

Hydrogen Summer School

***«Efficientamento energetico di una sede del CNVV.F.
tramite l'utilizzo di idrogeno da fonti rinnovabile».***

I.S.A. 20 giugno 2024

Presentazione a cura di

Ing. Manuele Cattano (Comando VV.F. Siracusa)



Distaccamento VV.F. Lentini (SR)



Analisi dei consumi energetici

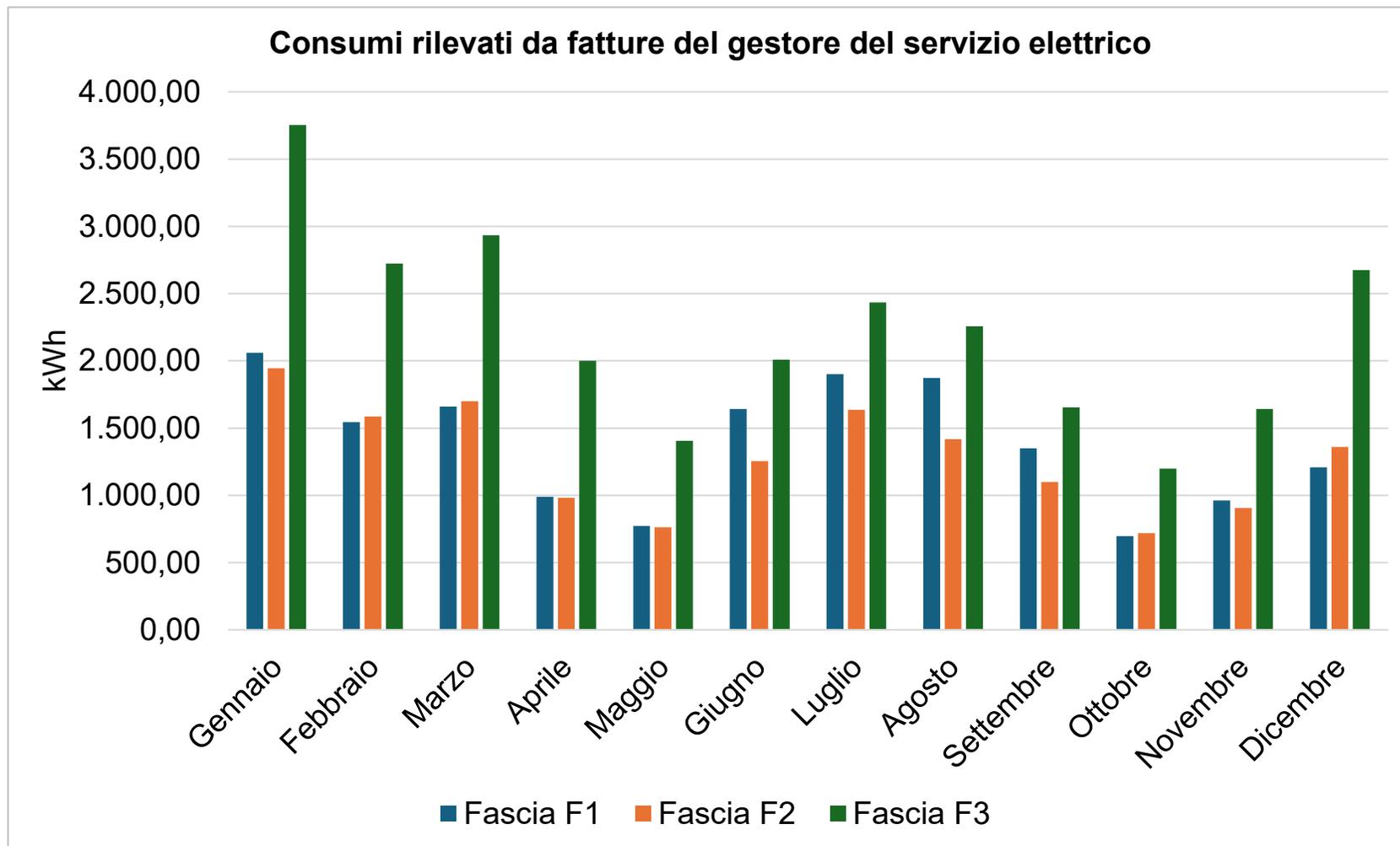
Rilievo Fatture Energia

Consumi Tot: **58.722,00 kWh/anno**

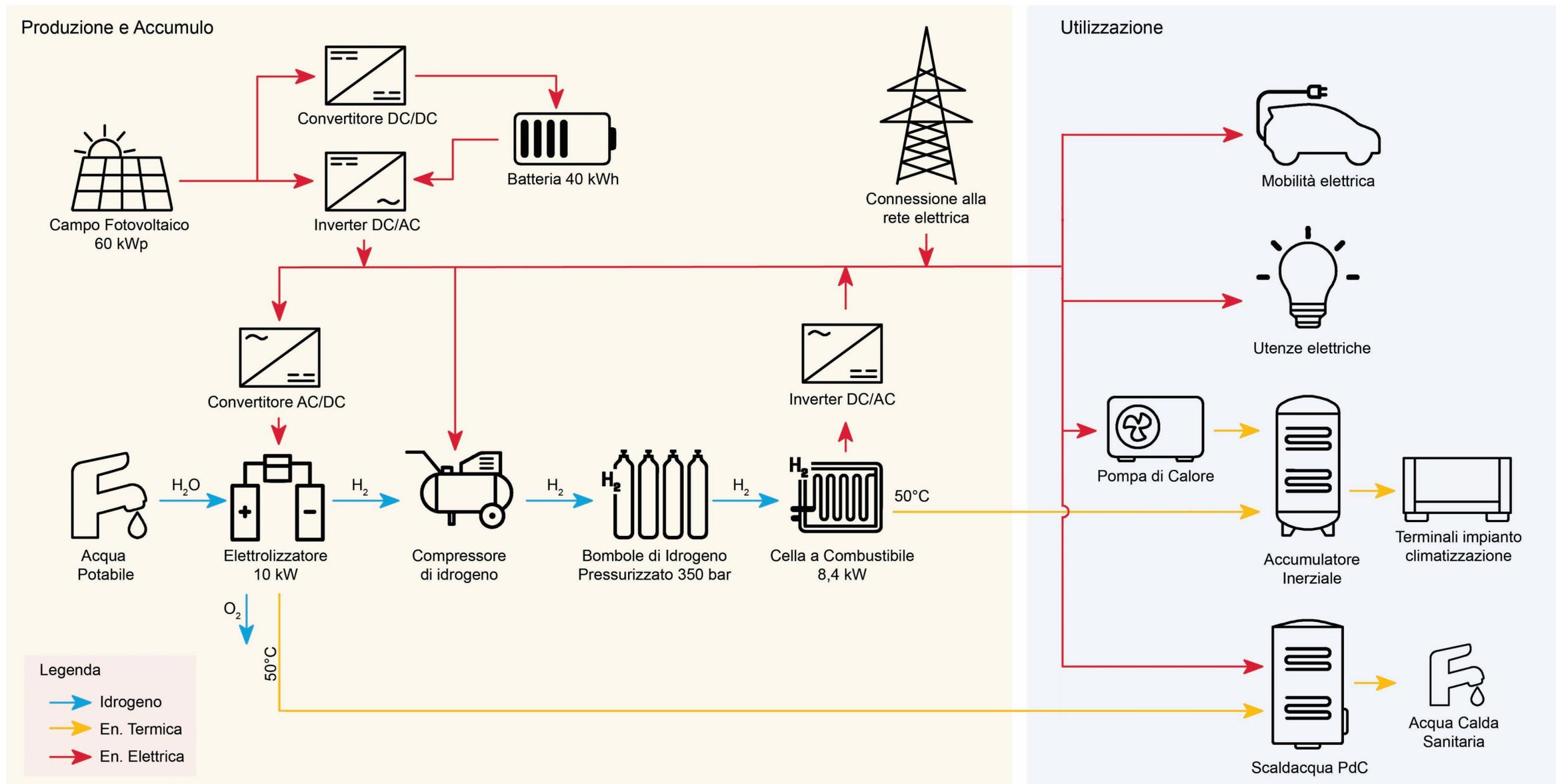
Consumi F1: 16.664,00 kWh/anno

Consumi F2: 15.369,00 kWh/anno

Consumi F3: 26.689,00 kWh/anno

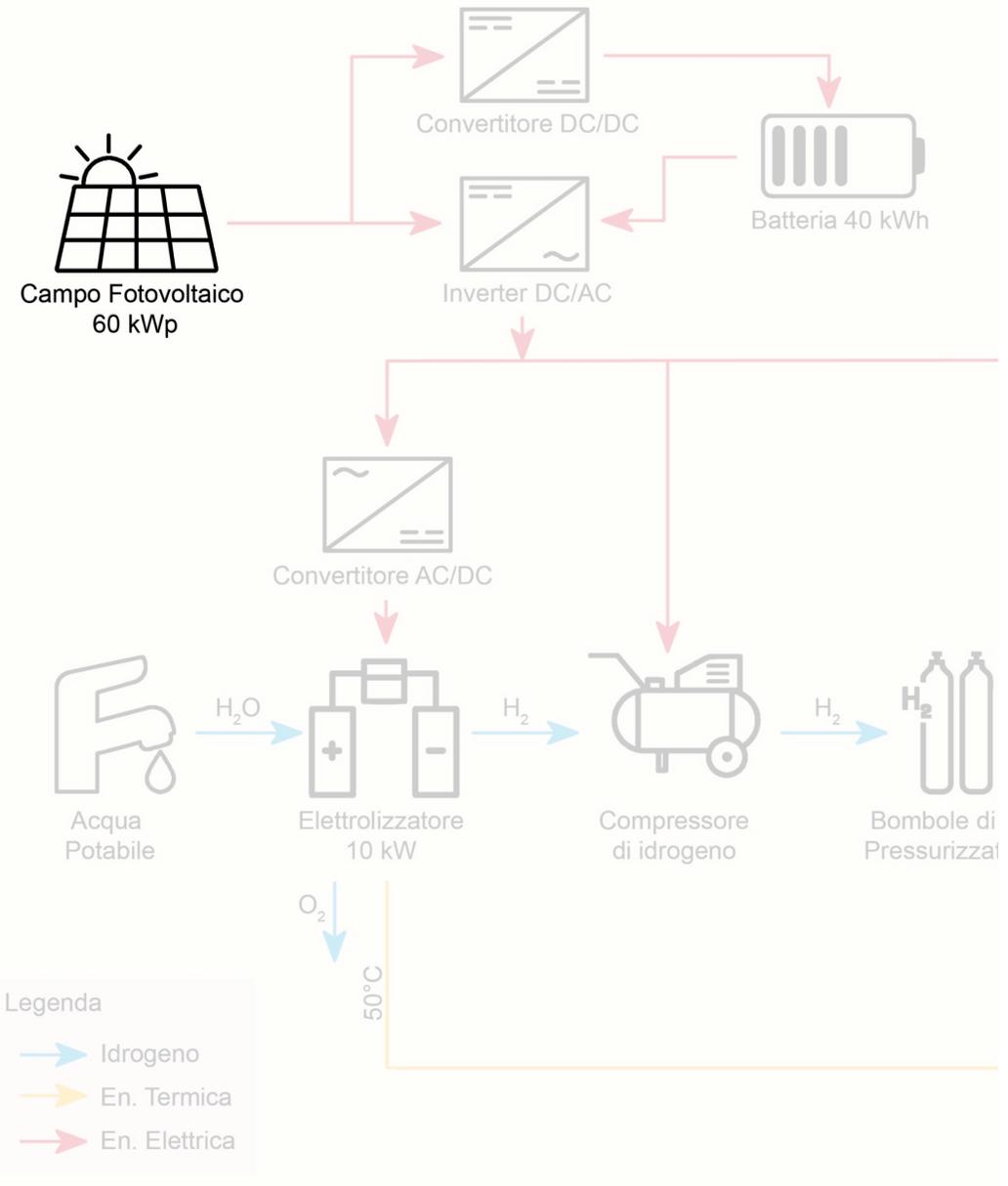


Schema di Impianto



Impianto Fotovoltaico

Produzione e Accumulo



Ing. Manuele Cattano

Software PVgis - JRC

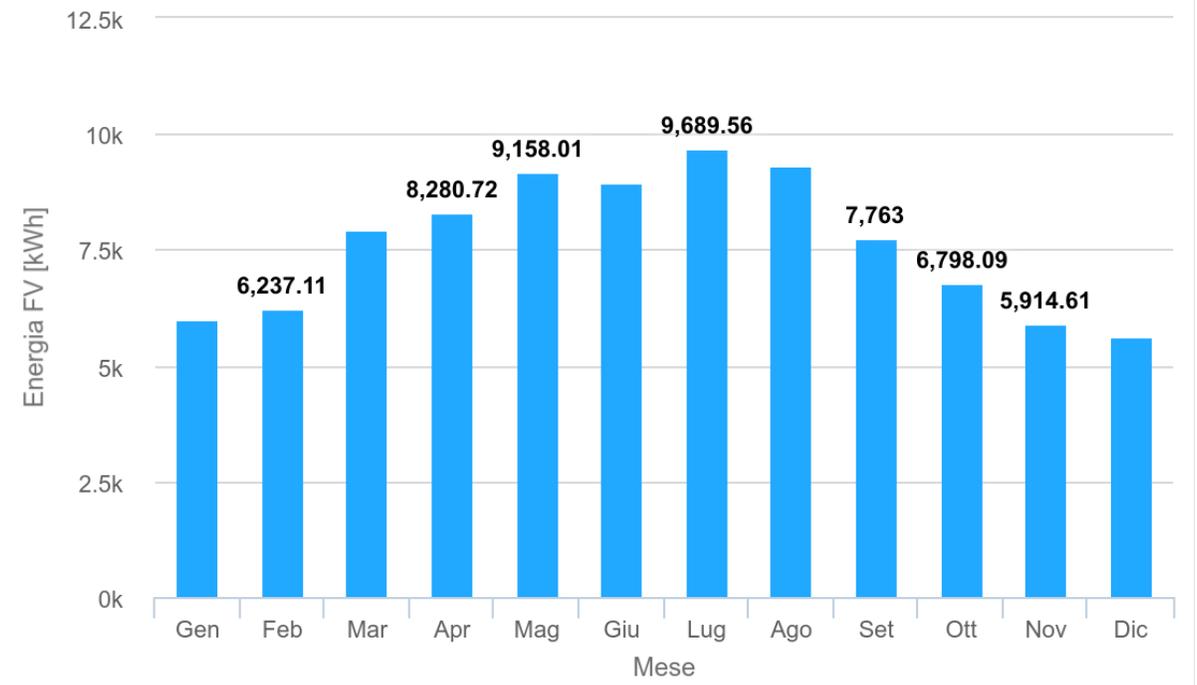
Input:

- Coordinate GPS
- Azimut: 0°
- Inclinazione: 30°
- Silicio monocristallino
- Potenza: 60 kWp

→ **$E_{TOT} = 91,66 \text{ MWh}$**

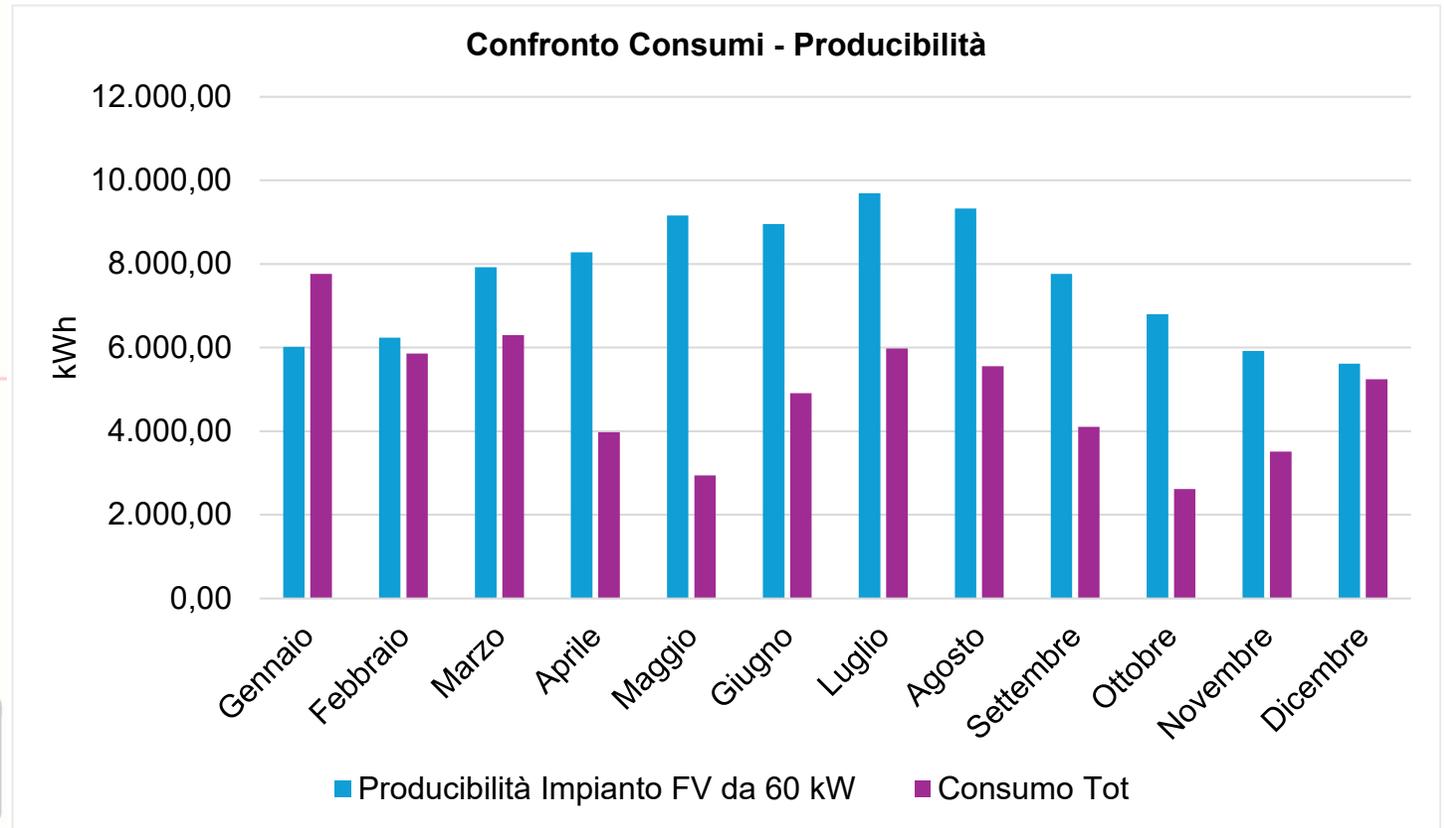
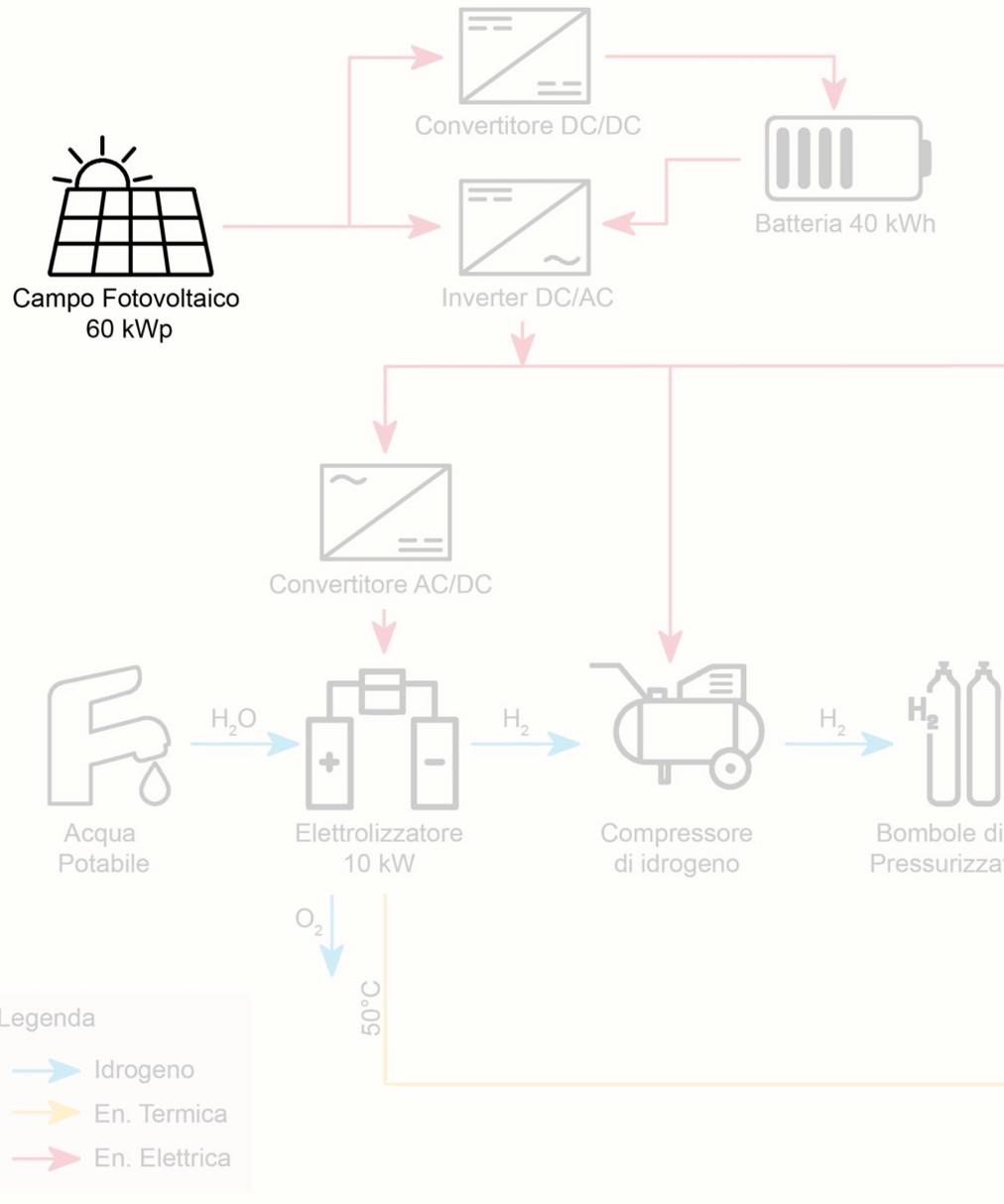
Energia prodotta dal sistema FV fisso

(C) PVGIS, 2024



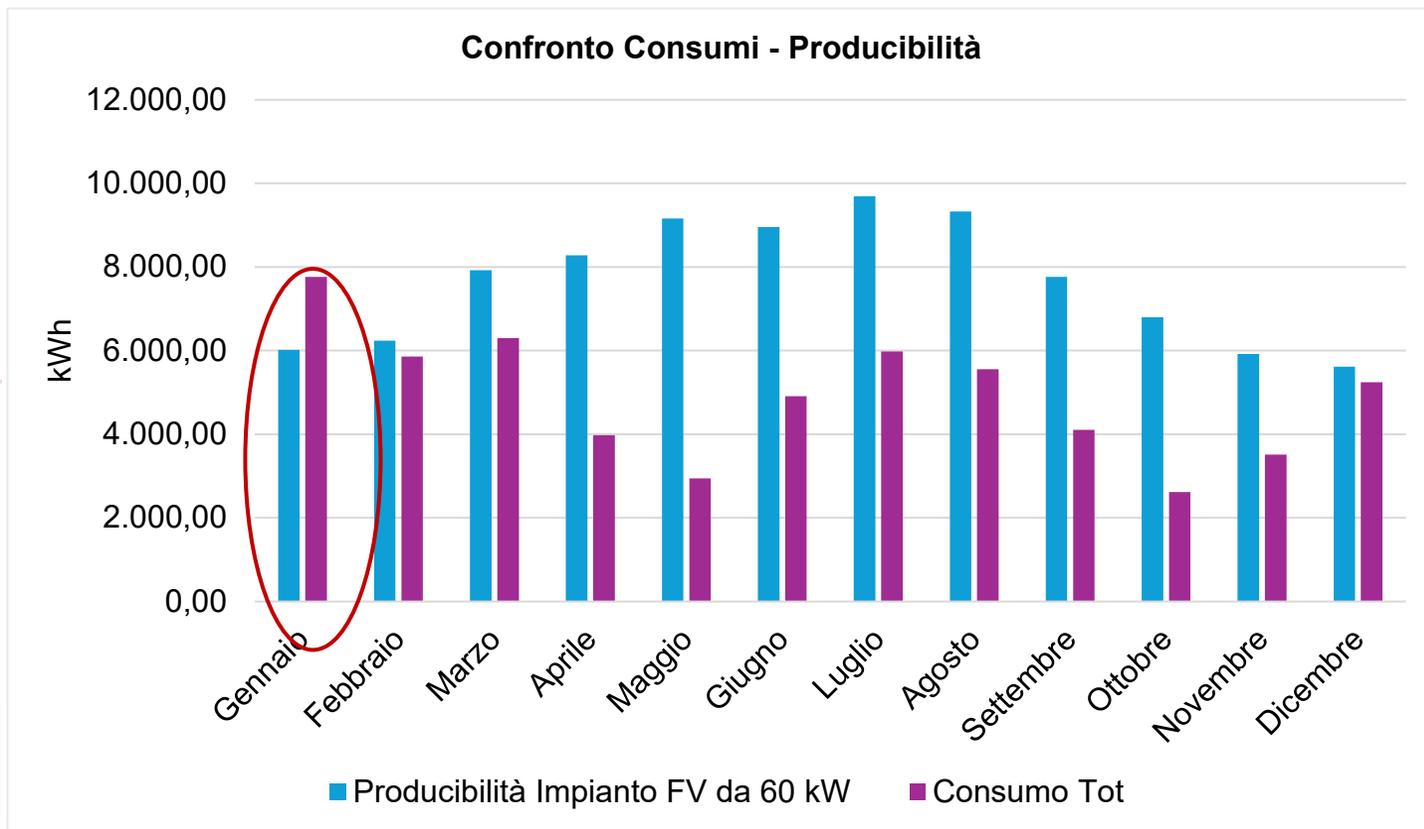
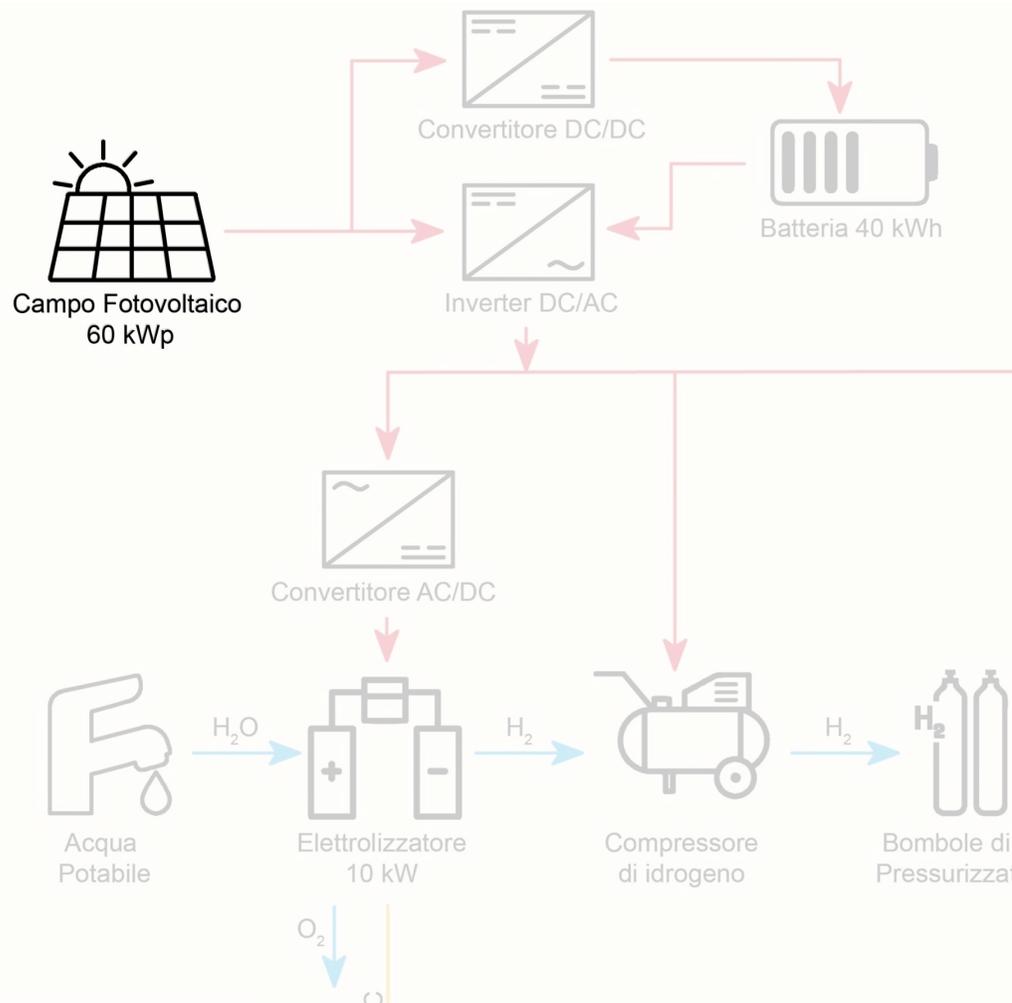
Impianto Fotovoltaico – Ipotesi senza Accumulo

Produzione e Accumulo



Producibilità stimata da PVgis (MWh/anno)	Consumi rilevati da bolletta (MWh/anno)	Autoconsumo stimato 100%F1; 25%F2; 10%F3 (MWh/anno)	Eccedenza - differenza tra producibilità e autoconsumo (MWh/anno)
91,66	58,72	23,18	68,49

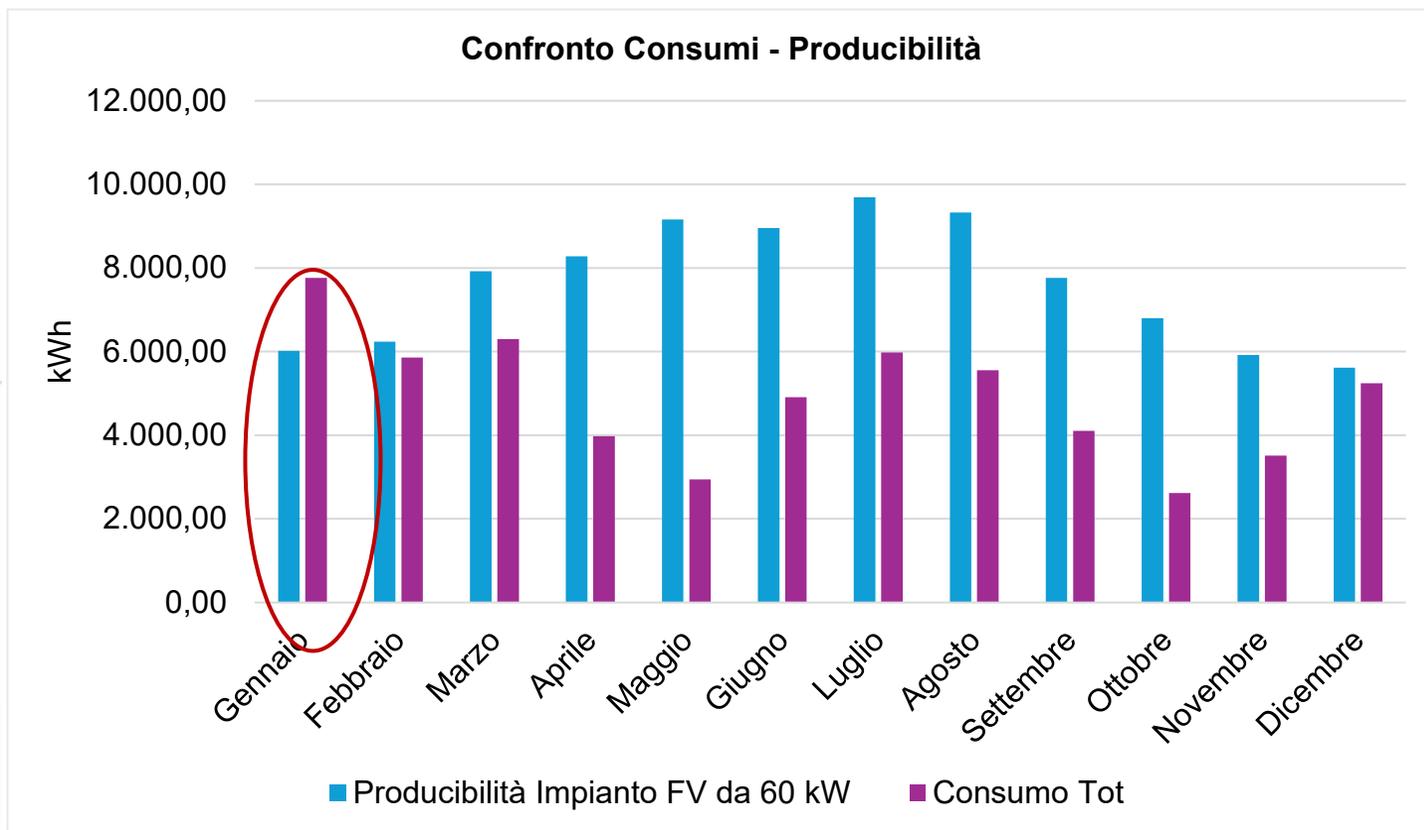
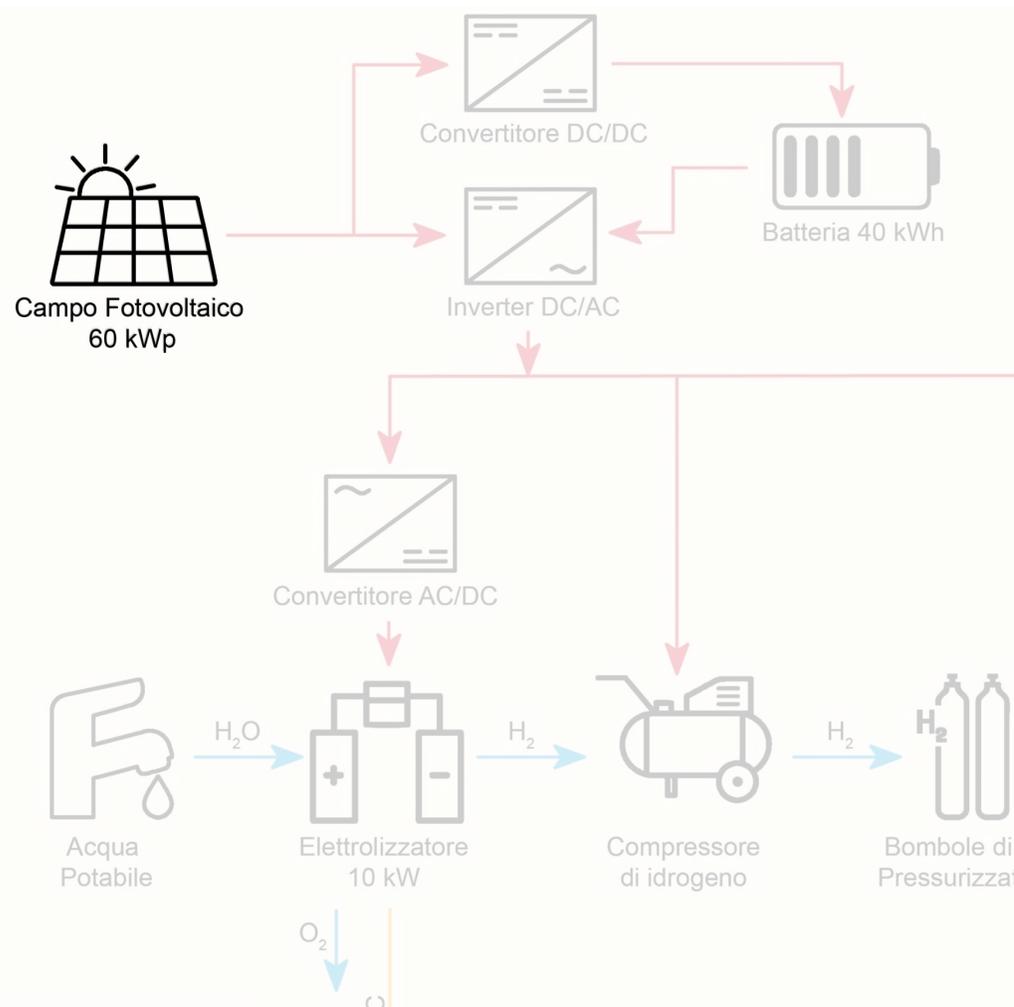
Impianto Fotovoltaico – Ipotesi senza Accumulo



Producibilità stimata da PVgis (MWh/anno)	Consumi rilevati da bolletta (MWh/anno)	Autoconsumo stimato 100%F1; 25%F2; 10%F3 (MWh/anno)	Eccedenza - differenza tra producibilità e autoconsumo (MWh/anno)
91,66	58,72	23,18	68,49

Producibilità stimata da PVgis (MWh/gennaio)	Consumi rilevati da bolletta (MWh/gennaio)	Autoconsumo stimato 100%F1; 25%F2; 10%F3 (MWh/gennaio)	Eccedenza - differenza tra producibilità e autoconsumo (MWh/gennaio)	Prelievo - differenza tra consumi rilevati e autoconsumi stimati (MWh/gennaio)
6,01	7,76	2,92	3,09	4,84

Impianto Fotovoltaico – Ipotesi senza Accumulo

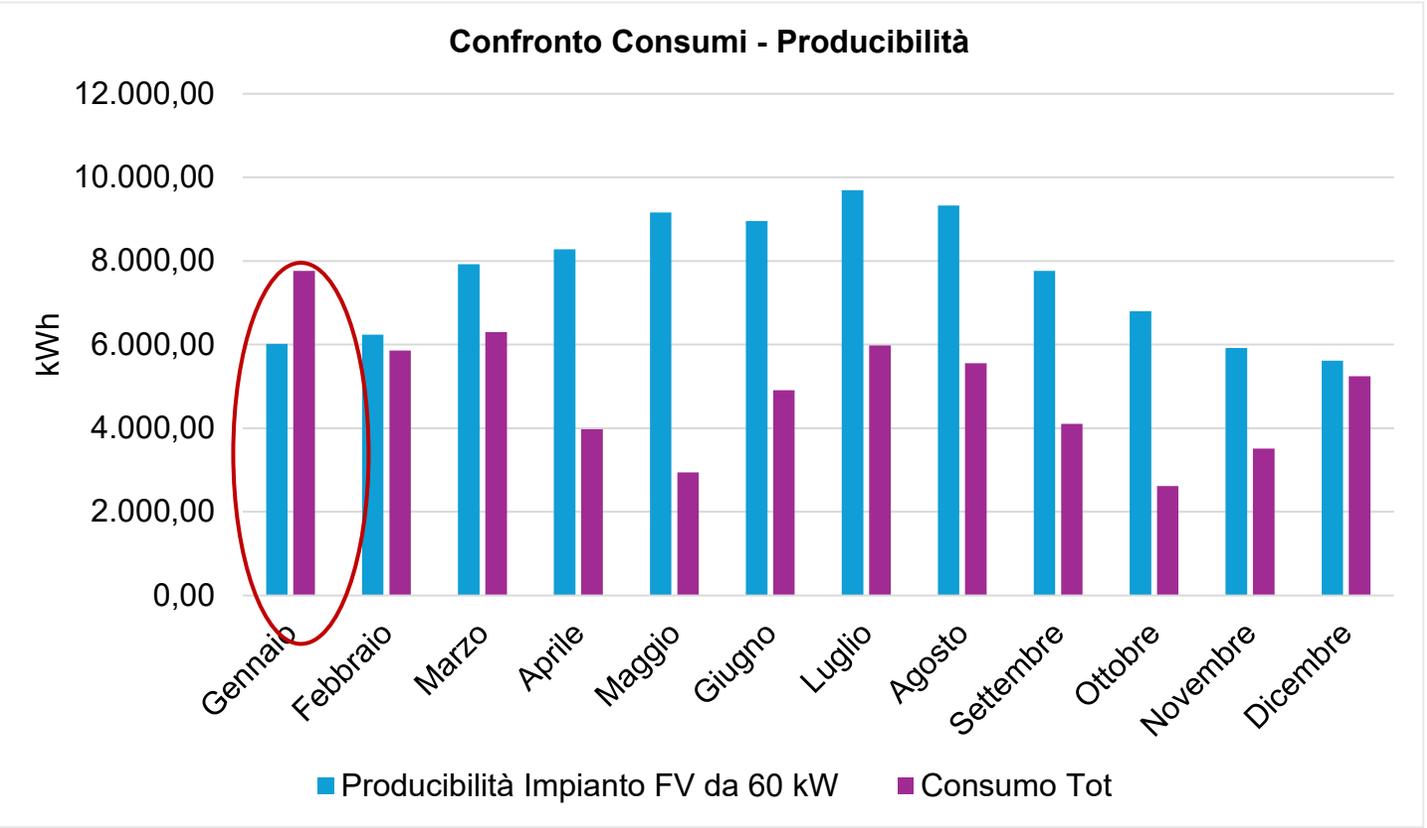
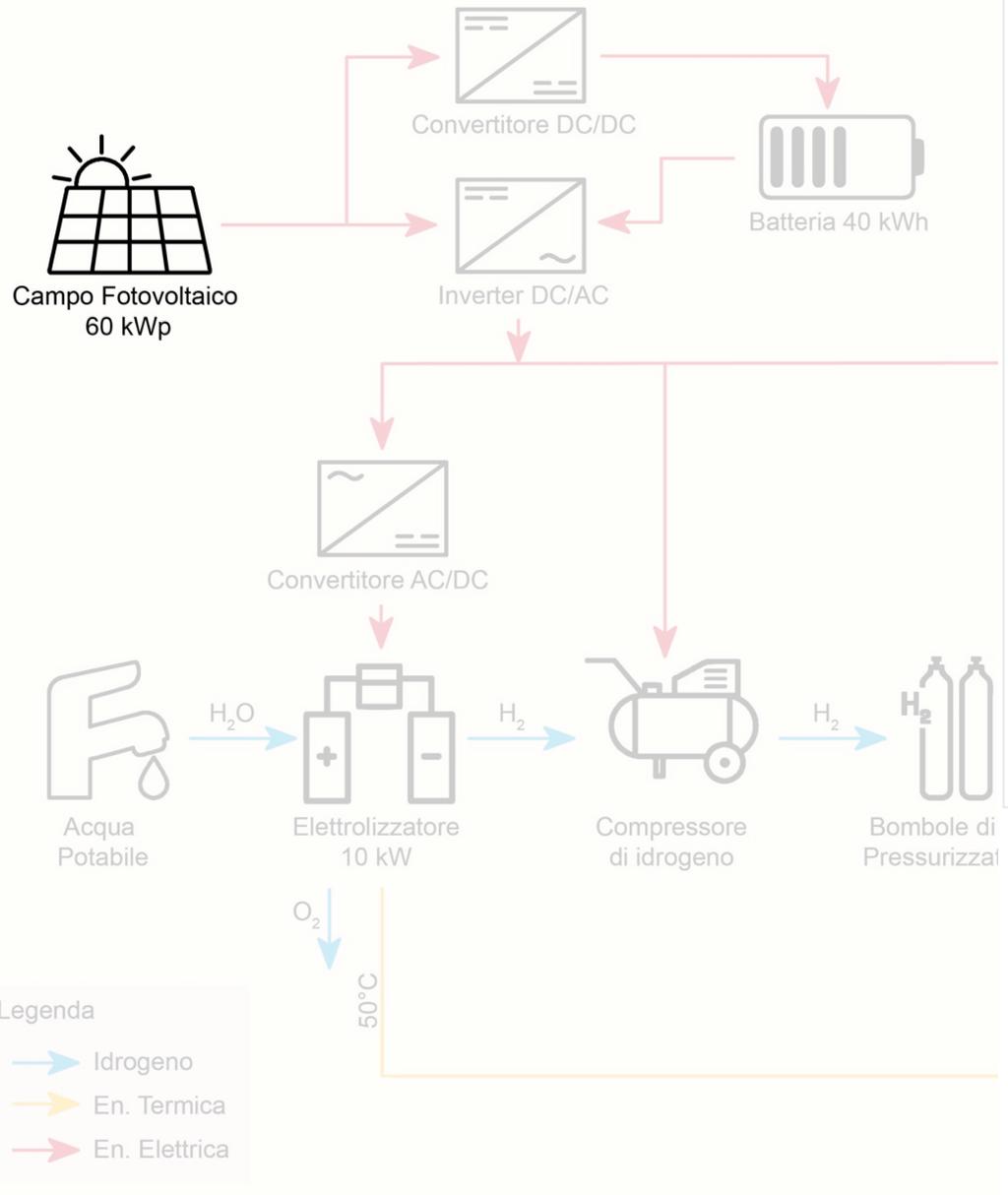


Producibilità stimata da PVgis (MWh/anno)	Consumi rilevati da bolletta (MWh/anno)	Autoconsumo stimato 100%F1; 25%F2; 10%F3 (MWh/anno)	Ecceденza - differenza tra producibilità e autoconsumo (MWh/anno)
91,66	58,72	23,18	68,49

Producibilità stimata da PVgis (MWh/gennaio)	Consumi rilevati da bolletta (MWh/gennaio)	Autoconsumo stimato 100%F1; 25%F2; 10%F3 (MWh/gennaio)	Ecceденza - differenza tra producibilità e autoconsumo (MWh/gennaio)	Prelievo - differenza tra consumi rilevati e autoconsumi stimati (MWh/gennaio)
6,01	7,76	2,92	3,09	4,84

Impianto Fotovoltaico – Ipotesi Progettuale

Produzione e Accumulo



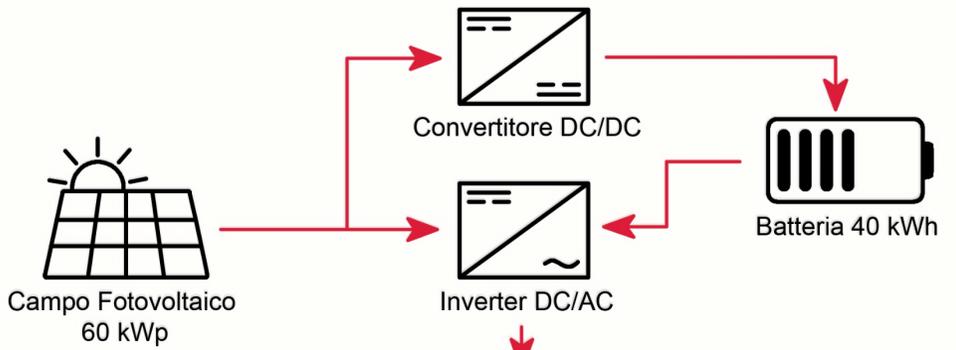
Hp: Dimensionamento del Sistema di Accumulo di Energia sotto forma di Idrogeno al fine di coprire il Prelievo di 1,75 MWh



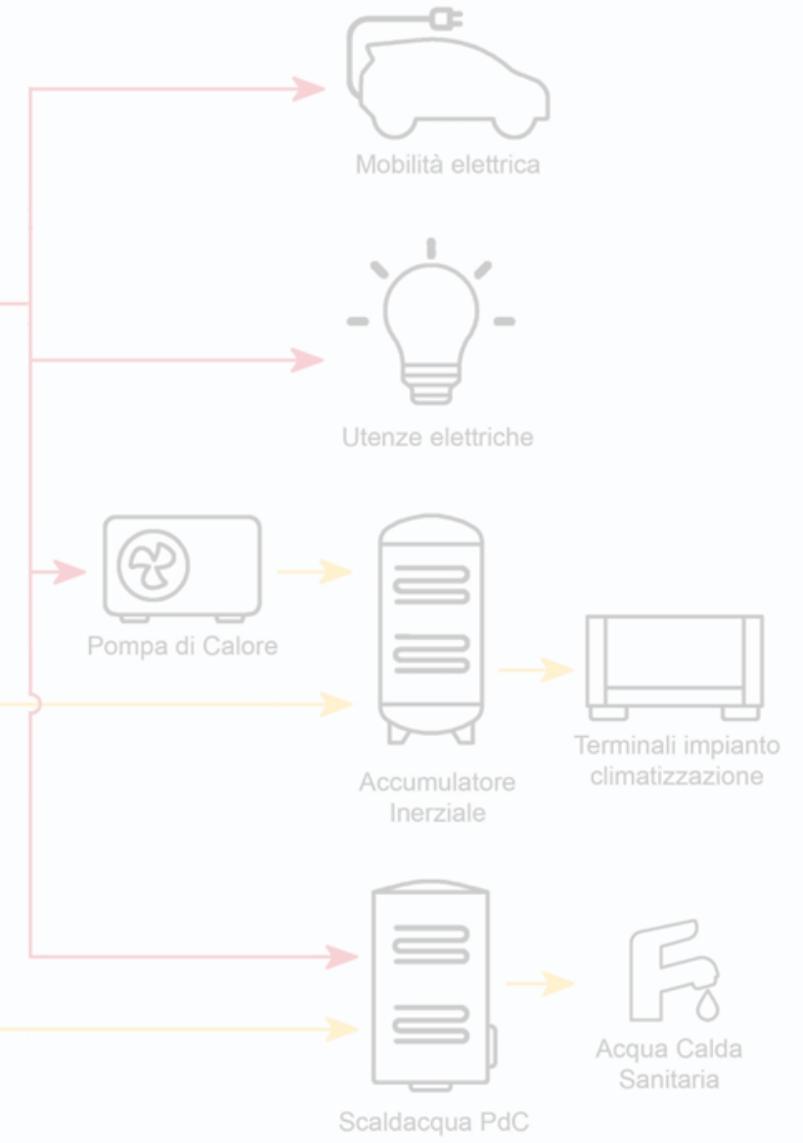
differenza tra consumi totali rilevati e producibilità (MWh/gennaio)
1,75

Impianto Fotovoltaico – Convertitore DC/DC – Inverter – Batteria

Produzione e Accumulo



Utilizzazione

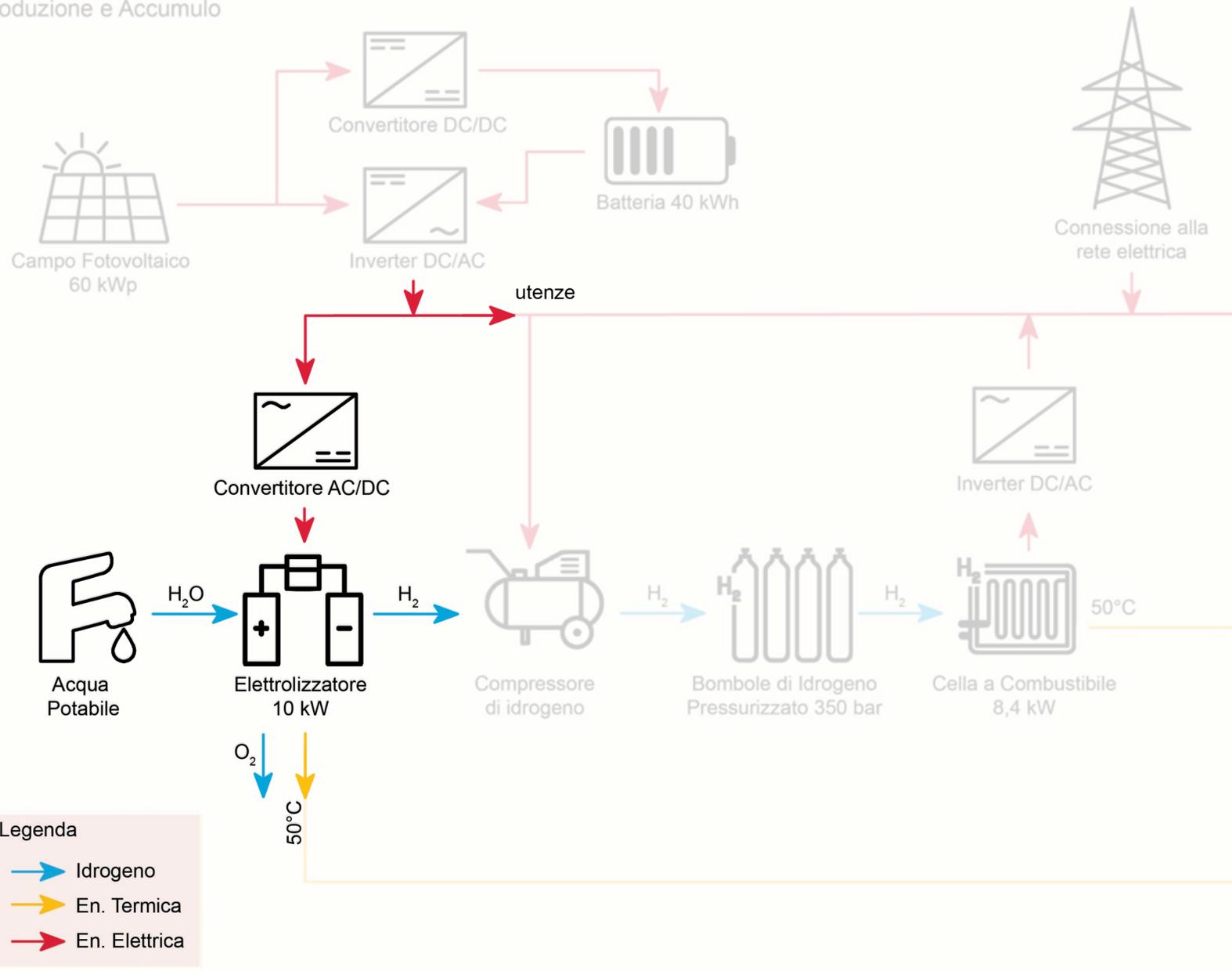


Legenda

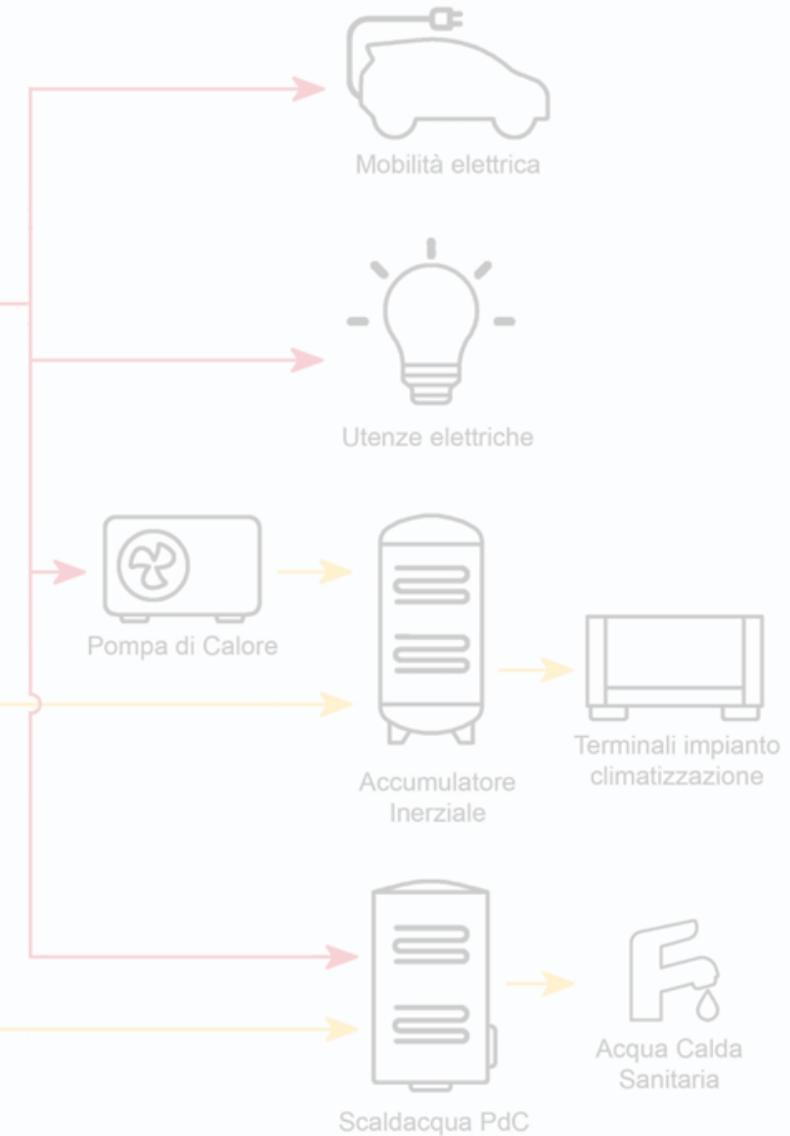
- ➡ Idrogeno (Hydrogen)
- ➡ En. Termica (Thermal Energy)
- ➡ En. Elettrica (Electrical Energy)

Raddrizzatore AC/DC – Elettrolizzatore

Produzione e Accumulo



Utilizzazione

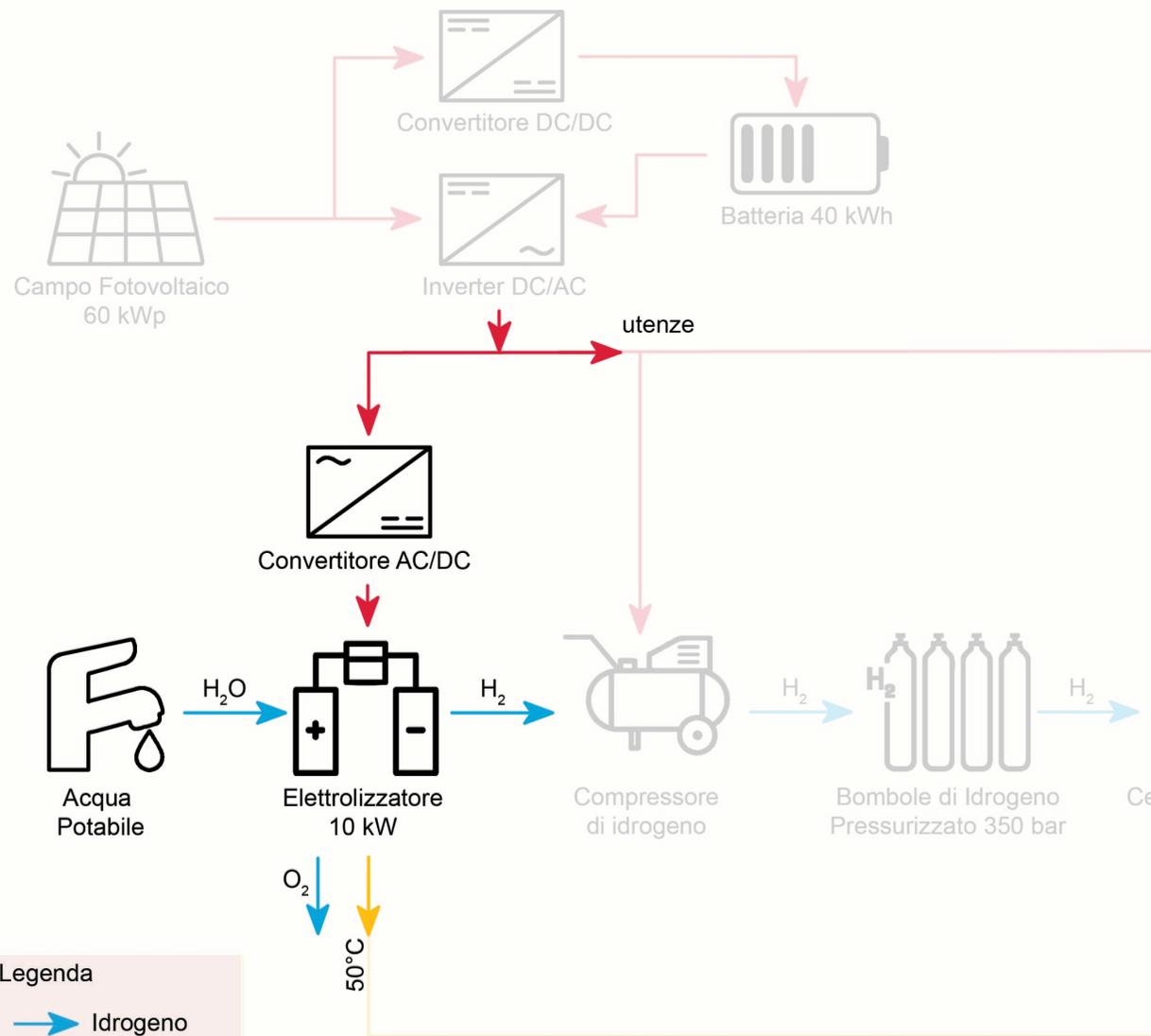


Legenda

- Idrogeno
- En. Termica
- En. Elettrica

Elettrolizzatore Alcalino modello ELM 10

Produzione e Accumulo



Modulo Elettrolizzatore ELM 10



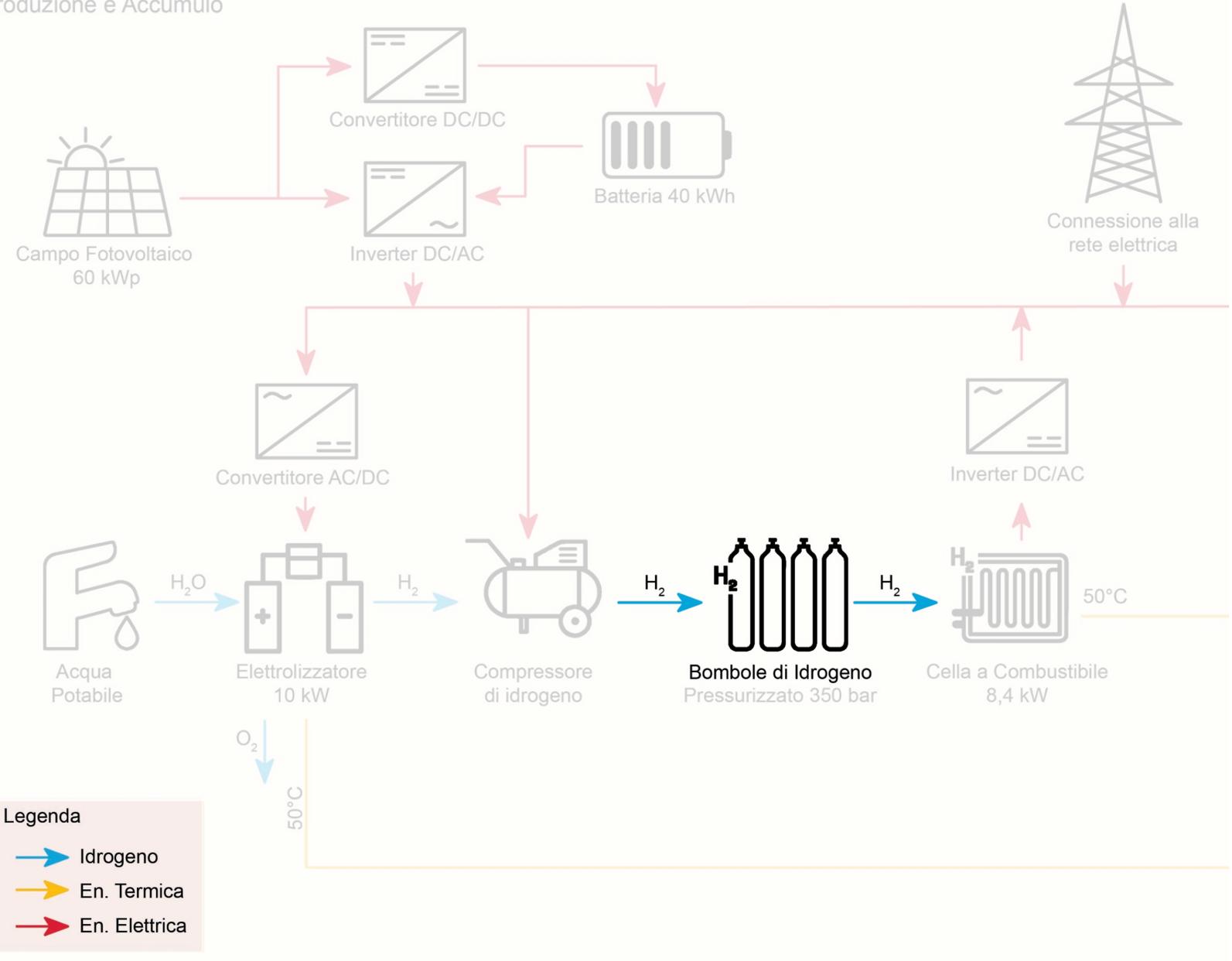
Caratteristiche del modulo:

Produzione di idrogeno	0,02 kg/h
Pressione dell'idrogeno all'uscita	20 bar
Dimensioni (larghezza x profondità x altezza)	483 x 600 x 4 mm
Purezza dell'idrogeno	99,95 %
Peso	43 kg
Potenza Elettrica	10 kWel
Potenza Termica	1 kWth @ 50°C
Consumo acqua di processo	1 l/Nm ³ H ₂

<https://ohs.energy/en/downloads-eng/>

Dimensionamento Bombe di Accumulo

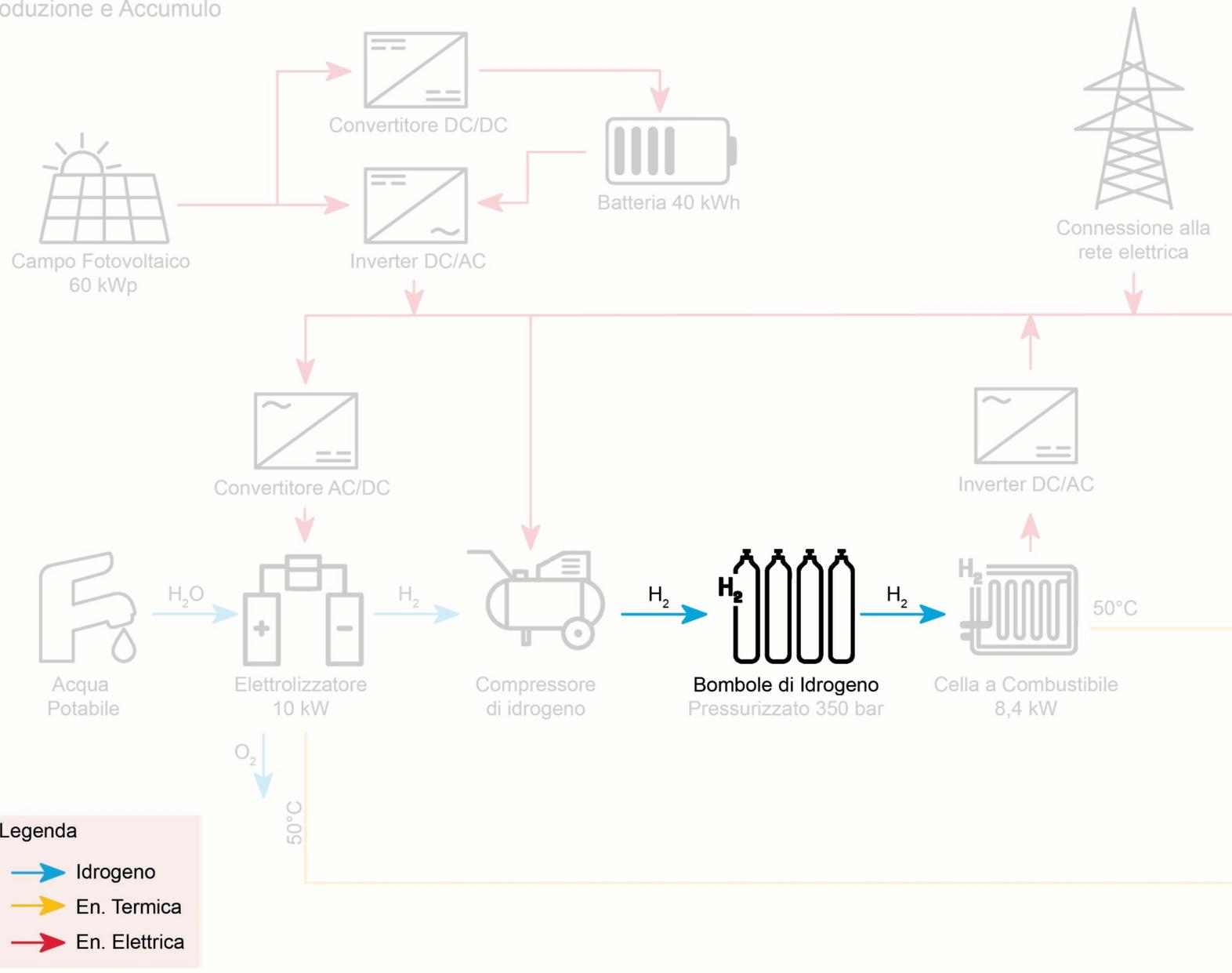
Produzione e Accumulo



$$H_2 \text{ [kg]} = \frac{E_{ECC} \text{ [kWh]} \times 1,6}{PCI \text{ [kWh/kg]}}$$

Dimensionamento Bombe di Accumulo

Produzione e Accumulo



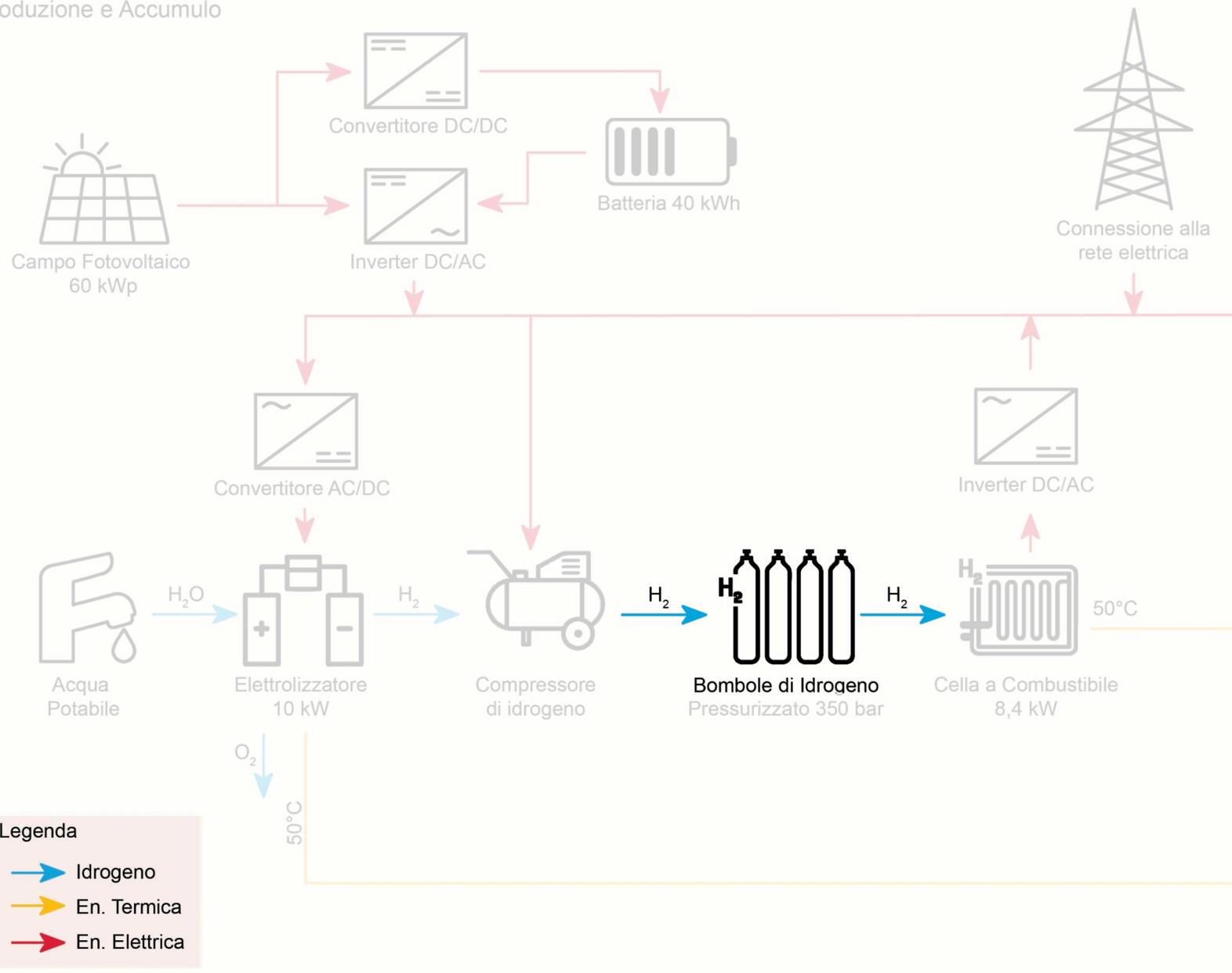
$$H_2 \text{ [kg]} = \frac{E_{ECC} \text{ [kWh]} \times 1,6}{PCI \text{ [kWh/kg]}}$$

considerando:

- **$E_{ECC} = 17.500,00 \text{ kWh}$** (differenza tra consumi totali rilevati e producibilità nel mese di gennaio)
- **1,6** coefficiente che tiene conto della catena dei rendimenti di conversione dell'energia
- **$PCI = 33,3 \text{ kWh/kg}$** (densità energetica massica dell'idrogeno)

Dimensionamento Bombole di Accumulo

Produzione e Accumulo



$$H_2 \text{ [kg]} = \frac{E_{ECC} \text{ [kWh]} \times 1,6}{PCI \text{ [kWh/kg]}}$$

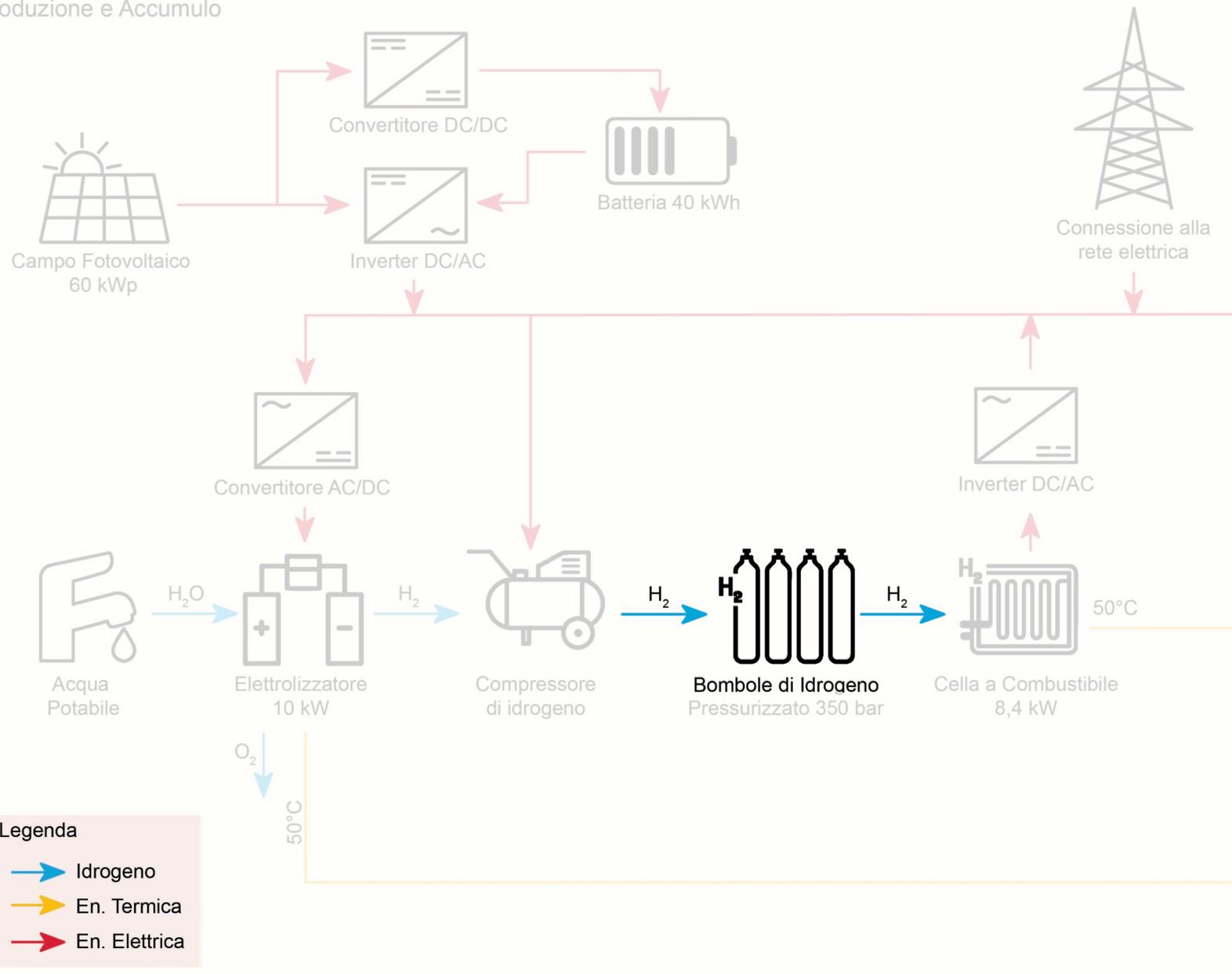
considerando:

- **$E_{ECC} = 17.500,00 \text{ kWh}$** (differenza tra consumi totali rilevati e producibilità nel mese di gennaio)
- **1,6** coefficiente che tiene conto della catena dei rendimenti di conversione dell'energia
- **$PCI = 33,3 \text{ kWh/kg}$** (densità energetica massica dell'idrogeno)

Accumulo di H₂: 84 kg

Dimensionamento Bombe di Accumulo

Produzione e Accumulo



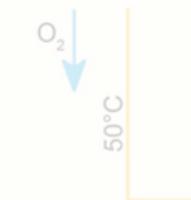
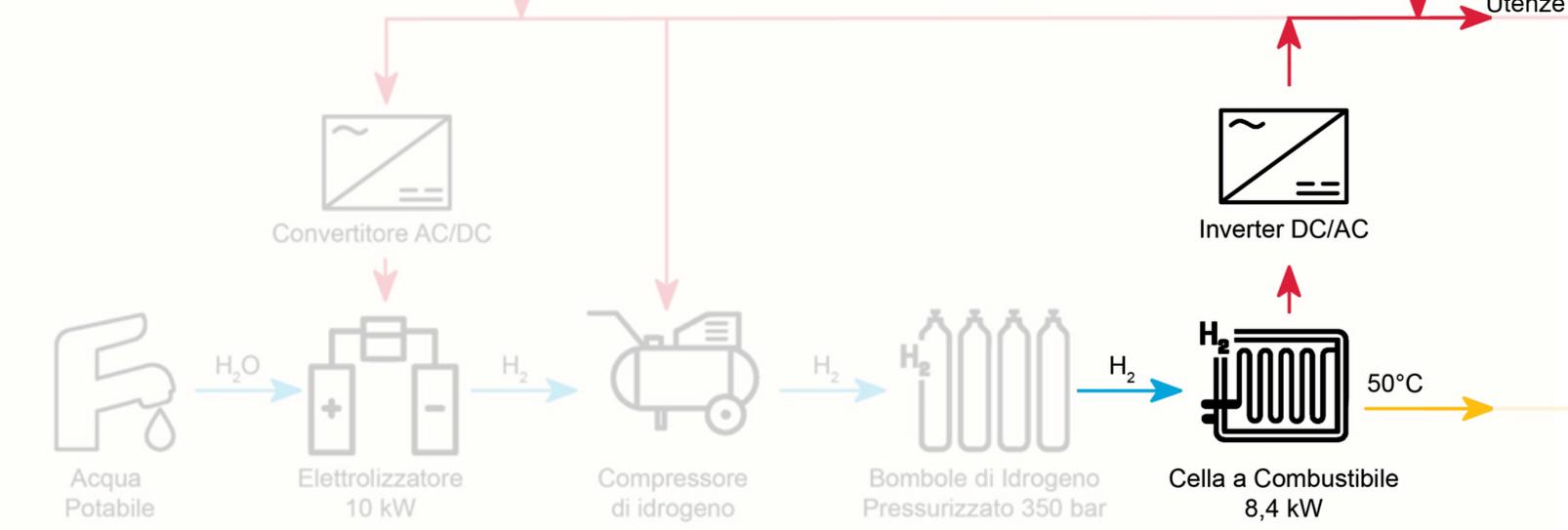
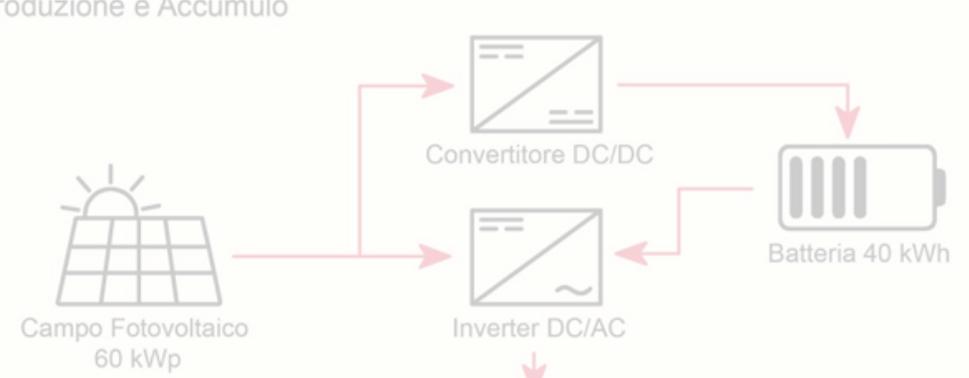
Accumulo di H₂: 84 kg

N. 84 bombole pressurizzate da 50 litri contenenti, ciascuna, 1 kg di idrogeno a 300 bar

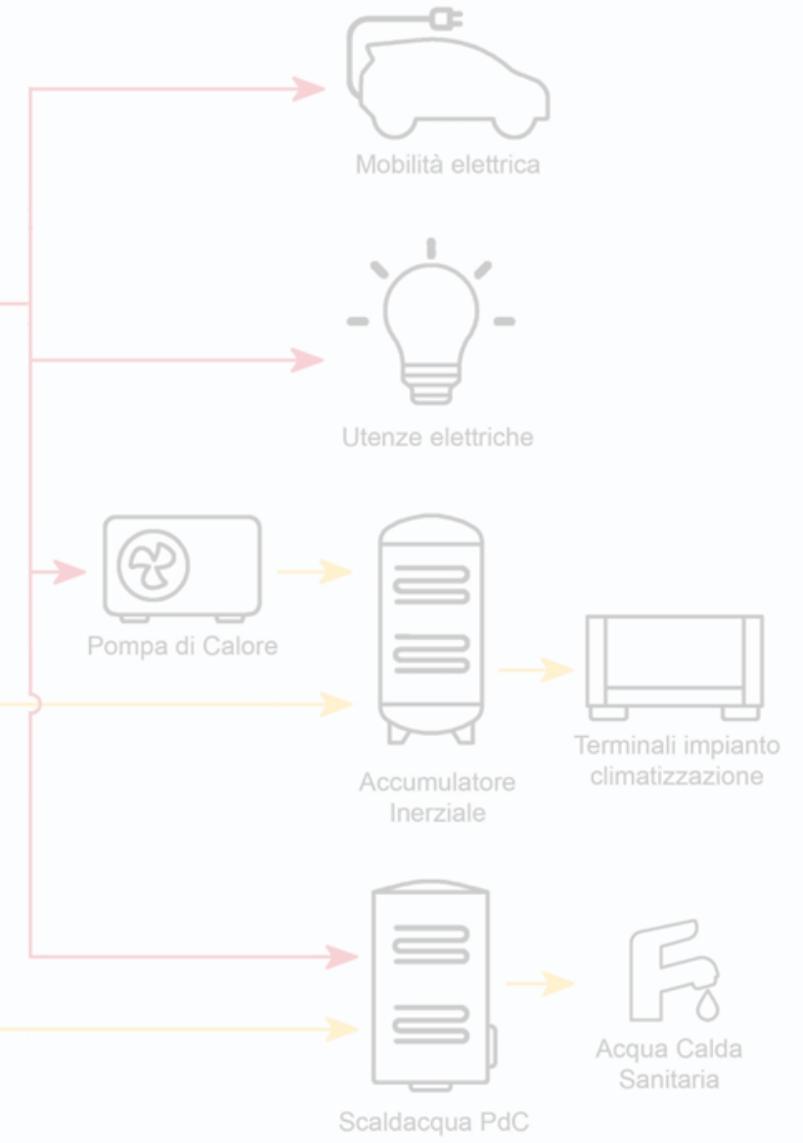
Capacità geometrica di 4,2 m³

Cella a Combustibile – Inverter – Connessione alla rete elettrica

Produzione e Accumulo



Utilizzazione

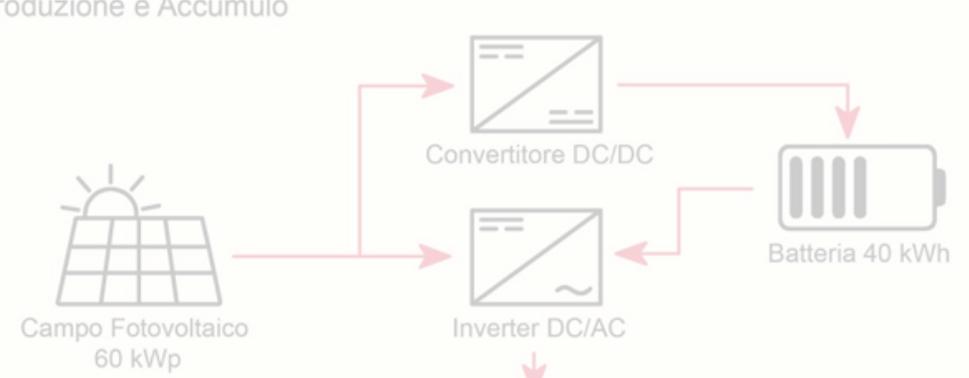


Legenda

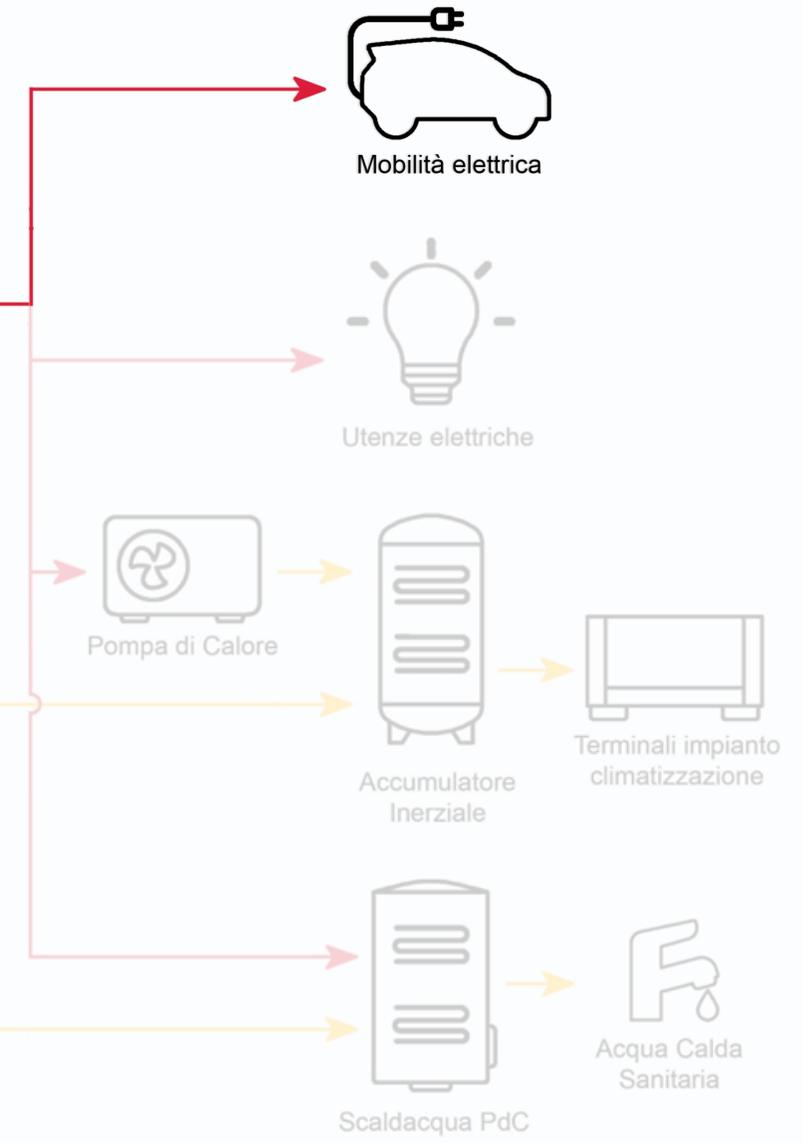
- ➡ Idrogeno
- ➡ En. Termica
- ➡ En. Elettrica

Mobilità Elettrica

Produzione e Accumulo

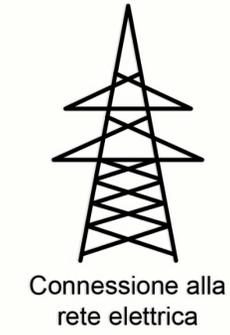
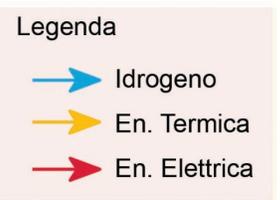
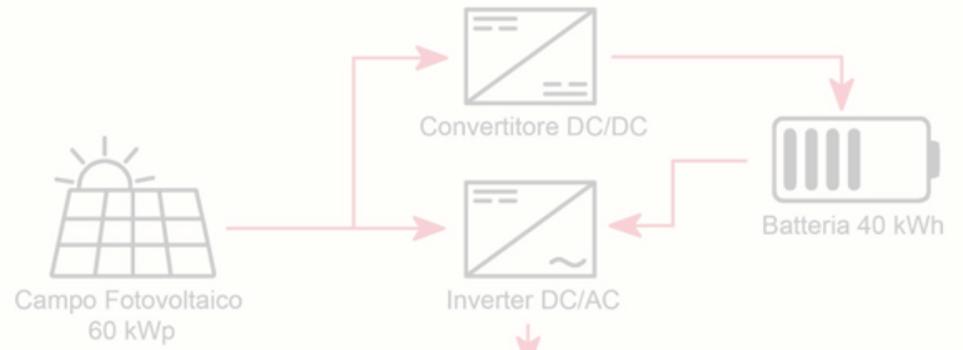


Utilizzazione

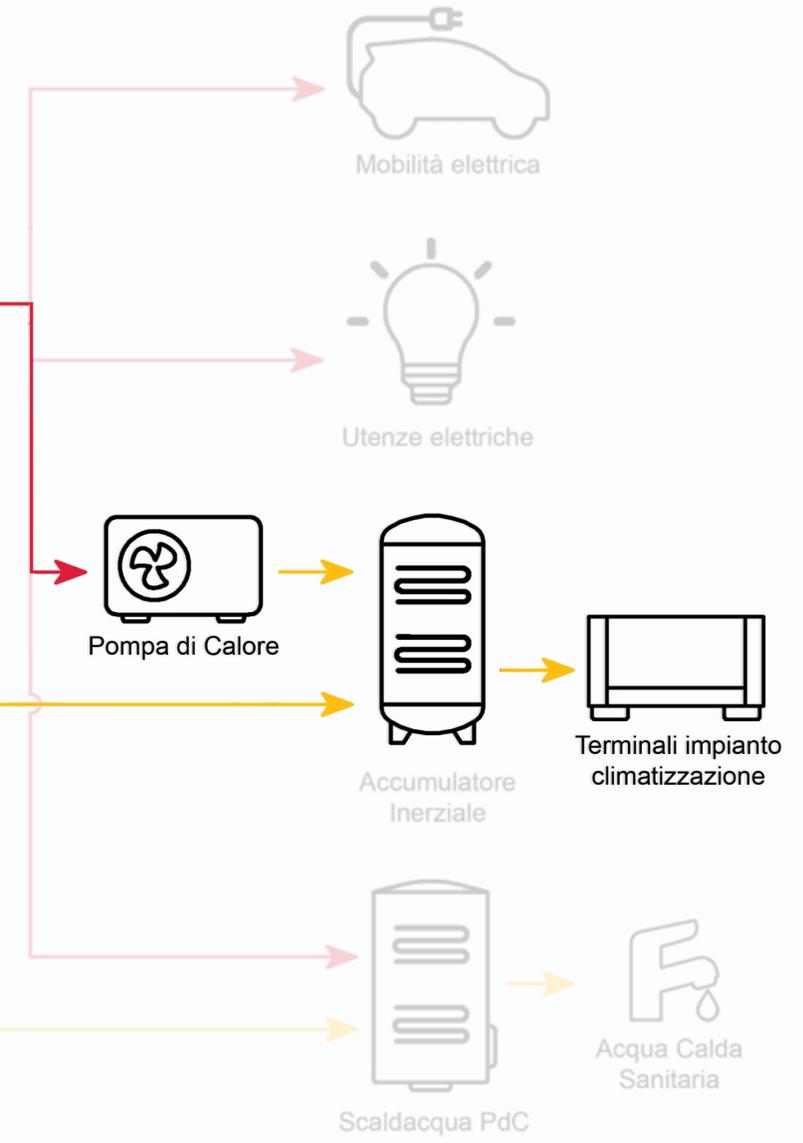


Climatizzazione con Pompa di Calore Aria-Acqua

Produzione e Accumulo

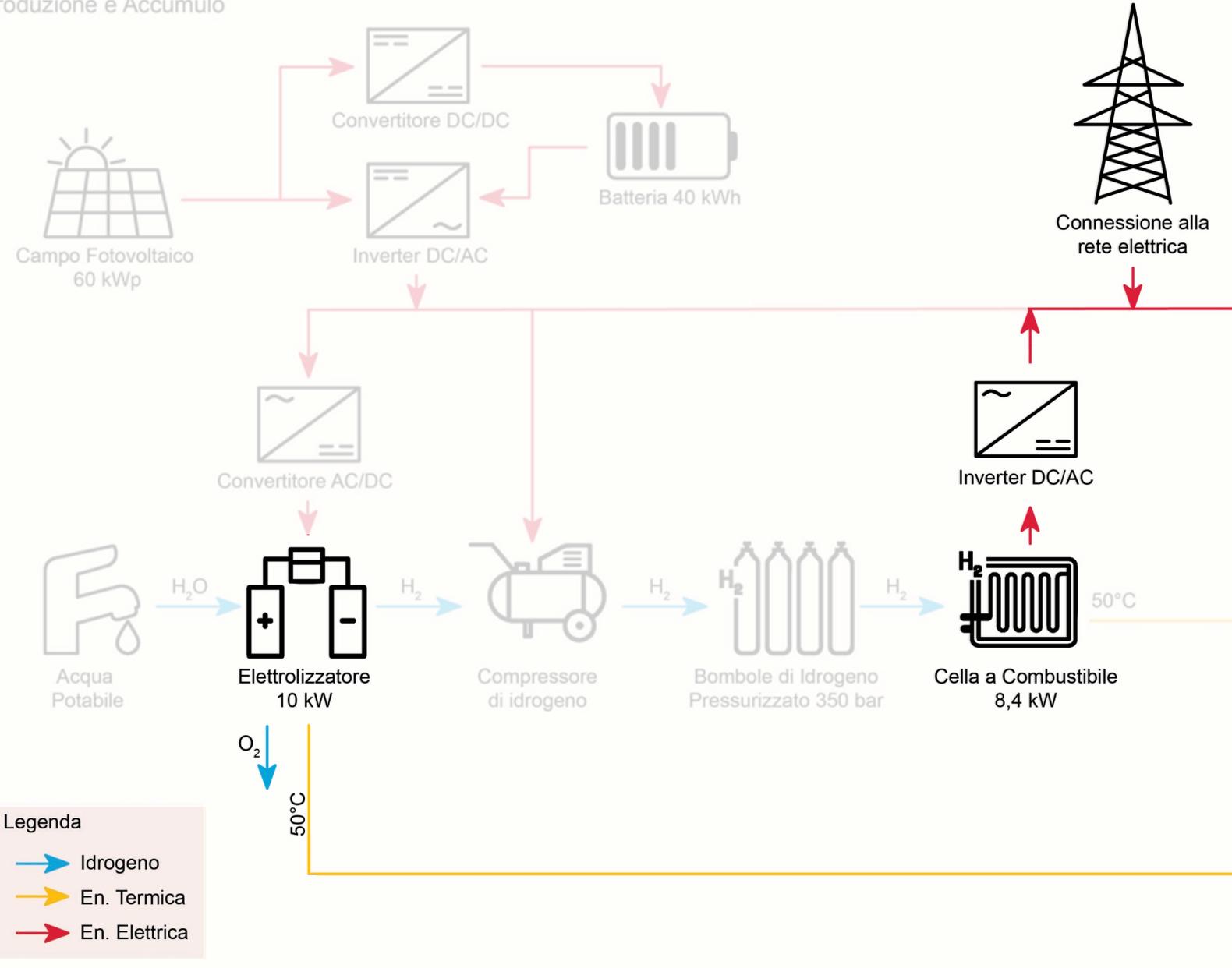


Utilizzazione

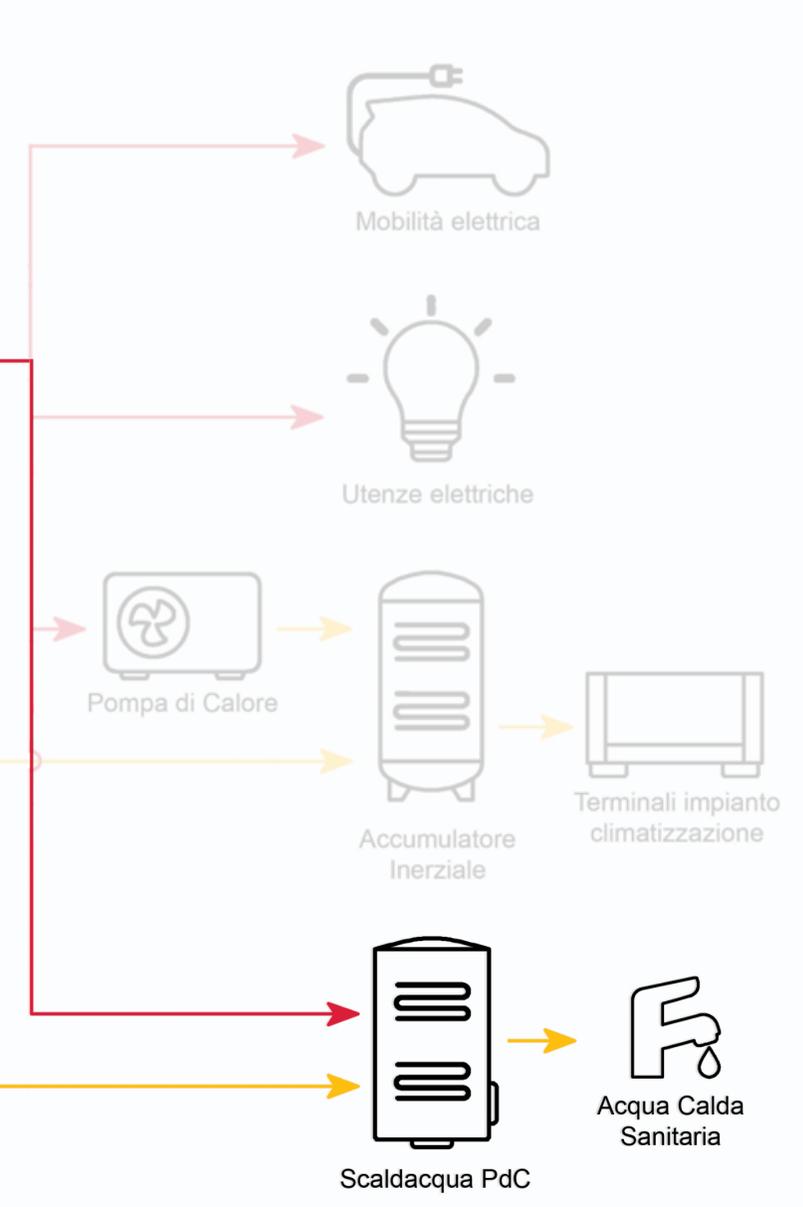


Acqua Calda Sanitaria

Produzione e Accumulo



Utilizzazione



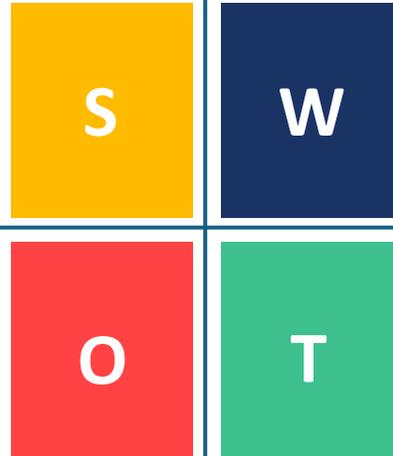
Legenda

- Idrogeno
- En. Termica
- En. Elettrica

S.W.O.T. Analysis

Strengths

1. Risparmio energetico (58,7 MWh/anno)
2. Abbattimento delle emissioni di gas effetto serra (circa 27 tCO₂/anno)
3. Risparmio in bolletta (circa 24.400,00 €/anno)



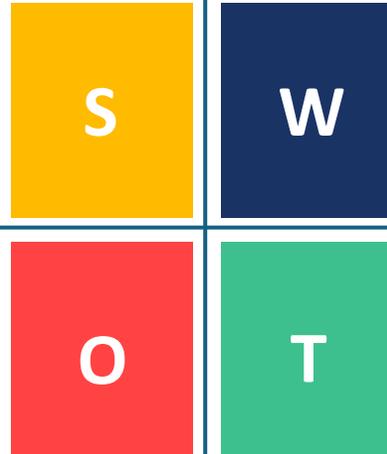
S.W.O.T. Analysis

Strengths

1. Risparmio energetico (58,7 MWh/anno)
2. Abbattimento delle emissioni di gas effetto serra (circa 27 tCO2/anno)
3. Risparmio in bolletta (circa 24.400,00 €/anno)

Weaknesses

1. Elevato costo dell'impianto (circa 400.000,00 €)
2. Periodo di ritorno dell'investimento (oltre 16 anni)



S.W.O.T. Analysis

Strengths

1. Risparmio energetico (58,7 MWh/anno)
2. Abbattimento delle emissioni di gas effetto serra (circa 27 tCO₂/anno)
3. Risparmio in bolletta (circa 24.400,00 €/anno)

S

Weaknesses

1. Elevato costo dell'impianto (circa 400.000,00 €)
2. Periodo di ritorno dell'investimento (oltre 16 anni)

W

1. Modello di riferimento per la Pubblica Amministrazione
2. Diffusione della cultura del risparmio energetico e della riduzione di CO₂

O

T

Opportunities

S.W.O.T. Analysis

Strengths

1. Risparmio energetico (58,7 MWh/anno)
2. Abbattimento delle emissioni di gas effetto serra (circa 27 tCO2/anno)
3. Risparmio in bolletta (circa 24.400,00 €/anno)

S

Weaknesses

1. Elevato costo dell'impianto (circa 400.000,00 €)
2. Periodo di ritorno dell'investimento (oltre 16 anni)

W

1. Modello di riferimento per la Pubblica Amministrazione
2. Diffusione della cultura del risparmio energetico e della riduzione di CO2

O

T

1. Rischio Incendio
2. Rischio Esplosione

Opportunities

Threats

Prevenzione Incendi

D.P.R. 151/2011 – Regolamento di Prevenzione Incendi

N.	ATTIVITÀ	CATEGORIA		
		A	B	C
3	Impianti di riempimento, depositi, rivendite di gas infiammabili in recipienti mobili:			
	a) compressi con capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 0,75 m ³		rivendite, depositi fino a 10 m ³	Impianti di riempimento, depositi oltre 10 m ³

Allegato I al D.P.R. 151/2011 (tabella con elenco attività soggette)

D.P.R. 151/2011 – Regolamento di Prevenzione Incendi

Attività	Sottoclasse	Categoria DPR 151/11	Descrizione Attività	Descrizione Sottoclasse
3	1	B	Impianti di riempimento, depositi, rivendite di gas infiammabili in recipienti mobili: a) compressi con capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 0,75 m ³ .	Rivendite
3	2	B	Impianti di riempimento, depositi, rivendite di gas infiammabili in recipienti mobili: a) compressi con capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 0,75 m ³ .	Depositati fino a 10 m ³
3	3	C	Impianti di riempimento, depositi, rivendite di gas infiammabili in recipienti mobili: a) compressi con capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 0,75 m ³ .	Depositati oltre 10 m ³
3	4	C	Impianti di riempimento, depositi, rivendite di gas infiammabili in recipienti mobili: a) compressi con capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 0,75 m ³ .	Impianti di riempimento

Allegato III al D.M. 07/08/2012 (Tabella di sottoclassificazione delle attività)

D.P.R. 151/2011 – Regolamento di Prevenzione Incendi

Attività	Sottoclasse	Categoria DPR 151/11	Descrizione Attività	Descrizione Sottoclasse
3	1	B	Impianti di riempimento, depositi, rivendite di gas infiammabili in recipienti mobili: a) compressi con capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 0,75 m ³ .	Rivendite
3	2	B	Impianti di riempimento, depositi, rivendite di gas infiammabili in recipienti mobili: a) compressi con capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 0,75 m ³ .	Depositati fino a 10 m ³
3	3	C	Impianti di riempimento, depositi, rivendite di gas infiammabili in recipienti mobili: a) compressi con capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 0,75 m ³ .	Depositati oltre 10 m ³
3	4	C	Impianti di riempimento, depositi, rivendite di gas infiammabili in recipienti mobili: a) compressi con capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 0,75 m ³ .	Impianti di riempimento

Allegato III al D.M. 07/08/2012 (Tabella di sottoclassificazione delle attività)

Misure di sicurezza previste dal D.M. 7 luglio 2023

«Regola tecnica di prevenzione incendi per l'individuazione delle metodologie per l'analisi del rischio e delle misure di sicurezza antincendio da adottare per la progettazione, la realizzazione e l'esercizio di impianti di produzione di idrogeno mediante elettrolisi e relativi sistemi di stoccaggio».

A titolo esemplificativo e non esaustivo, si hanno le seguenti misure di sicurezza:

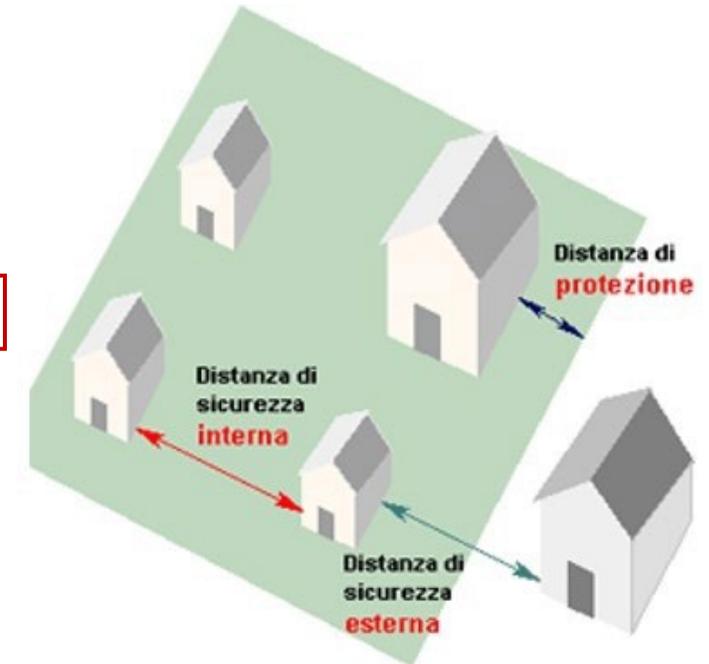
1. Distanze di sicurezza in funzione della pressione di esercizio.
2. Compatibilità dei materiali con l'idrogeno alle temperature e pressioni di utilizzo tenendo conto dei fenomeni di infragilimento. La regola tecnica indica come riferimento la norma UNI EN ISO 11114-4
3. Conformità dell'impianto alla norma ISO 22734 (Hydrogen generators using water electrolysis - Industrial, commercial, and residential applications). Requisiti di sicurezza dell'impianto gas (tubazioni, valvole di intercettazione, di scarico e di sicurezza);
4. Requisiti richiesti per il Box contenente le unità di accumulo idrogeno;
5. Impianto di rilevazione e allarme incendio a copertura di tutti gli elementi pericolosi dell'impianto;
6. Misure di prevenzione per la formazione di miscele esplosive.
7. Impianto di arresto di emergenza ESS (Emergency Shutdown System);
8. Rete di idranti con livello di pericolosità almeno 2 secondo la UNI10779;
9. Impianto di raffreddamento a pioggia a copertura delle unità di accumulo dell'idrogeno.

Distanze di Sicurezza D.M. 7 luglio 2023

Titolo IV, punto 19.1

Nella progettazione, sono rispettate le seguenti distanze di sicurezza

PRESSIONE IDROGENO (barg)	DISTANZE DI SICUREZZA (m)		
	ESTERNA	PROTEZIONE	INTERNA
$700 < P \leq 1000$	30	15	15
$500 < P \leq 700$	25	15	15
$300 < P \leq 500$	20	15	15
$100 < P \leq 300$	17	12	12
$50 < P \leq 100$	12	8	8
$30 < P \leq 50$	8	6	6
$10 < P \leq 30$	7	5	5
$P \leq 10$	5	3	3



Box bombole - D.M. 7 luglio 2023

Titolo II, punto 9

Caratteristiche:

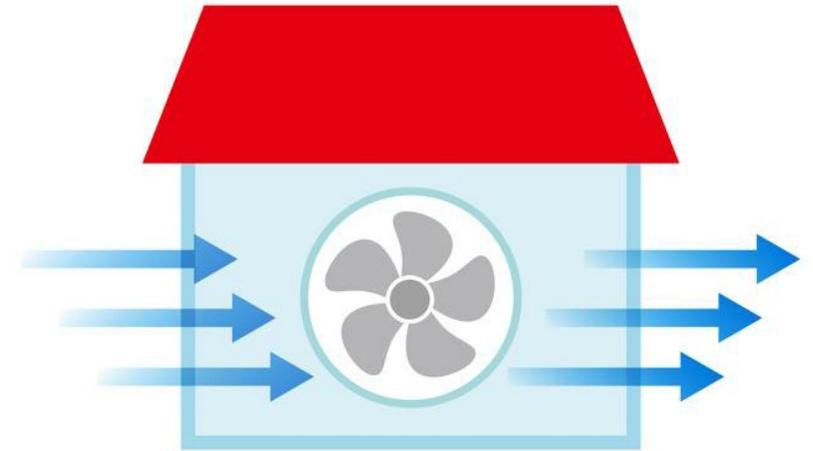
- Pareti in **calcestruzzo armato o in altro materiale incombustibile** di adeguata resistenza meccanica;
- Pavimentazione realizzata in **materiale incombustibile**;
- **Copertura, se presente, di tipo leggero e realizzata in materiale incombustibile**;
- Può avere uno o due lati completamente aperti a condizione che le aperture non siano rivolte verso zone con presenza di persone e/o aree con parti vulnerabili dell'impianto;
- L'**altezza della delimitazione maggiore di almeno 1 m** rispetto al punto più alto degli elementi pericolosi in esso contenuti;
- Dotato di idonei accorgimenti per **prevenire la formazione e la permanenza di atmosfere esplosive** (impianti di ventilazione meccanica);
- **Presenza di dispositivi di sicurezza che impediscano alla pressione dell'idrogeno di superare il valore di progetto**;
- **Presenza di impianto di raffreddamento automatico a pioggia, a servizio delle bombole, attivato da rilevatori di incendio**;
- **Presenza di valvole di intercettazione di emergenza presso ciascuna unità di accumulo**



Prevenzione di formazione di miscele esplosive - D.M. 7 luglio 2023

Titolo II, punto 14

- Valutazione del rischio ATEX;
- Adozione di misure, quali:
 - a) Installazione di un **sistema di controllo del processo** che attua l'interruzione dell'alimentazione delle apparecchiature elettriche non classificate ATEX e l'avvio della ventilazione, in caso di deviazione della portata e della pressione dell'idrogeno dai limiti di funzionamento dell'impianto;
 - b) Installazione di un **sistema di ventilazione** dimensionato in modo da mantenere una **concentrazione** media di idrogeno gassoso all'interno dei locali **al di sotto dell'1% in volume** (la regola tecnica indica come riferimento la norma ISO 22734), con attivazione tramite un impianto di rilevazione di idrogeno (la regola tecnica indica come riferimento la norma CEI EN 60079-29 parte 1 e parte 2);
 - c) Installazione nel locale elettrolizzatore di un impianto di **rilevazione di ossigeno** che attiva il sistema di ventilazione in caso di **concentrazione in aria superiore al 23,5% in volume**



Impianti di rilevazione e allarme - D.M. 7 luglio 2023

Titolo III, punto 15

Gli elementi pericolosi dell'impianti sono sorvegliati mediante l'installazione di:

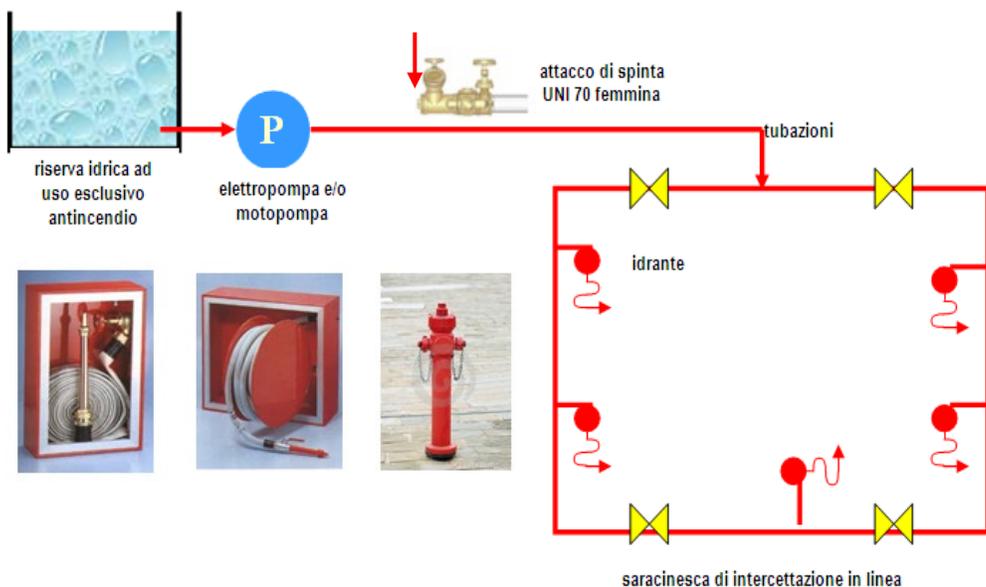
- *sistema di rilevazione, controllo e monitoraggio di temperatura degli elementi pericolosi dell'impianto;*
- ***sistema di rilevazione e controllo fughe di gas in tutte le aree dell'impianto suscettibili di essere interessate dalla possibile formazione di un'atmosfera esplosiva***
- ***sistema di rilevazione di fiamma collocato in tutte le aree dell'impianto suscettibili di essere interessate dall'accensione di eventuali perdite di idrogeno;***
- ***impianto di rivelazione e allarme incendi (IRAI) a protezione dell'intera attività, con le seguenti funzioni principali:***
 - A, rivelazione automatica dell'incendio;*
 - B, funzione di controllo e segnalazione;*
 - C, funzione di allarme incendio;*
 - L, funzione di alimentazione di sicurezza;*
 - D, funzione di segnalazione manuale.*



Impianti di spegnimento e raffreddamento - D.M. 7 luglio 2023

Titolo III, punto 16

Gli elementi pericolosi dell'impianto sono protetti con una rete idranti progettata, installata, collaudata e gestita secondo la regola dell'arte. LA regola tecnica indica come riferimento la norma UNI 10779, assumendo per l'attività un livello di pericolosità non inferiore a 2.



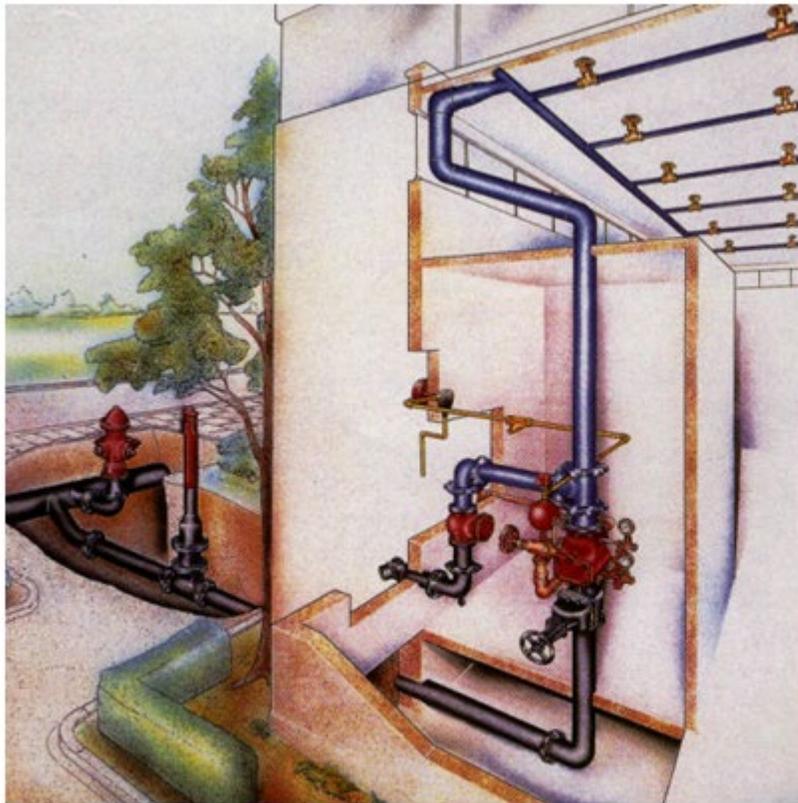
Livello di pericolosità	Apparecchi considerati contemporaneamente operativi		
	Protezione interna ³⁾⁴⁾	Protezione esterna ⁴⁾	Durata
1	2 idranti ¹⁾ con 120 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,2 MPa	Generalmente non prevista	≥30 min
	oppure		
	4 naspi ¹⁾ con 35 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,2 MPa		
2	3 idranti ¹⁾ con 120 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,2 MPa	4 attacchi ¹⁾ DN 70 con 300 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,3 MPa	≥60 min
	oppure		
	4 naspi ¹⁾ con 60 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,3 MPa		
3	4 idranti ¹⁾ con 120 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,2 MPa	6 attacchi ¹⁾²⁾ DN 70 con 300 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,4 MPa	≥120 min
	oppure		
	6 naspi ¹⁾ con 60 l/min cadauno e pressione residua non minore di 0,3 MPa		

- 1) Oppure tutti gli apparecchi installati nel compartimento antincendio, o gli attacchi previsti per la protezione esterna, se minori al numero indicato.
- 2) In presenza di impianti automatici di spegnimento il numero di attacchi di uscita DN 70 può essere limitato a 4 e la durata a 90 min.
- 3) Per compartimenti antincendio maggiori di 4.000 m² ed in assenza di protezione esterna, il numero di idranti o naspi contemporaneamente operativi deve essere doppio rispetto a quello indicato,
- 4) Le prestazioni idrauliche richieste si riferiscono a ciascun apparecchio in funzionamento contemporaneo con il numero di apparecchi previsti nel prospetto. Si deve considerare il contemporaneo funzionamento solo di una tipologia di protezione (interna o esterna).
- 5) Nelle attività con livello di pericolosità 2 e 3, per le quali non sia prevista la realizzazione della protezione esterna, si deve comunque installare, in posizione accessibile e sicura, almeno un idrante soprasuolo o sottosuolo, conforme rispettivamente alle norme UNI EN 14384 e UNI EN 14339, atto al rifornimento dei mezzi di soccorso dei vigili del fuoco. Ciascun idrante deve assicurare un'erogazione minima di 300 l/min per almeno 60 minuti e deve essere collegato alla rete (acquedotto) pubblica o privata o, in subordine, derivato dalla stessa rete idranti, prevedendo il contemporaneo funzionamento con la protezione interna.

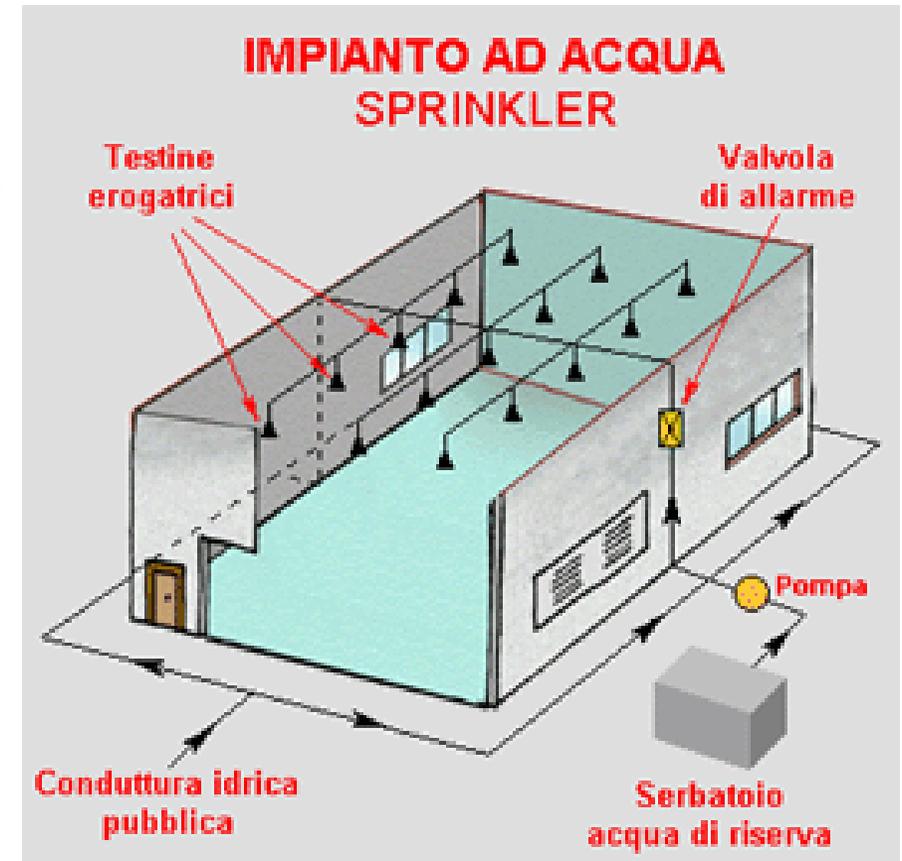
Impianti di spegnimento e raffreddamento - D.M. 7 luglio 2023

Titolo III, punto 16

Gli stoccaggi di idrogeno compresso, fatta eccezione per i pacchi bombole di volume geometrico inferiore a 1 m³, sono protetti anche tramite impianti di raffreddamento a pioggia.



Stazione di controllo



Sistema di emergenza (ESS) - D.M. 7 luglio 2023

Titolo III, punto 18

*Installazione di **un sistema di emergenza ESS** (Emergency Shutdown System) che interrompe immediatamente l'alimentazione degli elementi pericolosi dell'impianto nei seguenti casi:*

- a) concentrazione di idrogeno in atmosfera pari o superiore all'1% in volume;*
- b) allarme incendio attivato dall'impianto IRAI;*
- c) mancanza della ventilazione meccanica;*
- d) attivazione da un pulsante di emergenza ESD;*
- e) pressione differenziale all'interno delle celle (stack) tra ossigeno e idrogeno oltre i limiti indicati dal costruttore;*
- f) alta pressione e alta temperatura in uscita dai compressori;*
- g) bassa pressione di aspirazione in ingresso ai compressori.*



Sistema di emergenza (ESS) - D.M. 7 luglio 2023

Titolo III, punto 18

*Installazione di **un sistema di emergenza ESS** (Emergency Shutdown System) che interrompe immediatamente l'alimentazione degli elementi pericolosi dell'impianto che garantisce almeno le seguenti funzioni:*

- a) arrestare la produzione di idrogeno (elettrolizzatore);*
- b) depressurizzare le apparecchiature contenenti idrogeno in pressione, con convogliamento dello stesso in un luogo sicuro,*
- c) isolare completamente la linea di bassa pressione dall'aspirazione e la linea di mandata dei compressori;*
- d) isolare completamente gli stoccaggi;*
- e) interrompere il circuito elettrico dell'impianto e delle installazioni accessorie, ad esclusione delle linee che alimentano gli impianti di sicurezza.*



Citazione di Jules Verne

Water will be the coal of the future!
(The Mysterious Island - Captain
Nemo Trilogy
1874 – Jules Verne)



Grazie per la cortese attenzione

