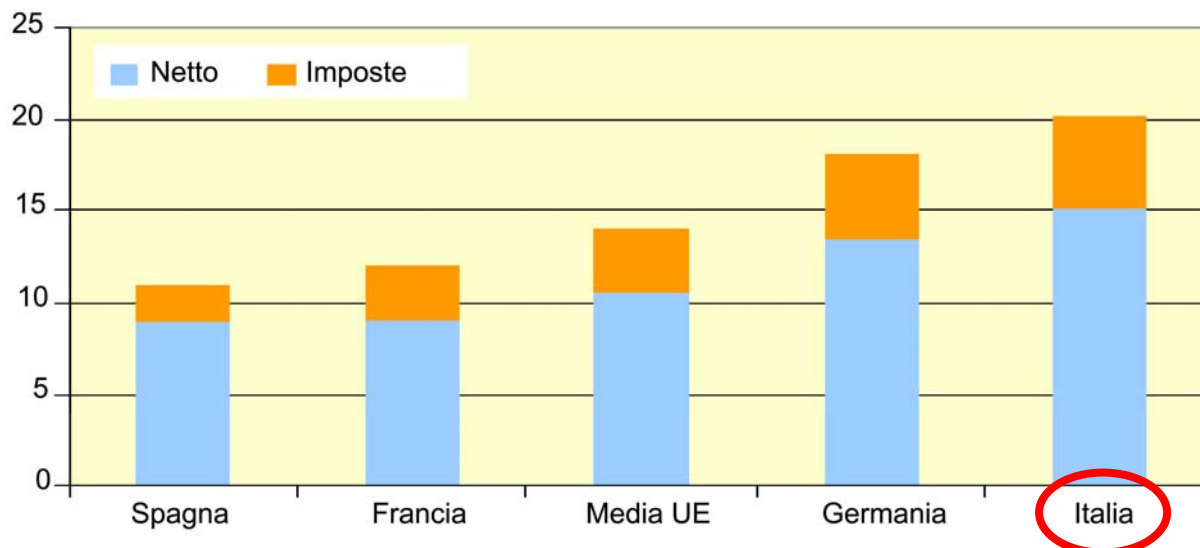
Premessa

Tariffe dell'energia elettrica



UtENZE industriali
nella fascia di 24
GWh/anno

(€cent/kWh)



UtENZE domestiche
nella fascia di
3.500 kWh/anno

(€cent/kWh)

Il quadro di riferimento del settore agro-zootecnico

- ❖ L'11% degli usi finali di energia in agricoltura è dovuto all'elettricità
- ❖ Costi dell'energia crescenti: prezzo dell'elettricità + 15% (2004-07)
- ❖ Intensificazione dell'uso dell'energia nell'allevamento zootecnico:
+ dimensioni, + meccanizzazione
- ❖ Aumento dei costi di produzione del latte (2004-06):
energia + acqua = + 13%

Valutare l'intensità energetica del processo di produzione del latte bovino

- 1) Quantificare la richiesta di energia elettrica: kWh/vacca; kWh/litro latte
- 2) Valutare i costi di produzione del latte imputabili alla voce energia
- 3) Identificare i punti critici nella gestione dell'energia: tecnologie, contratti di fornitura, processi
- 4) Individuare le migliori strategie per il risparmio energetico

1^a Indagine: parametri rilevati

- ❑ 10 aziende bovine da latte di razza frisona
 - Dimensione mandria: da 80 a 120 vacche lattazione
 - Produzione latte: 8.500-13.000 litri/anno

- ❑ Ricognizione delle utenze elettriche

- ❑ Consumi annui energia elettrica (bollette)
 - da 25.550 a 71.600 kWh/anno

- ❑ Consumi per operazione: mungitura, refrigerazione, trattamento liquami, illuminazione, ventilazione

Indice di Utilizzazione dell'Energia (EUI)



EUI= 450 kWh/vacca.anno
(min 360 - max 591)

Letteratura 290-580



EUI= 4,5 kWh/100 kg latte
(min 3,5 - max 5,7)

Costi = 0,77 €100 kg latte
(min 0,58 - max 0,98)

Costi dell'energia

- Prezzo elettricità:

0,172 €/kWh (range 0,162÷0,176)

- Richiesta energetica per vacca in lattazione:

1,23 kWh/giorno → 0,21 €/giorno

(Letteratura 290-580 kWh/giorno)

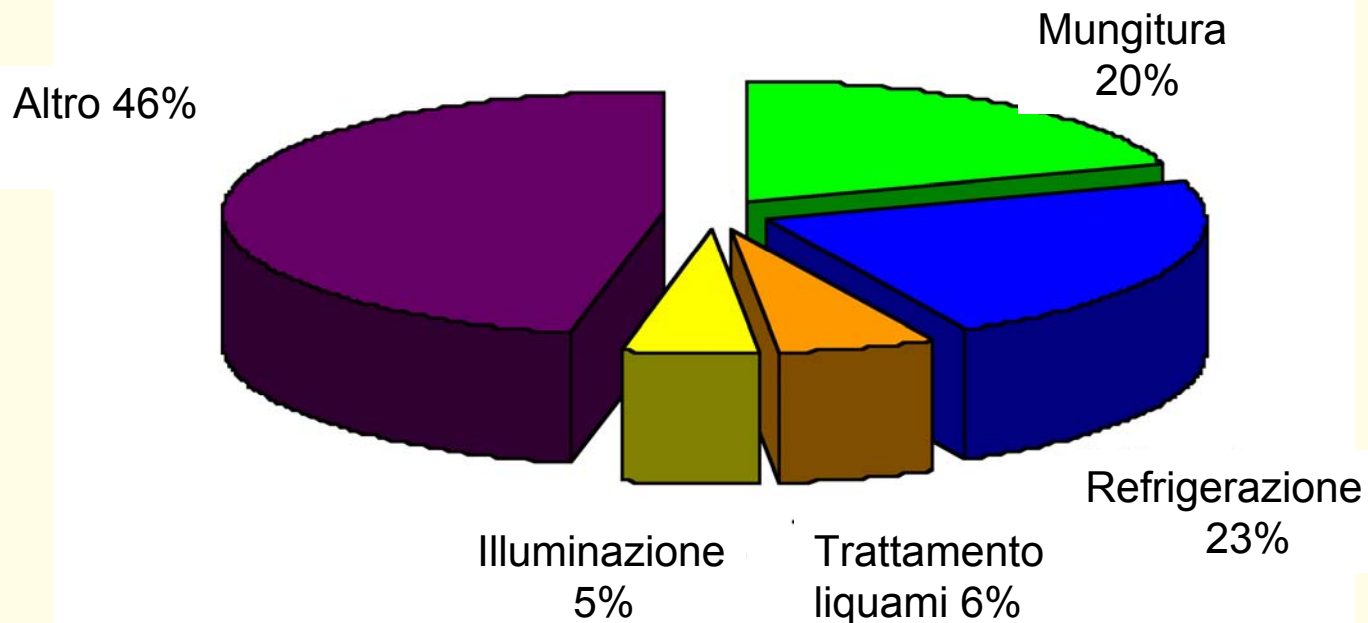
- Richiesta energetica riferita al latte prodotto:

4,5 kWh/100 kg → 0,77 €/100 kg

- l'elettricità incide per il **2 % sul ricavo lordo**

(prezzo medio latte: **0,38 €/kg**)

Utilizzi dell'energia elettrica



Consumi di stalla **54 % del totale aziendale**

Refrigerazione e mungitura **43 %**

Richiesta energetica per la produzione di acqua calda



Lavaggio mungitrice: 120 litri/giorno a 65°C
acqua di rete 15 °C
43.000 litri/anno

$$RE_t = m \cdot c_s \cdot \Delta_t = \text{kJ/giorno}$$

$$RE_t = 120 \text{ kg} \cdot 4,186 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \cdot 50^\circ\text{C} = 25.000 \text{ kJ/giorno}$$

$$\rightarrow 3.600 \text{ kJ} = 1 \text{ kWh}$$

$$25.000/3.600 = 7 \text{ kWh termici/giorno}$$

Produzione di acqua calda

1) Scalda acqua elettrico

$$\eta_{sa} = Q_{et} / Q_{el} = 0,9$$

$$E_{el} = 7 / 0,9 = \mathbf{7,78 \text{ kWh elettrici}}$$

Conversione termoelettrica

$$\eta_{el} = 0,37 \quad \rightarrow \mathbf{1 \text{ kWh} = 2,7 \text{ kWh}}$$

Fabbisogno Energia Primaria

$$E_p = 7,78 / 0,37 = \mathbf{21,0 \text{ kWh/giorno}}$$

$$= 7.660 \text{ kWh/anno}$$

\rightarrow *Con integrazione solare per il 65% dei fabbisogni termici*

$$E_p = 21,0 * 0,35 = \mathbf{7,35 \text{ kWh/giorno}}$$

$$= 2.680 \text{ kWh/anno}$$

Produzione di acqua calda

1) Caldaia gas metano

$$\eta_{sa} = Q_{et} / Q_{el} = 0,8$$

Consumo Energia Primaria

(en. Elettrica = 20,8 kWh/giorno)

$$\begin{aligned} E_p &= 7 \text{ kWh} / 0,8 = \mathbf{8,75 \text{ kWh/giorno}} \\ &= 3.190 \text{ kWh/anno} \end{aligned}$$

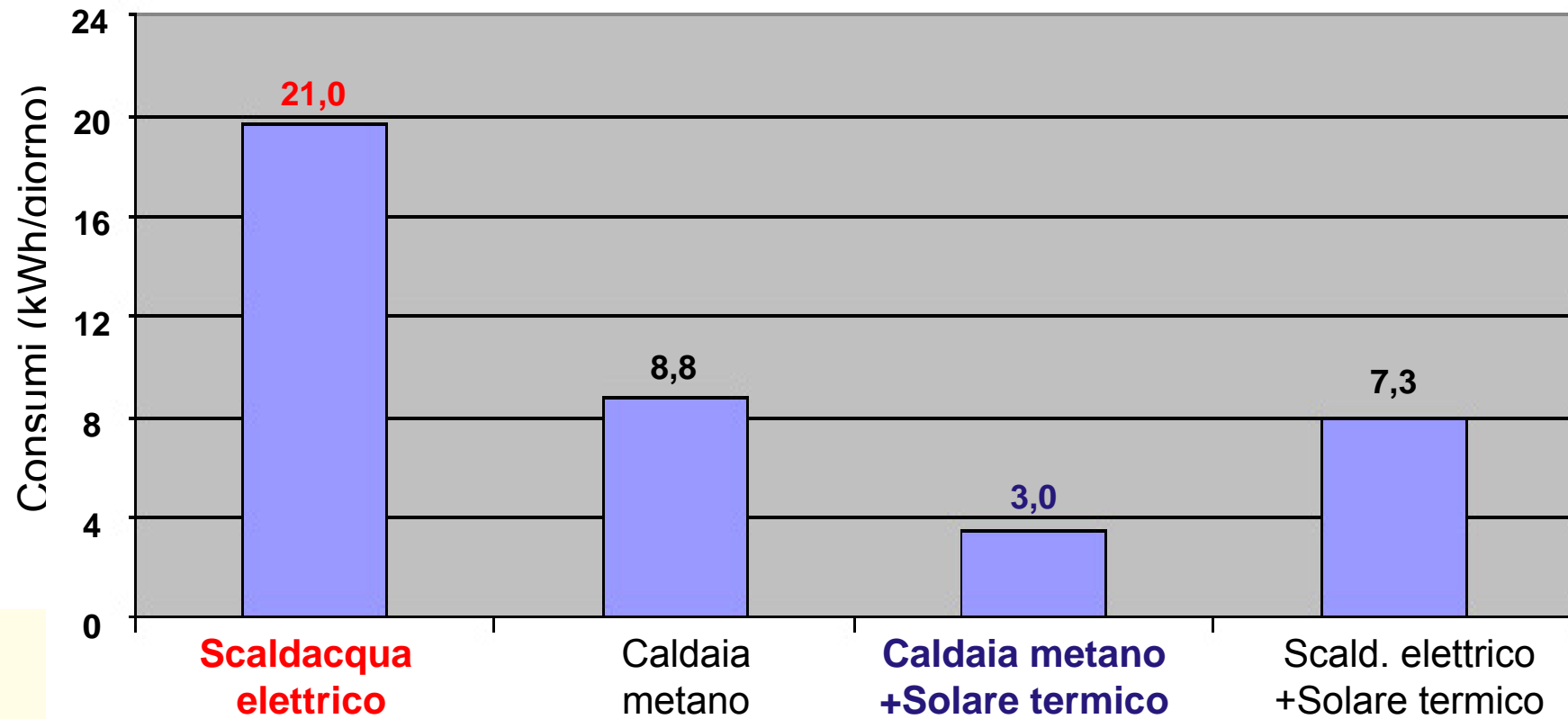
→ Con integrazione solare per il 65% dei fabbisogni termici



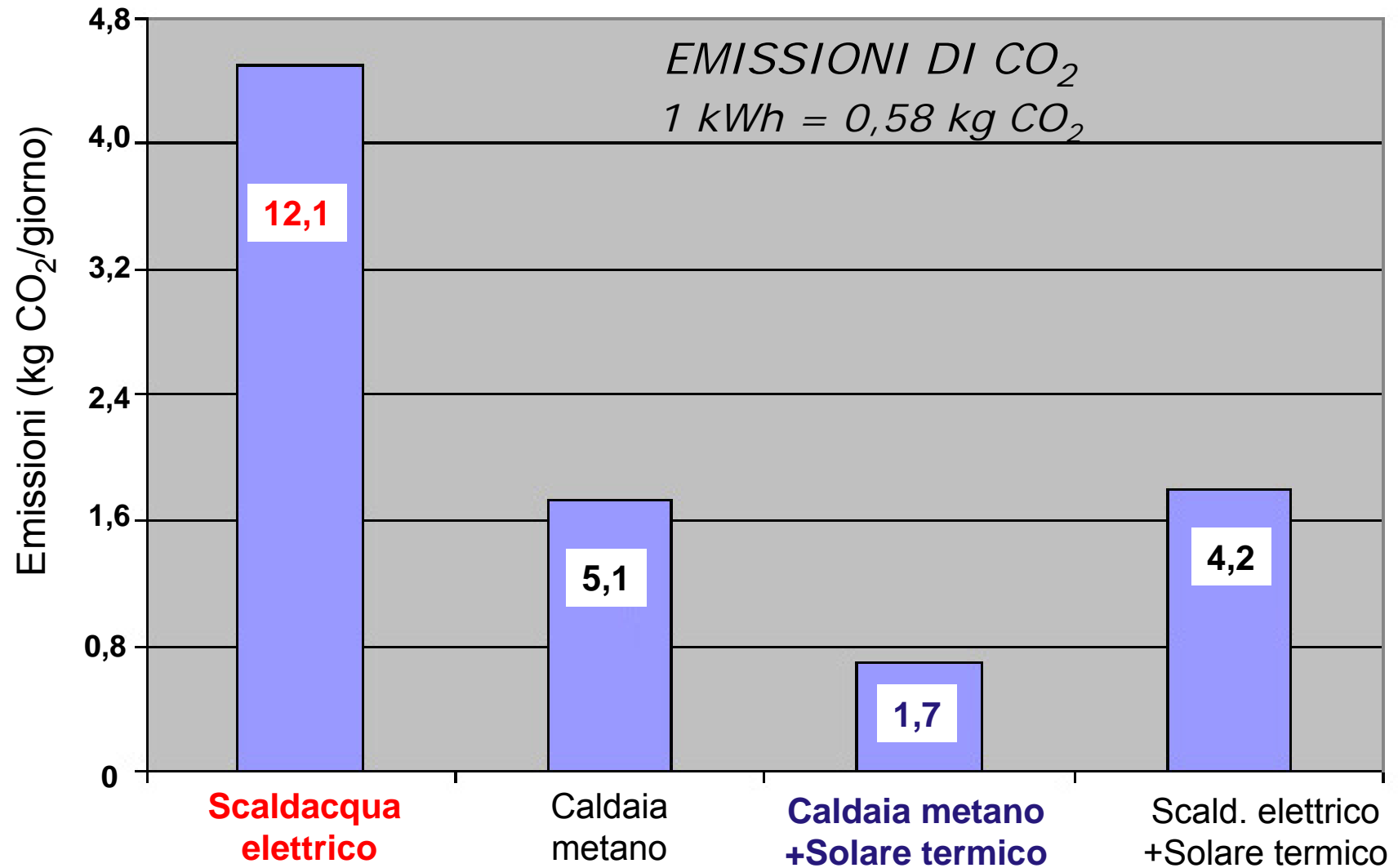
$$\begin{aligned} E_p &= 8,75 * 0,35 = \mathbf{3,06 \text{ kWh/giorno}} \\ &= 1.120 \text{ kWh/anno} \end{aligned}$$

Produzione di acqua calda

CONSUMI DI ENERGIA PRIMARIA



Produzione di acqua calda



Produzione di acqua calda

Utenza 120 l/giorno di acqua a 65°C ($\Delta T=50^\circ\text{C}$)

Risparmio energetico

scaldacqua elettrico → 7,78 kWh elettrici

→ **21,0** kWh EP-energia primaria

caldaia a gasolio

→ **8,8** kWh EP-energia primaria

collettori solari + caldaia a gasolio (copertura solare 65%)

→ **3,1** kWh EP-energia primaria

Benefici economici

scaldacqua elettrico → 510 €/anno

caldaia a gasolio → 380 €/anno

collettori + caldaia → 205 €/anno

Benefici ambientali

elettricità → 0,58 kg CO₂/kWh

gasolio → 0,32 kg CO₂/kWh

collettori + caldaia → 0,09 kg CO₂/kWh

Dimensionamento collettori solari

I dati di progetto sono i seguenti:

- Località: **Roma**
- Periodo d'utilizzo: **gennaio-dicembre**
- Radiazione media del periodo: **$I_{med} = 13,5 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{giorno}$**
- Utenza: **acqua calda usi sanitari e zootecnici**
- Richiesta energetica: **176,7 MJ/giorno**

Collettore:

- Orientamento: **sud-ovest**
- Inclinazione: **25°**
- Rendimento: **0,7**



Copertura RE al 100% con fonte solare

La superficie captante dell'impianto solare si ricava dalla relazione:

$$S = \frac{RE}{I_{min} \cdot \eta_c} = m^2 \quad \text{dove RE è in MJ/giorno e } I_{min} \text{ è la radiazione minima in MJ/m}^2 \text{ giorno}$$
$$S = \frac{176,7}{4,8 \cdot 0,7} = 52,6 m^2 \cdot 1,15 = 60,5 m^2$$

Per tener conto delle perdite del sistema è necessario applicare un **coefficiente di maggiorazione di 1,15** alla superficie dei collettori.

*Nel caso di impianto completamente autonomo è necessario l'accumulo.
Il volume del serbatoio va da **45 a 80 litri/m²** di superficie captante*

Dimensionamento collettori solari

Copertura della RE al 65% con fonte solare

La copertura del 65% della RE con i pannelli solari deve intendersi come valore medio nel corso dell'anno

$$RE = 176,7 \cdot 0,65 = 114,9 \text{ MJ /giorno}$$

$$S = \frac{RE}{I_{med} \cdot \eta_c} = m^2 \quad \text{dove } I_{med} \text{ è la radiazione media in MJ/m}^2 \text{ giorno}$$

$$S = \frac{114,9}{13,5 \cdot 0,7} = 12,2 \text{ m}^2 \cdot 1,15 = 14,0 \text{ m}^2$$

***Copertura della RE al 100% con fonte solare = 60,5 m²
al 65% con fonte solare = 14,0 m²***

2ª Indagine consumi elettrici aziende zootecniche

Consumi elettrici in kWh/anno x capo

Azienda	Consumi totali	Mungitura	Refrigerazione	Acqua calda	Governo	Illuminazione
A 250 capi	411	119 ¹	236 ³	2,8 ⁵	33	20
B 90 capi	602	100	226	225	36	15
C 22 capi	474	87	191 ³	168	--	28
D 20 capi	550	118 ²	228 ⁴	170	--	30

- 1** Motore giostra 34 kWh/anno capo
- 2** sovradimensionamento pompa (+31 kWh/anno capo)
- 3** due serbatoi
- 4** serbatoio 4 mungiture
- 5** recuperatore di calore

Indagine consumi elettrici aziende zootecniche

Confronto costi energetici diverse tecnologie

AZIENDA	richiesta energetica (RE)	scalda acqua elettrico	scalda acqua gasolio	scalda acqua gas metano	pannelli solari copertura RE 100%		sistema integrato			
							pannelli solari RE 65%		gas metano RE 35%	TOTALE
	(kWh/anno)	(\bar{U} /anno)	(\bar{U} /anno)	(\bar{U} /anno)	(m ²)	(\bar{U} /anno)	(m ²)	(\bar{U} /anno)	(\bar{U} /anno)	(\bar{U} /anno)
A*	36500	8111	5075	1971	123	2920	28	730	690	1420
B	17911	3980	2490	967	60	1433	14	358	338	696
C	3286	730	457	177	11	263	3	66	61	127
D	3018	671	420	163	10	157	2	60	58	118

* nell'ipotesi che non si utilizzi il recuperatore di calore presente in azienda

Misure di risparmio energetico

Impianto di Mungitura: Variatore di velocità



Interviene direttamente sul circuito elettrico adattando il regime di rotazione del motore della pompa, in modo da rimuovere la quantità minima di aria necessaria a mantenere il vuoto di lavoro.

Vantaggi:

- riduzione consumi (-56%)
- riduzione rumore

Misure di risparmio energetico

Portata pompa vuoto

Regolatore convenzionale

213 l/min per gruppo

0.5 kW/GM

$EUI_{mung} = 86$ kWh/vacca
anno

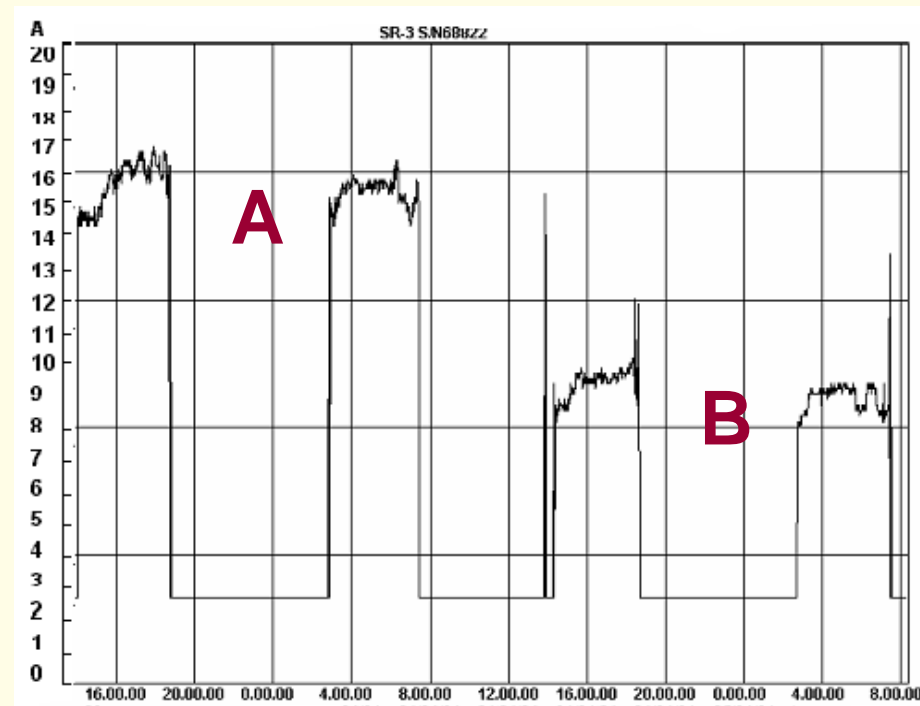
Curva di carico:
(A) regolatore
convenzionale;
(B) variatore di velocità

Variatore velocità

90 l/min per gruppo

0.2 kW/GM

$EUI_{mung} = 52$ kWh/vacca anno



Impianto di

Refrigerazione

- Gestione: riempimento $\eta_f > 0.75$,
(60% aziende 2 tank,
pulizia condensatore)
- Prerrefrigeratori del latte
(presente nel 20% aziende)
- Recuperatori di calore
(presente nel 30% aziende)
- Compressore scroll: assente
- Refrigerazione istantanea
(presente nel 2% aziende)



Impianto di Refrigerazione

Compressore Scroll (a spirale orbitante)
15-20 % più efficiente del compressore
alternativo

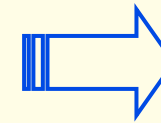


Misure di risparmio energetico

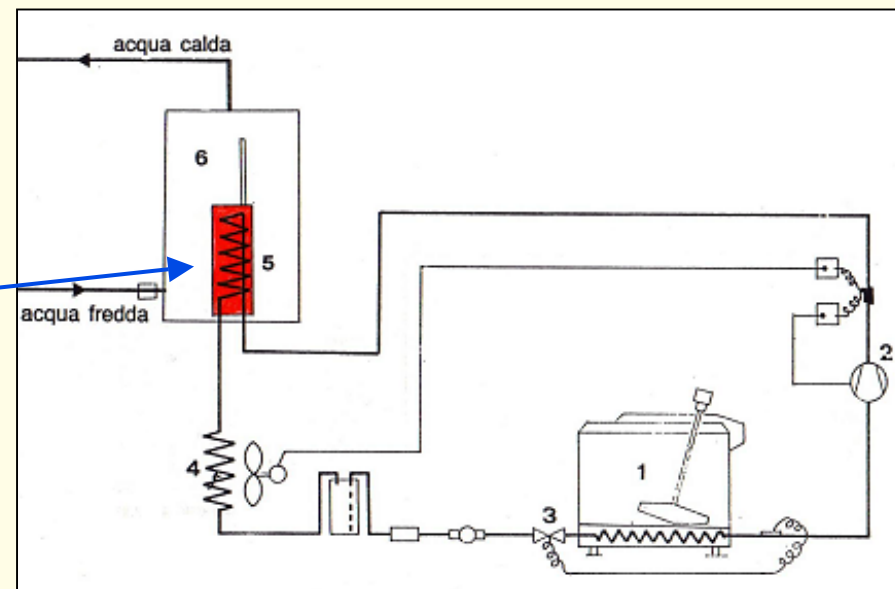
Recuperatore di calore

Vantaggi:

- Disponibilità di acqua calda
- Migliori prestazioni gruppo frigo



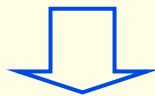
Notevole risparmio energetico



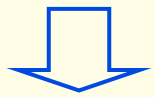
Misure di risparmio energetico

Prerrefrigerazione

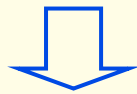
scambio termico in controcorrente fra il latte e l'acqua proveniente da un pozzo o dalla rete idrica collettiva



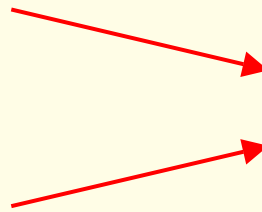
minore temperatura del latte all'ingresso della cisterna



riduzione del tempo di funzionamento del gruppo frigorifero



disponibilità di acqua tiepida



**Consumi elettrici
- 40 ÷ 50%**

illuminazio

ne

Lampada fluorescente

Durata media 10.000 ore

Prezzo: 10-12 €

Luminosità: 1.000 lumen

Consumo: 20 W

Efficienza: 5



Lampada a incandescenza

Durata media 1.000 ore

Prezzo: 0,6 €

Luminosità: 1.000 lumen



Consumo: 100 W

Efficienza: 1



Misure di risparmio energetico

illuminazio

Lampade	Utenza (kWh/anno)	Costo Energia (€/anno)	Costo esercizio (€/anno)	TOTALE
	5.000	900	50	950
	3.000	540	124	664

L'elettricità nelle aziende agricole

Calcolare l'energia elettrica consumata da una lampadina di 60 watt in 6 ore

La corrente alternata presente nelle aziende agricole ha una tensione di 220 V e di 380 V ed una frequenza di 50 Hz. L'intensità della corrente che percorre i fili dell'impianto a 220 V dipende dalla potenza degli utilizzatori:

$$Pe = V \cdot I \cdot \cos \varphi = W \qquad I = \frac{Pe}{V * \cos \varphi} = A$$

Se si accende una lampada al neon con potenza di 60 watt, ipotizzando un $\cos \varphi$ di 0,85, si avrà una corrente con intensità di:

$$I = 60/220 \cdot 0,85 = 0,32 \text{ ampère}$$

Nel caso in cui la lampada funzioni per 6 ore l'energia elettrica consumata sarà pari a:

$$Ee = 220 \cdot 0,32 \cdot 6 = 422,4 \text{ Wh} = \mathbf{0,42 \text{ kWh}}$$

L'elettricità nelle aziende agricole

Calcolare l'energia elettrica consumata dal motore della mungitrice di 7 kW nel corso di 5 h/giorno di mungitura

L'intensità della corrente necessaria ad un motore elettrico di 7 kW di potenza, alimentato con una tensione di 380 V e con un $\cos \varphi$ di 0,85, che aziona la pompa per vuoto della mungitrice risulta pari a:

$$I = \frac{Pe}{V * \cos \varphi * \sqrt{3}} = A \qquad I = \frac{7000}{380 * 0,85 * 1,732} = 12,51 A$$

Se le operazioni di mungitura durano 5 ore al giorno, il corrispondente consumo di energia sarà di:

$$Ee = 380 \cdot 12,51 \cdot 5 = 23.770 Wh = \mathbf{23,77 kWh}$$

Potenza elettrica

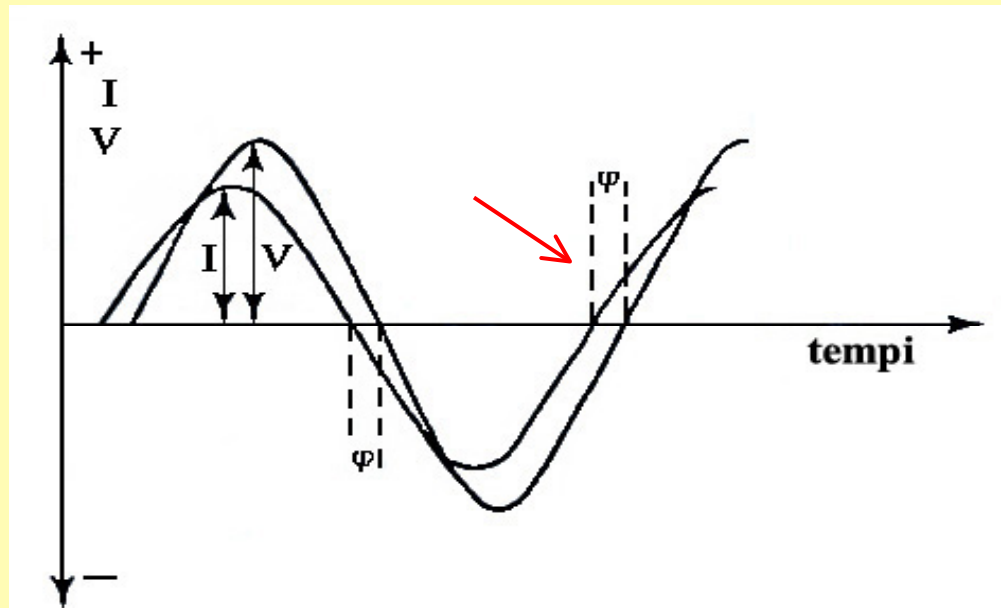
La *potenza elettrica* (P_e), o *potenza reale*, prodotta dal generatore o assorbita dal motore o consumata da un apparecchio è data da:

$$P_e = V \cdot I \quad (\text{W}) \quad (\text{c.c.})$$

$$P_e = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (\text{W}) \quad (\text{c.a. monofase; } P_e < 2 \text{ kW})$$

$$P_e = V \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3} \quad (\text{W}) \quad (\text{c.a. trifase; } P_e \geq 2 \text{ kW})$$

cos φ (*cos fi*) = *fattore di potenza*,
dato dal coseno dell'angolo di sfasamento fra I e V



Esercizi

Una batteria di accumulatori ha una capacità di 132 Ah e alimenta, alla tensione di 12 V, il motorino per l'avanzamento di un autoveicolo. Se il motore assorbe la potenza di 1,5 kW, calcolare la durata di scarica della batteria.

L'intensità di corrente assorbita dal motore elettrico è data da:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1500}{12} = 125 \text{ A}$$

Se Q è la capacità della batteria, si ricava:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{132}{125} = 1,056 \text{ h (1h 03' 21' ')}$$

Esercizi

Uno scaldabagno elettrico ha una capacità di 100 litri ed assorbe una potenza di 1.200 W. Calcolare il rendimento dell'apparecchio se in 4 h e 15 min ha portato l'acqua da 10 a 50 ° C (cs acqua = 4.186,05 J/kg ° C).

La quantità di calore ΔQ necessaria al riscaldamento dell'acqua si ottiene con:

$$\Delta Q = cs \cdot m \cdot \Delta t = 4.186,05 \cdot 100 \cdot 40 = 16.744.200 \text{ J}$$

Dove:

cs = calore specifico (J/kg ° C)

m = massa dell'acqua (kg)

Δt = salto di temperatura (° C)

Poiché 1 kWh = 3600 kJ, si ha:

$$\Delta Q = \frac{16.744.200}{3.600 \times 10^3} = 4,651 \text{ kWh}$$

L'energia E_a (kWh) assorbita dall'apparecchio, e che si rileva dal contatore, risulta:

$$E_a = P \cdot t = 1,2 \cdot 4,25 = 5,100 \text{ kWh}$$

P = potenza (kW)

t = tempo (h)

Il rendimento (η) è dato da:

$$\eta = \frac{\Delta Q}{E_a} = \frac{4,651}{5,100} = 0,91$$

Accumulatori al piombo

Gli *accumulatori al piombo* sono costituiti da due piastre di piombo (*elettrodi*) immerse in una soluzione di acido solforico diluito (*elettrolito*) collegate ai morsetti di un generatore a corrente continua.

Il rendimento in energia è del 64% circa. Se inattivi dissipano giornalmente l'1% della carica (*autoscarica*).

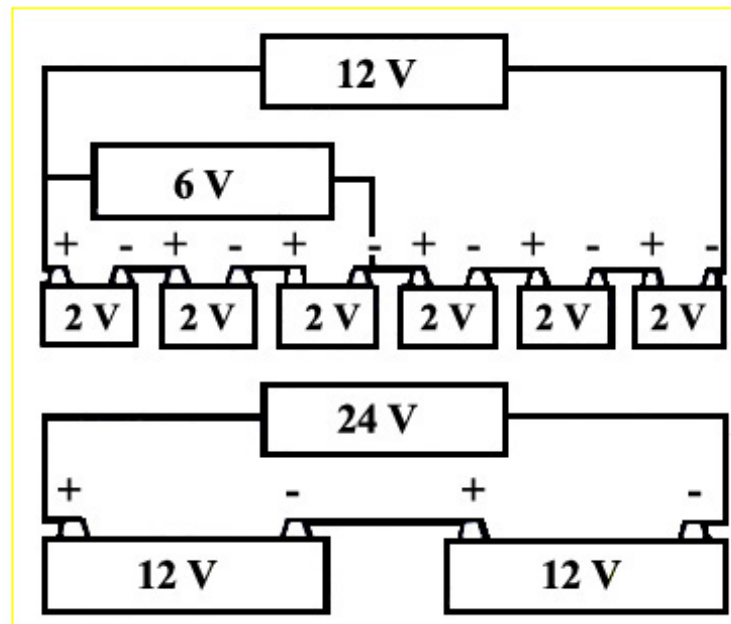
**Durante la carica gli elettrodi emettono acido;
durante la scarica si produce il processo inverso.**

Le batterie commerciali hanno tensione di 12-24-48 volt. La carica della batteria è misurata in *amperora (Ah)*, che indica il prodotto tra il numero di ampere della corrente di scarica e la durata in ore di tale corrente. Una batteria da 50 Ah può erogare 1 A x 50 h, oppure 5 A x 10 h.



Accumulatori al piombo

Le batterie sono formate da elementi in serie da 2 V: così una batteria da 12 V è formata da 6 elementi. Per la ricarica servono 2,5 V per elemento. Le batterie hanno un rendimento nel ciclo di scarica di 0,8: per rendere disponibili 18 kWh bisogna riversare 22,5 kWh. Considerando che le batterie hanno una capacità di scarica dell'80% circa della loro capacità teorica, il **rendimento complessivo è 0,64**.



Esercizio 1

Le utenze di azienda agricola montana nel sud Italia consumano 1,5 kWh/die (550 kWh/anno) di energia elettrica. Calcolare potenza di picco (P_p) impianto FV con rendimento di conversione 0,8. Prevedendo utilizzo batterie di accumulo per 4 giorni, calcolare la capacità (C_{ah}) del blocco batterie a 24 volt.

$$P_p = \frac{550}{5,4 \times 365 \times 0,8} = 0,35 \text{ kWp}$$

$$C_{ah} = \frac{1.500 \times 4}{24} = 250 \text{ Ah}$$

Noto il rendimento (0,64) degli accumulatori:

$$C_{ah} = \frac{250}{0,64} = 390 \text{ Ah}$$



***Grazie per
l'attenzione***