

Figura 1: Esempio di armadio per contatore

È pure già stata sperimentata una soluzione intermedia fra il criterio di misurazione del consumo di energia elettrica col contatore elettromagnetico e quello elettronico. Conservando il vecchio contatore elettromagnetico, si installa un misuratore di consumo dotato di orologio, che permette di registrare i consumi secondo determinate fasce orarie (fig. 1). In un condominio multipiano la distribuzione interna dell'energia elettrica si attua collocando lungo il vano scale una serie di tubazioni di sufficiente diametro. Si possono avere i seguenti casi:

- a) **i contatori sono collocati nei singoli alloggi.** La società di distribuzione posa la linea trifase (compreso il neutro) fino alla cassetta di distribuzione a ciascun piano. Posto che al piano ci siano tre alloggi, ciascuna fase più il neutro vengono portati fino al contatore, ripartendo così il carico. Tutto l'impianto comprendente la cassetta di distribuzione principale (ad esempio, posata in cantina, se la linea proviene dal basso, o altrove, se la linea è aerea), le linee montanti (trifase più neutro), le cassette al piano e i contatori sono di proprietà della società ed è vietato manipolarli;
- b) **i contatori sono centralizzati.** La società collega la linea partendo dalla cassetta principale, ripartendo i carichi delle singole fasi ai singoli contatori. Normalmente, ciascun contatore a valle ha il suo interruttore differenziale. Dall'uscita del contatore in poi, l'impianto è di proprietà dell'utente. Dall'uscita dell'interruttore differenziale partono i cavi che raggiungono la singola abitazione.

Da ricordare

Per un'utenza domestica normale si richiede una disponibilità di 3 kW di potenza, che in alcuni casi può salire a 4,5 kW. I contatori sono tarati in modo che l'interruttore magnetotermico scatta quando la potenza consumata supera il valore di contratto.

Un numero indicativo di punti di utenza negli edifici abitativi è indicato nella **tabella 1**. La tendenza è quella di aumentare le prese di corrente dal momento che il numero di apparecchi da utilizzare è in continua crescita.

Tabella 1: Numero di circuiti in case di abitazione secondo DIN 18015 parte 2

Superficie abitativa in m ²	Numero dei circuiti per illuminazione e prese
fino a 50	2
da 50 a 75	3
da 75 a 100	4
da 100 a 125	5
oltre 125	8

Si prevedono circuiti preferenziali per le utenze che devono sempre rimanere inserite come:

- circuito di allarme
- frigorifero

Da ricordare

Le linee preferenziali devono essere dotate di interruttori differenziali separati.

La linea di distribuzione principale in un alloggio, secondo i carichi, deve avere una sezione da 4 a 6 mm². Da questa linea dorsale si dipartono le diramazioni che alimentano le singole utenze (lampade, apparecchi). La normativa richiede attualmente che le diramazioni non siano di sezione inferiore a 1,5 mm². Molto raramente in Europa si adotta ancora il conduttore di alluminio. In questo caso, la sezione minima è di 2,5 mm².

Esercitazione

- 1 Indica quattro valori di tensione utilizzata nelle reti di distribuzione pubblica.
- 2 Spiega la denominazione di sistema TN-C-S.
- 3 Quali condizioni di posa valgono per i conduttori PEN nel sistema TN?
- 4 Come si distinguono i sistemi a corrente trifase TN, TT e IT?
- 5 Quale importanza ha la messa a terra del conduttore PEN attraverso la terra di fondazione?
- 6 Di quali parti è formato un impianto di distribuzione elettrica domestico?
- 7 In un edificio quali parti dell'impianto devono essere collegate a terra?
- 8 Come avviene la distribuzione di energia elettrica in un condominio?
- 9 Qual è la sezione minima di un conduttore utilizzabile in un impianto domestico?



5.6 Protezione di linee e apparecchi elettrici

La protezione di linee e apparecchi elettrici viene realizzata mediante dispositivi di protezione da sovracorrente, ad esempio fusibili o interruttori magnetotermici e/o differenziali.

Se un conduttore elettrico è attraversato da una corrente, si riscalda. Il riscaldamento dipende dall'intensità della corrente. Se si allacciano alla linea troppi apparecchi utilizzatori, l'intensità di corrente aumenta e per evitare danni ai cavi per surriscaldamento il sovraccarico porta a un'interruzione del circuito prodotta dal dispositivo di protezione. Anche un corto circuito causato da un contatto accidentale fra due fasi o fra una fase e il neutro o il filo di terra provoca un aumento repentino di intensità di corrente nei conduttori e il dispositivo di protezione apre il circuito.

Un surriscaldamento indebito rovina l'isolamento dei conduttori elettrici ed è frequentemente causa di incendi. I dispositivi di protezione intervengono anche quando si verifica una sovracorrente che proviene dall'esterno, come nel caso di una scarica atmosferica (fulmine).

Da ricordare

I dispositivi di protezione da sovracorrente proteggono le linee e gli apparecchi da sovraccarico e corto circuito. Interrompono automaticamente il circuito elettrico.

Fusibili

Fino a pochi decenni fa sia i circuiti elettrici domestici, sia quelli industriali di non elevata potenza erano protetti dalle sovracorrenti e dai corti circuiti solo **con fusibili**.

Il principio di questo dispositivo è molto semplice. Le fasi di corrente vengono interrotte collegandole attraverso un ponticello che porta un filo di metallo di sezione tale che una data intensità di corrente lo surriscalda al punto da fonderlo e quindi da interrompere il circuito. Questo filo metallico è la parte principale del dispositivo denominato "fusibile". Attualmente, i vari tipi di fusibili sono stati sostituiti da interruttori magnetotermici.

Il fusibile più utilizzato anche in campo industriale è stato quello denominato "a cartuccia" (fig. 1). Quando ancora era utilizzata la ceramica come involucro o componente di molti dispositivi elettrici, la stessa conformava una base da avvitare sul quadro elettrico portante una ghiera di ottone con un grande filetto. Sulla ghiera si avvitava un tappo di ceramica portante un'altra ghiera filettata avvitabile sulla prima. Le due parti formavano una cavità entro cui si inseriva la cartuccia. Il tappo era modellato in modo da avere una finestra che permetteva

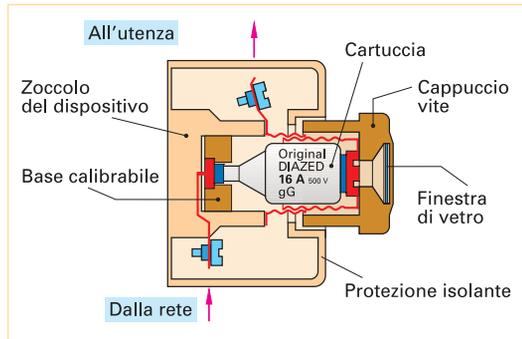


Figura 1: Fusibili a cartuccia

di vedere la testa della cartuccia. La cartuccia era costituita da un cilindro cavo di porcellana, attraverso il quale si faceva passare un filo, il fusibile. A un'estremità della cartuccia il filo terminava con un dischetto metallico colorato con un codice di colore secondo l'ampereaggio sopportato dal fusibile. Il filo del fusibile era montato con una piccola molla. Quando il fusibile fondeva, la molla spingeva il cappuccio fuori dalla cartuccia e attraverso il vetrino del tappo si poteva constatare se il fusibile era saltato (fig. 2).

Questi fusibili sono ancora raramente utilizzati e di seguito il testo li illustra.

I fusibili a cartuccia hanno il difetto di non essere rapidi a sufficienza per interrompere il circuito così come gli interruttori differenziali.

In questi dispositivi è possibile calibrare la base inserita nello zoccolo di porcellana secondo determinate portate di corrente. La calibratura si esegue con un apposito cacciavite o con una pinzetta.

Da ricordare

Le cartucce calibrate devono essere utilizzate in funzione della massima sovracorrente sopportata dal circuito da proteggere.

Un modello di fusibile a cartuccia è realizzato con una base calibrata che ha un diametro diverso secondo la portata del fusibile. Questo evita di scambiare le cartucce per errore o disattenzione con altre di portata maggiore (fig. 1, pag. 131).

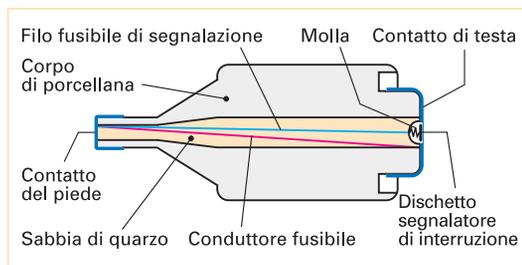


Figura 2: Struttura della cartuccia



5.6 Protezione di linee e apparecchi elettrici

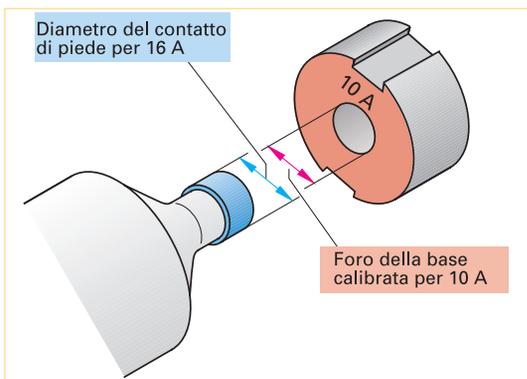


Figura 1: Principio di non intercambiabilità dei fusibili

Le cartucce bruciate devono essere sostituite e non bisogna mai tentare di ripararle inserendo un qualsiasi altro filo metallico nella loro cavità. Non è infatti permesso riparare o realizzare ponti sui fusibili, perché in questo modo non risulta più certa la protezione della linea. Se la causa di un incendio dovuto al circuito elettrico è un fusibile riparato o ponticellato, l'assicurazione antincendio può rifiutare il risarcimento.

Le intensità della corrente di dimensionamento delle cartucce fusibili sono regolate da norme (**tabella 1**).

Tabella 1: Codici colore delle cartucce				
Dimensionamento corrente in A	Colore	Dimensione dell'inserito fusibile (sistema tedesco)		Filetto del cappuccio a vite
		D	DO	
2	Rosa	D II	D 01	E 27 (D II) E 14 (D 01)
4	Marrone			
6	Verde			
10	Rosso			
13	Nero			
16	Grigio			
20	Blu			
25	Giallo	D III	D 02	E 18 (D 02) E 33 (D III)
35	Nero			
50	Bianco			
63	Rame	D IV H	D 03	R 1 1/4 (D IV H) M 30x2 (D 03)
80	Argento			
100	Rosso			

I dispositivi di protezione a cartuccia fusibile distinguono il vecchio sistema D (Diazed) e il nuovo sistema DO (Neozed), che fa risparmiare spazio (**fig. 2**).

Sistema D. Nel sistema Diazed si usano di solito le dimensioni DII e DIII. Gli inserti fusibili del sistema D sono sicurezze globali. Si utilizzano per proteg-

gere le linee e apparecchi che causano forti correnti di inserimento.

Sistema DO. I sistemi Neozed esistono nelle dimensioni DO1, DO2 e DO3. Gli zoccoli dei fusibili del sistema DO sono più sottili di quelli del sistema D, con uguale corrente di dimensionamento. Le cartucce fusibili Neozed garantiscono un'ottima sicurezza. Hanno minore perdita e pertanto si riscaldano meno delle cartucce fusibili del sistema D, a parità di corrente di carico.

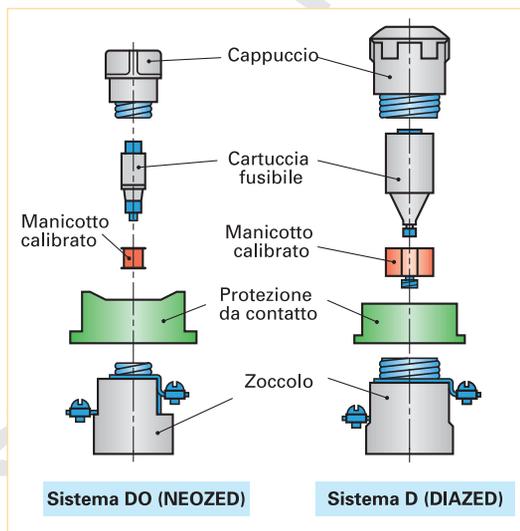


Figura 2: Struttura dei sistemi di fusibili a cartuccia

Fusibili di protezione di piccoli apparecchi (fusibili G). Proteggono apparecchi più delicati delle utenze uziali, ad esempio gli strumenti di misura da sovraccarico e corto circuito. Sono formati da un supporto (portafusibile), dall'inserito fusibile e dal cappuccio di chiusura (**fig. 3**).

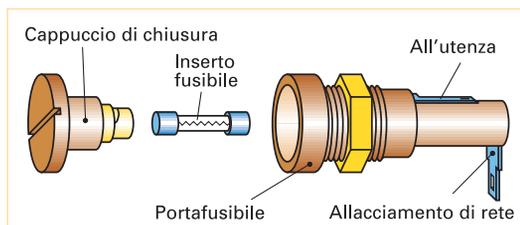


Figura 3: Supporto di fusibili di protezione per apparecchi

La capacità di disinserimento dei fusibili G deve essere superiore alla corrente di corto circuito che deve essere interrotta dal fusibile. La capacità di disinserimento è indicata con lettere di riconoscimento o con stampati i valori di corrente in ampère o milliampère.



Capitolo 5 Cenni di elettrotecnica

L'insero fusibile a forma tubolare in vetro o ceramica ha alle sue estremità due cappucci metallici di contatto, collegati dal conduttore fusibile. Le sicurezze fusibili G sono realizzate di solito per la tensione di dimensionamento 250 V, con correnti da 0,032 A a 20 A. Secondo il tipo di impiego, si distinguono i fusibili G nella caratteristica di disinserimento tra super-rapidi, rapidi, medio-lenti, lenti e super-lenti (**fig. 1**).

Interruttori magnetotermici

Gli interruttori di protezione di linea magnetotermici sono dispositivi di protezione da sovracorrente che si possono reinserire dopo un eventuale azionamento (**fig. 2**).

Gli interruttori hanno un attuatore di sgancio termico e uno meccanico e proteggono linee e impianti da sovraccarico e corto circuito. I due attuatori di sgancio dell'interruttore sono inseriti in serie.

L'attuatore di sgancio termico contiene una striscia bimetallica, formata da due nastri di metallo graffiati e sovrapposti, con diversi coefficienti di allungamento termico. La corrente dell'utenza allacciata scorre attraverso una resistenza e riscalda la striscia bimetallica, che si deforma incurvandosi.

Se la deformazione della striscia bimetallica supera un determinato valore, una molla scatta e avviene lo sgancio dei contatti di chiusura e il circuito si interrompe.

Gli interruttori magnetotermici hanno una chiusura di blocco con azionamento libero, cioè si possono reinserire quando la causa del disinserimento, ad esempio un corto circuito, è stata eliminata. Se la causa non è stata eliminata, non è possibile reinserire l'interruttore di protezione, anche se la leva dell'interruttore è tenuta dall'operatore in posizione On.

Da ricordare

In caso di sovraccarico, il dispositivo di sgancio termico dell'interruttore magnetotermico interrompe il circuito elettrico ad azione ritardata. Esso protegge l'impianto e i mezzi di lavoro solo dal sovraccarico, ma non dal corto circuito, che è invece gestito dal secondo attuatore.

Se nel circuito si produce una corrente di corto circuito, la bobina del dispositivo di sgancio elettromagnetico genera un campo magnetico più intenso e attira l'indotto dell'attuatore di sgancio. Il contatto dell'interruttore magnetotermico di conseguenza si apre immediatamente.

Da ricordare

Il dispositivo di sgancio elettromagnetico di un interruttore magnetotermico è ad azione rapida. Protegge l'impianto e i mezzi di lavoro da corti circuiti.

Un'ulteriore limitazione della corrente di corto circuito si ottiene in questi interruttori di protezione mediante l'inserimento di un'ancora all'interno dell'avvolgimento (**fig. 3**). In caso di corto circuito, l'ancora viene attirata rapidamente dalla bobina e attiva lo sgancio urtando contro un elemento mobile. Il contatto si apre prima che la corrente di corto circuito raggiunga il valore massimo.

Negli interruttori di protezione con correnti nominali superiori a 100 A, la parte fissa e quella mobile del contatto sono spesso affacciate e parallele una rispetto all'altra. In caso di corto circuito, l'elemento mobile viene respinto da quello fisso e apre i contatti.



Figura 1: Fusibile di sicurezza

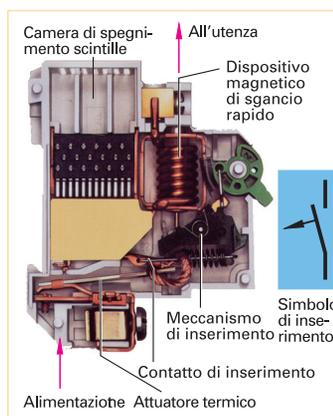


Figura 2: Spaccato di interruttore magnetotermico

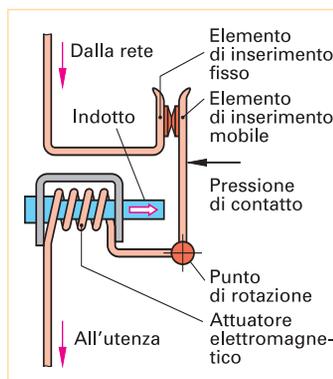


Figura 3: Attuatore elettromagnetico ad ancora



5.6 Protezione di linee e apparecchi elettrici

Poiché all'apertura dei contatti si produce un piccolo arco voltaico, l'interruttore ha una camera spegni-scintille in cui l'arco voltaico viene spento. Poiché l'attuatore termico dell'interruttore magnetotermico controlla la protezione da sovraccarico e l'attuatore elettromagnetico la protezione dal corto circuito, la curva caratteristica di risposta dell'interruttore è formata da due linee, una per il settore di sovraccarico e una per quello di corto circuito.

Gli interruttori magnetotermici sono usati in genere nei tipi B e C. Hanno la caratteristica di sgancio di tipo B o C.

Il **tipo B** protegge le linee prevalentemente da sovraccarico e corto circuito. Il **tipo C** viene usato per proteggere da sovraccarico e corto circuito apparecchi che causano forti correnti di inserimento, ad esempio i motori. In campo di protezione da sovraccarico, le linee caratteristiche dell'attuatore di questi interruttori di tipi B e C si sovrappongono. Nel settore del corto circuito si distinguono il tipo B e C secondo il multiplo ("n") della corrente di dimensionamento nei due settori in parallelo (**fig. 1**).

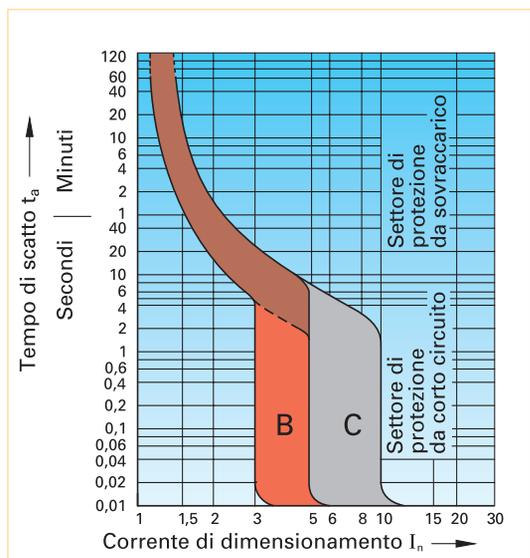


Figura 1: Linee caratteristiche di sgancio del tipo B e C

Da ricordare

Negli interruttori di tipo B l'attuatore elettromagnetico scatta con corrente di dimensionamento da 3 a 5 volte superiore e negli interruttori del tipo C con corrente di dimensionamento da 5 a 10 volte superiore.

Gli interruttori di protezione delle linee di distribuzione sono suddivisi secondo la possibilità di inserimento (inserimento a corto circuito da 3000 A, 6000 A o 10 000 A) e secondo il grado di limitazio-

ne del corto circuito nelle classi di limitazione 1, 2 e 3. Gli interruttori magnetotermici della classe di limitazione 3 hanno il massimo limite della corrente di corto circuito.

Negli impianti elettrici, in caso di guasto si deve poter disinserire soltanto il circuito elettrico difettoso. Per questo motivo si montano più interruttori separati. Resta da notare che questo tipo di protezione è oggi assunto quasi sempre da interruttori differenziali.

Da ricordare

Selettività del dispositivo di protezione da sovracorrente significa che si disinserisce sempre e soltanto quello che precede il punto del guasto.

Un interruttore magnetotermico funziona in modo selettivo solo se il suo tempo di sgancio è inferiore al tempo di disinserimento del fusibile che lo precede, se è presente. Questa misura viene indicata come protezione di backup. Gli interruttori magnetotermici devono essere scelti in modo che questa selettività sia rispettata. Attualmente, si dispone a monte un magnetotermico e a valle un differenziale. Nei circuiti a corrente trifase si usano interruttori magnetotermici tripolari, che disinseriscono tutte e tre le fasi, anche se si produce sovracorrente in un solo conduttore.

Esercitazione

- 1 Quali pericoli provengono dal sovraccarico di un circuito elettrico?
- 2 Quale differenza esiste tra un sovraccarico e un corto circuito nel circuito elettrico?
- 3 Quali funzioni hanno i dispositivi di protezione da sovracorrente?
- 4 Di quali componenti è formato un dispositivo di protezione a cartuccia?
- 5 Quale funzione ha il segnalatore di interruzione in un fusibile?
- 6 Perché si utilizzano basi calibrate nel portafusibile?
- 7 Perché i fusibili non devono mai essere riparati o ponticellati?
- 8 Quali intensità di corrente di dimensionamento dei fusibili esistono?
- 9 Indica i due sistemi di attuazione dell'interruttore magnetotermico e le loro funzioni.
- 10 Perché i fusibili non possono proteggere i motori elettrici da sovraccarico?
- 11 Spiega perché occorre proteggere da sovraccarichi un circuito.
- 12 Spiega il concetto di selettività.



Capitolo 5 Cenni di elettrotecnica

5.7 Pericoli nell'uso di corrente elettrica

La corrente elettrica è pericolosa per le persone. Tutti i liquidi del corpo umano, ad esempio il sudore, la saliva, il sangue e il liquido cellulare sono elettroliti, cioè sono conduttori di corrente elettrica.

Quasi tutti gli organi del corpo umano funzionano secondo impulsi elettrici che provengono dal cervello. Ad esempio, deboli impulsi elettrici di circa 50 mV comandano i movimenti dei muscoli. Gli impulsi vengono trasmessi dal cervello ai muscoli, attraverso i nervi. Se un nervo è interrotto, il muscolo non lavora più, è paralizzato. Tra i centri cerebrali, ad esempio tra il centro della vista, del movimento o del dolore, scorrono correnti elettriche.

Molti flussi presenti nel corpo umano possono essere rilevati e misurati mediante elettrodi. Ad esempio, l'elettrocardiogramma (ECG) mostra l'attività elettrica del cuore e l'elettroencefalogramma (EEG) l'attività elettrica del cervello.

Le correnti provenienti dall'esterno possono influire sul funzionamento degli organi (fig. 1).

- Il cuore funziona a impulsi elettrici che esso stesso genera quindi non dipende dal cervello. Il cuore genera ogni minuto circa 80 impulsi, a cui il muscolo cardiaco risponde con una contrazione. Se la corrente alternata scorre direttamente sul cuore, questo cerca di seguire dall'esterno gli impulsi più rapidi e forti, e lavora quindi più rapidamente. In questo modo si hanno disturbi del ritmo del cuore (aritmie cardiache), cioè il cuore lavora in modo irregolare. Se il flusso di corrente entra nella fase cosiddetta vulnerabile, allora si producono vibrazioni cardiache pericolose (fibrillazione). Come conseguenza, l'attività cardiaca cessa e la circolazione sanguigna si ferma. A causa della mancanza di ossigeno, dopo breve tempo si hanno danni alle cellule cerebrali e anche la morte.
- Se la corrente passa nel corpo umano, ad esempio toccando con una mano un conduttore sotto tensione, i muscoli si contraggono se la corrente esterna è molto superiore a quella del corpo. L'infortunato non riesce allora a staccarsi dal punto di contatto. Le reazioni del corpo umano dipendono dalla durata dell'effetto della corrente sul corpo. Si citano quattro situazioni particolari.

Determinante per le conseguenze di un incidente elettrico è l'intensità della corrente che scorre nel corpo al contatto con componenti sotto tensione.

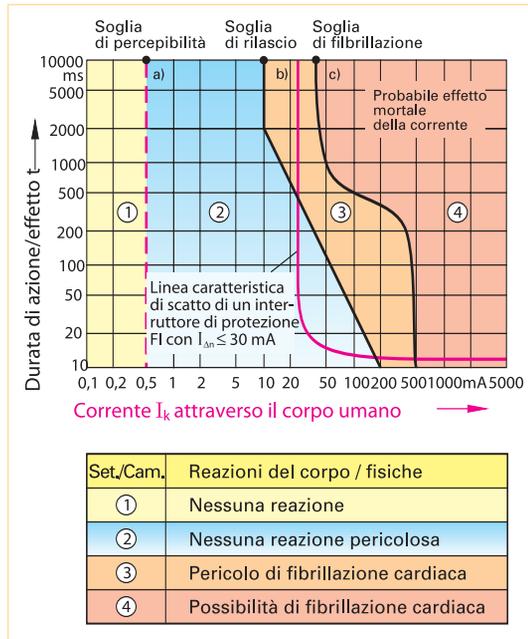


Figura 1: Effetti della corrente alternata a 50 Hz su persone adulte (IEC 47)

Per esperienza, si sa che già una corrente di 50 mA può causare la morte, se passa attraverso il cuore.

Con intensità di corrente alternata di 50 mA nel corpo umano e una resistenza del corpo R_k , che in base al circuito equivalente con R_{ki} e R_{ku} si presume di 1000 Ω , inizia la tensione di contatto pericolosa U_b con:

$$\begin{aligned}
 \text{Tensione di contatto} &= \text{resistenza del corpo} \cdot \text{corrente} \\
 U_b &= R_k \cdot I_k \\
 U_b &= 1000 \Omega \cdot 0,05 \text{ A} \\
 U_b &= 50 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Con tensioni di esercizio oltre 50 V di corrente alternata o 120 V di tensione continua, i lavori su componenti sotto tensione sono permessi solo se questi componenti, per motivi validi, non possono essere disinseriti. Questi lavori sono riservati a elettricisti specializzati e autorizzati e mai ad apprendisti.

— Da ricordare —

Non sottovalutate mai il pericolo della corrente elettrica sopra tensioni di 60V!

Non agite mai con leggerezza quando eseguite operazioni su un impianto o su apparecchi elettrici!



5.7 Pericoli nell'uso di corrente elettrica

La corrente I_k che scorre nel corpo dipende dalla tensione e dalla resistenza del corpo stesso. Questa resistenza del corpo R_K è formata dalla resistenza interna R_{Ki} e dalle resistenze di contatto (R_{c1} e R_{c2} nel punto di ingresso e uscita della corrente) (fig. 1).

Le resistenze di contatto R_{c1} e R_{c2} dipendono anche da fattori esterni. Pelle secca e indumenti asciutti hanno una resistenza maggiore. In caso di umidità, ad esempio sudore o pavimento bagnato, la resistenza di contatto è ridotta. Questa è tanto minore quanto maggiore è la superficie di contatto.

Conseguenze ed effetti delle scariche elettriche

L'effetto termico della corrente elettrica, in presenza di forti intensità di corrente, provoca ustioni nel punto di ingresso e uscita. Se si produce un arco voltaico, si può giungere alla carbonizzazione di parti del corpo con ustioni di quarto grado. Le conseguenze delle bruciatore sovraccaricano i reni e provocano la morte.

La corrente può decomporre il sangue elettroliticamente, specialmente se l'azione dura molto tempo. Ne derivano gravi forme di intossicazione. Questi inconvenienti possono presentarsi anche dopo molti giorni. Per essere sicuri, in caso di incidenti elettrici occorre consultare sempre un medico, anche se il soggetto non accusa disturbi.

La probabilità di scariche elettriche mortali può essere esclusa in modo efficace montando dispositivi di protezione da sovracorrente negli impianti elettrici.

Dispositivo di protezione da corrente di dispersione RCD (Residual Current Protective Device)

Il dispositivo di protezione da corrente di dispersione (relè differenziale) ha la funzione di disinserire entro 0,2-0,4 secondi tutti i mezzi di lavoro elettrici collegati, se per causa di un difetto di isolamento si presenta una tensione di contatto pericolosa sul corpo (fig. 2).

In un interruttore di protezione da corrente di dispersione RCD tutti i conduttori attivi (L1, L2, L3 e N) che dalla rete sono collegati al mezzo di lavoro sotto protezione sono connessi agli estremi di entrata (primario) di un trasformatore di corrente (fig. 1, pag. 136). Il circuito di utenza è collegato agli estremi in uscita degli avvolgimenti (secondari) dello stesso trasformatore. In condizione corretta, la somma delle correnti in ingresso e in uscita nel trasformatore è uguale a zero. I campi magnetici alternati dei conduttori attivi si escludono a vicenda. Negli avvolgimenti secondari del trasformatore non viene pertanto indotta alcuna tensione.

In presenza di un guasto dovuto a dispersione verso terra di un conduttore o con contatto a massa di un mezzo di lavoro, l'equilibrio delle correnti in ingresso e uscita viene compromesso, pertanto la somma delle correnti non è più uguale a zero. In questo caso, l'interruttore interviene.

La protezione degli impianti domestici (solitamente monofase) è ormai tutta orientata sull'uso di interruttori differenziali RCD. Questa protezione si aggiunge a quella magnetotermica presente nel contatore di energia.

Da ricordare

- Le tensioni alternate oltre 50 V sono pericolose per la vita umana.
- Le tensioni continue oltre 120 V sono pericolose per la vita umana.
- La corrente alternata con frequenza di 50 Hz è più pericolosa della corrente continua, perché a questa frequenza si può avere più facilmente una fibrillazione cardiaca.

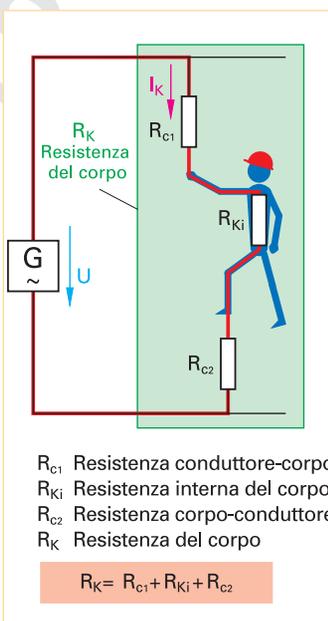


Figura 1: Resistenza del corpo



Figura 2: Interruttore differenziale (RCD)



Capitolo 7 Impianti per il risparmio energetico

Nella versione più semplice la batteria dei tubi esposti ai raggi solari è attraversata direttamente dal liquido termico.

Nei tubi sotto vuoto denominati "heat pipe" (fig. 2), il calore fa evaporare il liquido termico dall'assorbitore (ad esempio, alcool). Il vapore che viene generato sale nel tubo fino al condensatore, dove il calore di condensazione viene ceduto mediante uno scambiatore termico (secco) al circuito dell'impianto. In questo modo i singoli tubi sotto vuoto sono separati dal circuito delle tubazioni contenenti il fluido termico. I collettori formati dai tubi sotto vuoto hanno temperature di sistema più alte e richiedono fluidi termici atti a sopportare temperature maggiori. Richiedono anche minori superfici del collettore.

I collettori montati sui tetti di edifici esistenti si posano abitualmente sopra gli elementi di copertura (tegole, scandole, lamiere).

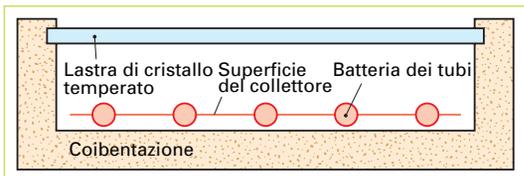


Figura 1: Collettore piatto

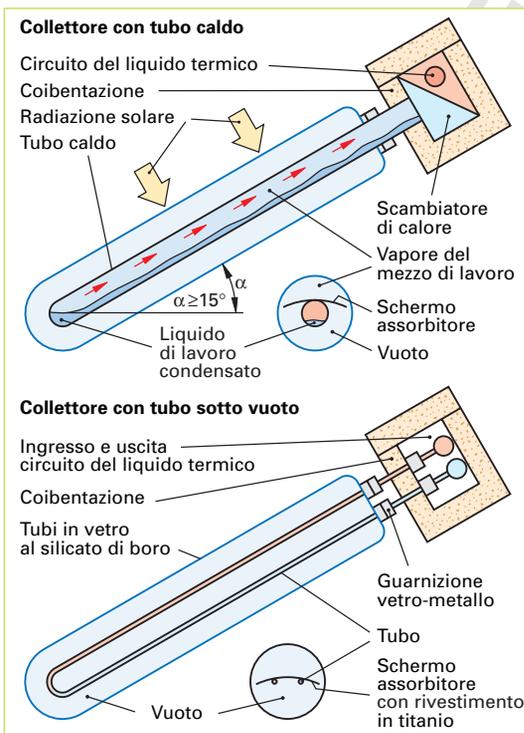


Figura 2: Collettori a tubo sotto vuoto

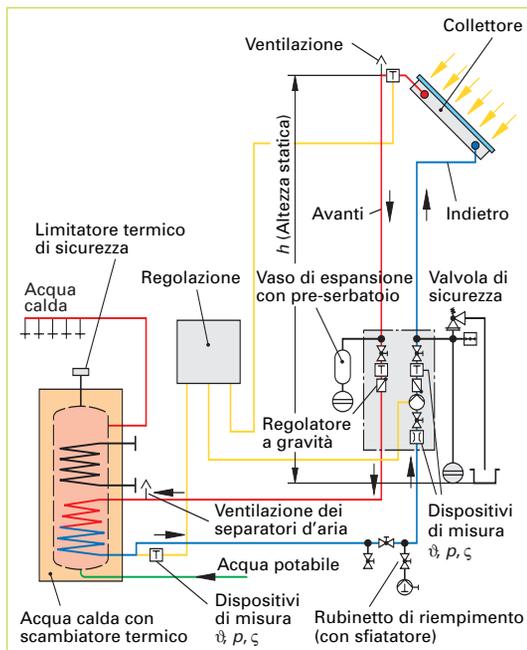


Figura 3: Schema di un impianto solare

In Italia il migliore orientamento del tetto o dell'impianto è il sud e l'inclinazione va da 30 a 55 gradi, secondo che si vogliono migliorare le prestazioni durante i mesi freddi (55 gradi), o nei mesi caldi (30-40 gradi). Nel caso di montaggio su tetti piatti, si deve tenere conto della distanza fra collettori, in modo che i raggi del sole che arrivano con un'angolazione di circa 20° possano raggiungere le superfici del collettore senza ombre.

Il **circuito della tubazione** coibentato, formato da alimentazione e ritorno, con la pompa di circolazione e gli scambiatori termici, contiene il liquido termico ed è formato da:

- una valvola di sicurezza con serbatoio di raccolta;
- un vaso di espansione a membrana dotato di un pre-serbatoio, per proteggere il vaso dal surriscaldamento;
- un rubinetto per lavaggio, riempimento e svuotamento (se esiste la stazione di riempimento la ventilazione può anche mancare);
- separatori d'aria e ventilazione;
- una stazione di regolazione solare con controllo della funzione;
- regolatori a gravità;
- dispositivi di misurazione per temperature, pressioni e quantità di flusso;
- limitatori termici di sicurezza, necessari per evitare $\vartheta_{ww} \geq 95^\circ\text{C}$, se per ogni m^2 di superficie di assorbimento sono disponibili meno di 40 litri di liquido termico;
- scambiatori termici.



7.2 Tecnologie per l'utilizzo delle energie rinnovabili

In presenza di energia solare, la regolazione inserisce la pompa nel punto previsto e disinserisce nel punto superiore di stacco, oppure disinserisce la pompa nel punto di stacco inferiore per evitare perdite di energia.

Nella parte bassa il serbatoio bivalente o multivalente dovrebbe avere uno scambiatore di calore per l'energia solare e nella parte superiore uno scambiatore invernale, da usare anche in assenza di energia solare. Il serbatoio deve possedere, inoltre, una capacità di accumulo termico adeguata (v. cap. 3.4.4 di "Impianti termici e di condizionamento").

Regole orientative per calcolare gli impianti solari:

Fabbisogno di acqua calda

$$V_{TWW} \approx 40 \text{ fino a } 50 \text{ l}/(P \cdot d)$$

Superficie del collettore piatto

$$A_{F,koll} \approx 1,2 \text{ fino a } 1,3 \text{ m}^2/P$$

Superficie del collettore a tubo

$$A_{R,koll} \approx 0,8 \text{ fino a } 1 \text{ m}^2/P$$

Volume del serbatoio acqua calda

$$V_{TWE} \approx 50 \text{ fino a } 60 \text{ l}/\text{m}^2.$$

Volume totale del serbatoio

$$V_{TWE} \approx 60 \text{ fino a } 90 \text{ l}/\text{m}^2.$$

Riscaldamento acqua potabile + supporto al riscaldamento.

Volume del pre-serbatoio V_v

$$V_v = V_k \times n_k$$

V_k capacità del collettore in l
 n_k numero dei collettori

7.2.2 Pompe termiche

Le pompe termiche ricavano energia termica dall'aria, dall'acqua o dal terreno, la "pompano" a una temperatura più alta e la cedono come calore di riscaldamento per scaldare l'acqua o gli ambienti abitativi (fig. 1).

Come funzionamento, si distinguono:

- pompe termiche a compressore;
- pompe termiche ad assorbitore.

Come sorgente termica possono servire l'aria ambiente, l'acqua di superficie o di falda e il calore geotermico. Il calore reso utilizzabile può essere ceduto ai liquidi da riscaldare (acqua potabile, acqua per riscaldamento o aria ambiente). Per questo gli apparecchi vengono denominati:

- pompe termiche aria-acqua;
- pompe termiche acqua-acqua;
- pompe termiche acqua-acqua.

Pompe termiche a compressore

Componenti, struttura e funzionamento (fig. 2):

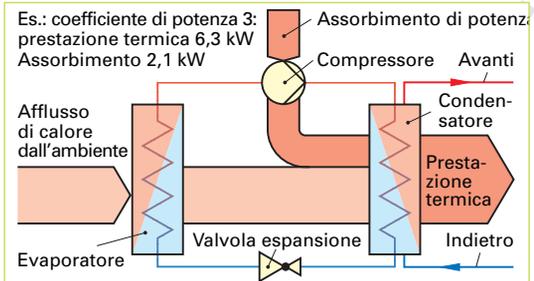


Figura 1: Assorbimento e cessione di potenza nelle pompe termiche

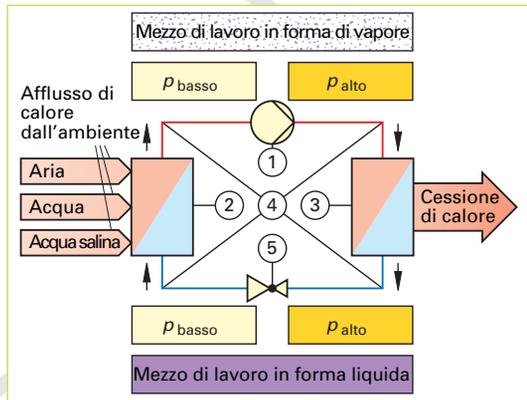


Figura 2: Pompa termica a compressore

- 1 – compressore ← poco fabbisogno di energia;
- 2 – evaporatore ← recupero di energia termica dall'ambiente;
- 3 – condensatore → cessione di calore al riscaldatore dell'acqua o al riscaldamento;
- 4 – circuito tubazioni con refrigerante per il trasporto di calore;
- 5 – la valvola di strozzamento o di espansione assicura che nell'evaporatore ci sia bassa pressione e nel condensatore alta pressione.

Nelle pompe termiche a compressore si sfrutta la situazione per cui un refrigerante sotto bassa pressione evapora a bassa temperatura e sotto alta pressione si condensa anche a temperatura più alta, per elevare la temperatura e trasportare il calore (v. cap. 3.2 di "Impianti termici e di condizionamento").

Il compressore, generalmente azionato con corrente elettrica, aspira refrigerante in forma di vapore nel circuito chiuso, nel settore dell'evaporatore. Nell'evaporatore (WT1) sono presenti le seguenti condizioni:

- la pressione è bassa;
- la temperatura di ebollizione del refrigerante è bassa;
- il refrigerante evapora e richiede energia termica (calore da evaporazione);



Capitolo 7 Impianti per il risparmio energetico

- l'evaporatore (WT1) preleva l'energia richiesta dall'ambiente, cioè dall'aria, dall'acqua o dal terreno. Quindi il compressore comprime il fluido di lavoro nel settore del condensatore (WT2), con le condizioni seguenti:
 - alta pressione;
 - temperatura di ebollizione del refrigerante alta;
 - refrigerante che si condensa e cede energia termica (calore di evaporazione) al condensatore;
 - cessione di energia termica dal condensatore al boiler o al riscaldamento ambientale.

L'anergia è il prodotto tra la *temperatura* a cui avviene la trasformazione e l'*entropia* generata dalla trasformazione. In termodinamica, il concetto di anergia si lega con quello di energia utile o *exergia*, scambiata durante una trasformazione è data dalla somma di anergia ed energia utile.

$$\text{Energia ceduta} = \text{ANERGIA} + \text{EXERGIA}$$

Pompe termiche ad assorbimento

Componenti, struttura e funzione (fig. 1).

- 1 Pompa a liquido (ammoniaca).
- 2 Assorbitore → l'acqua assorbe l'ammoniaca (NH₃) → calore e "soluzione ricca".
- 3 Separazione della "soluzione ricca" (bruciatore + espulsore) ← richiede poca energia (gas, olio combustibile).
- 4 Evaporatore → recupero di energia termica dall'ambiente (acqua, aria, terreno).
- 5 Fluidificatore → cessione di calore al boiler o al riscaldamento.
- 6 Valvole a strozzamento o a espansione:

- 6a assicurano che nell'evaporatore ci sia bassa pressione e nel fluidificatore alta pressione;
- 6b assicurano che nell'assorbitore ci sia bassa pressione e per la separazione della soluzione ci sia alta pressione.

7 Circuiti:

- 7a "soluzione ricca" = acqua + ammoniaca;
- 7b "soluzione povera" = acqua.

Per elevare la temperatura e trasportare il calore, nelle pompe termiche ad assorbimento si sfrutta il fenomeno per cui due sostanze, un mezzo assorbitore (ad esempio, H₂O) e un portatore di calore (ad esempio, NH₃) si mescolano (assorbimento) e si dividono (separazione nell'espulsore) alternativamente.

Nell'**assorbitore** il vapore del fluido (NH₃) viene assorbito dall'acqua. Forma la "soluzione ricca". Il calore che ne deriva può essere utilizzato per riscaldare l'acqua o i vani abitativi.

La **pompa a liquido** spinge la "soluzione ricca" sotto alta pressione verso l'espulsore.

Nell'**espulsore**, mediante riscaldamento con un bruciatore a gas o a gasolio, il fluido NH₃ evapora dalla "soluzione ricca". La "soluzione povera" che ne deriva raggiunge l'assorbitore, attraverso la valvola a strozzamento. Il vapore di ammoniaca fluisce ad alta pressione e alta temperatura nel **fluidificatore**, dove si condensa e il calore di condensazione viene liberato per riscaldare l'acqua o edifici. Quindi l'ammoniaca liquida attraversa l'evaporatore, dove evapora nuovamente in base alle condizioni presenti, assorbendo energia termica dall'ambiente (aria, acqua, terreno).

L'economia di una pompa termica in un certo punto di lavoro viene indicata con il **coefficiente di potenza** ϵ_{HT} , calcolato come segue.

$$\epsilon_{HT} = \frac{\Phi_{da}}{P_{in}} \quad \epsilon_{HT} = \frac{\Theta_L}{P_{in}}$$

- ϵ_{HT} Coefficiente della pompa termica
- Φ_{da} (Θ_L) Prestazione termica del fluidificatore in kW
- P_{in} Potenza di spinta del compressore o calore affluito dalla pompa termica in kW

Esempio

Un costruttore di pompe termiche aria-acqua indica per una temperatura della sorgente termica di +2 °C (aria esterna) e +35 °C di temperatura di mandata i seguenti dati di esercizio:

Assorbimento di potenza: $P_{in} = 2,5 \text{ kW}$
 Prestazione termica: $\Phi_{da} = 8 \text{ kW}$

Con quale coefficiente di potenza funziona l'apparecchio?

$$\epsilon_{HT} = \frac{\Phi_{da}}{P_{in}} = \frac{8,0 \text{ kW}}{2,5 \text{ kW}} = 3,2$$

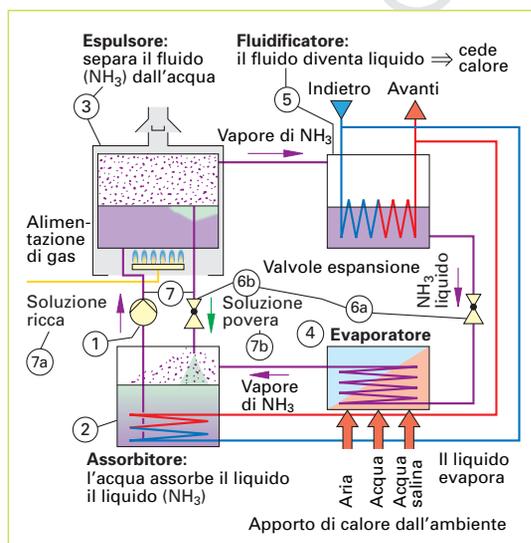


Figura 1: Pompa termica ad assorbimento



7.2 Tecnologie per l'utilizzo delle energie rinnovabili

Il coefficiente **COP** (Coefficient of Performance) è un criterio di qualità calcolato secondo EN 255 per pompe termiche. Il coefficiente con P_{in} considera, oltre che la spinta del compressore, anche le energie ausiliarie. Le energie elettriche affluite dalle pompe a ricircolo e dalle pompe di alimentazione per acqua potabile e acqua marina sono considerate nel **coefficiente di lavoro annuo β** , che corrisponde al grado di utilizzo annuo. Si pone tutta la cessione di calore in kWh/a in rapporto all'intera energia consumata in kWh/a.

Da ricordare

Quanto minore è la differenza di temperatura tra la sorgente termica e il sistema di riscaldamento, tanto maggiori sono il coefficiente di potenza e il valore COP.

Requisiti minimi del COP:

Aria-Acqua	> 3 (con -A2 / W35)
Acqua marina-Acqua	> 3,5 (con -B0 / W35)
Acqua-Acqua	> 4,1 (con -W10 / W35)

Pompa termica aria-acqua

Nella pompa termica aria-acqua l'energia termica viene prelevata dall'aria ambiente. Può essere montata internamente agli edifici o all'aperto. Può essere usata solo con temperature da $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$, perché altrimenti l'evaporatore può gelare o il compressore può essere sovraccaricato. Il coefficiente di potenza è tanto più basso quanto maggiore è l'aumento di temperatura. La temperatura massima nel riscaldamento dell'acqua è pertanto $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Specialmente con le pompe termiche aria-acqua si deve curare l'insonorizzazione. I serbatoi tampone riducono la frequenza dei cicli delle pompe termiche (fig. 1).

Pompa termica acqua-acqua

Nelle pompe acqua-acqua, spesso usate negli edifici, l'energia termica viene prelevata di solito dall'acqua di falda. A questo scopo si richiede un pozzo di aspirazione o prelievo e un pozzo di ritorno. La temperatura pressoché costante dell'acqua di falda da $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ consente un prelievo di calore costante nel campo fino a $\Delta\vartheta = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. L'assorbimento di potenza della pompa deve essere considerato nel calcolo del coefficiente di potenza degli impianti. Impianti geotermici con trivellazioni profonde sono un'altra possibilità di recupero di energia, usando le alte temperature presenti nelle profondità del terreno (fig. 2).

Pompa termica acqua salina-acqua (fig. 3)

Nel caso delle pompe termiche acqua marina-acqua, sistemate negli edifici, l'energia termica viene prelevata dal terreno con l'aiuto di un circuito

di acqua salina. Il calore geotermico si preleva in grandi terreni con collettori disposti orizzontalmente, a profondità da 1,20 a 1,50 m o nei terreni con sonde verticali a U con profondità fino a 100 metri. Nel calcolo del coefficiente di potenza dell'impianto, si deve considerare la portata della pompa ad acqua salina.

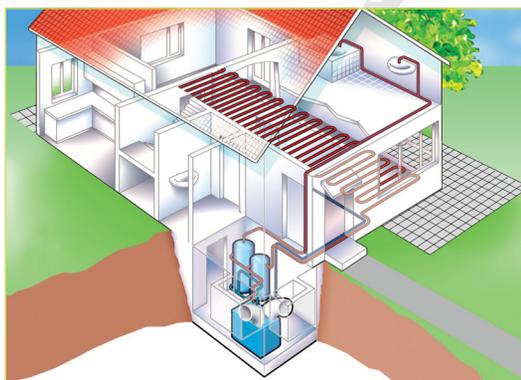


Figura 1: Pompa termica aria-acqua

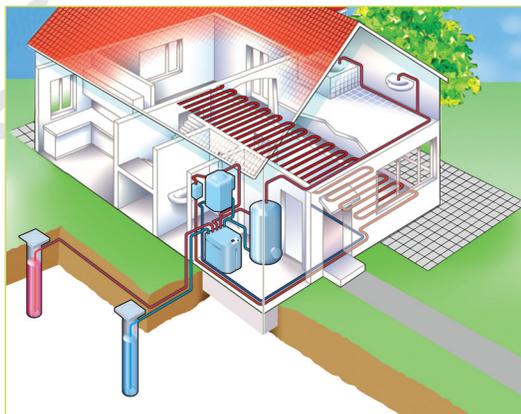


Figura 2: Pompa termica acqua-acqua

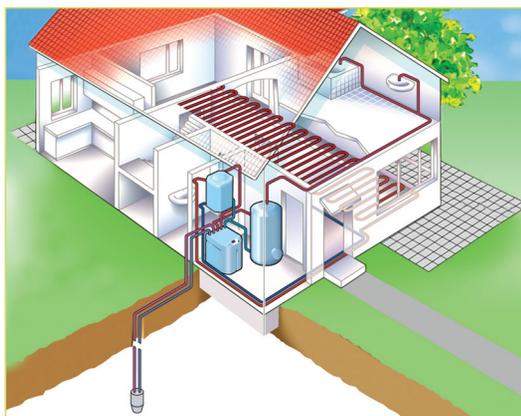


Figura 3: Pompa termica acqua salina-acqua



Capitolo 7 Impianti per il risparmio energetico

Le pompe termiche possono funzionare in modo **monovalente** o **bivalente**. Nel funzionamento bivalente si distinguono:

- il funzionamento alternativo;
- il funzionamento parallelo.

Funzionamento alternativo significa che la pompa termica si disinserisce quando la temperatura ambiente è troppo bassa, il generatore termico alternativo (ad esempio, una caldaia) assume allora l'alimentazione di energia. Nel funzionamento parallelo, la pompa termica fornisce da sola l'energia termica fino a una data temperatura, quindi in presenza di basse temperature viene inserito il secondo alimentatore di energia.

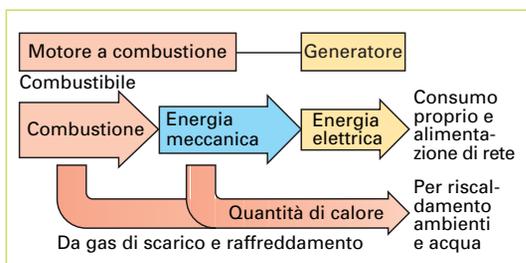


Figura 1: Centrale con motori a combustione



Figura 2: Accoppiamento potenza-calore con motore a combustione

Esercitazione

- 1 Realizza uno schizzo di un impianto solare. Indica i componenti.
- 2 Come si distinguono i collettori piatti e quelli a tubo sotto vuoto nella struttura e nel funzionamento?
- 3 Come devono essere orientati gli impianti solari, per avere una buona copertura della luce solare?
- 4 Indica i componenti e spiega il funzionamento di una pompa termica a compressore.

- 5 Quale tipo di energia può essere utilizzato per il funzionamento di pompe termiche ad assorbimento?
- 6 Spiega i seguenti concetti: pompa termica aria-acqua, pompa termica acqua-acqua e pompa termica acqua salina-acqua.
- 7 Per una pompa termica acqua-acqua il costruttore indica come dati di esercizio: coefficiente di potenza 5,4; temperatura dell'acqua di falda + 10 °C; temperatura preliminare/di mandata + 35 °C; assorbimento di potenza 1,3 kW. Quale prestazione termica ha l'apparecchio?
- 8 Una pompa termica acqua marina-acqua viene offerta con i seguenti dati di esercizio: coefficiente di potenza 4,4; temperatura della sorgente termica 0 °C, temperatura preliminare di mandata + 35 °C; prestazione termica 7,8 kW. Quale assorbimento massimo di potenza può avere il compressore della pompa termica?

7.2.3 Cogenerazione

Nelle centrali termiche KWK a cogenerazione (produzione di energia termica combinata con energia elettrica) il combustibile viene usato per azionare un motore a combustione, che a sua volta aziona un generatore e produce quindi corrente elettrica. L'energia termica che si libera nel raffreddamento del motore e nei gas di scarico viene utilizzata come calore utile per riscaldare acqua ed edifici (fig. 1). La quantità di calore è sufficiente solo per coprire il carico base, pertanto per i picchi di carico deve essere disponibile anche una caldaia tradizionale.

Accanto ai grandi impianti HKW si stanno affermando i piccoli impianti tipo BHKW (Blockheizkraftwerk) di cogenerazione per la produzione di energia rinnovabile elettrica, termica e opzionalmente refrigerante, ricorrendo all'olio vegetale come fonte energetica con rendimenti maggiori delle tradizionali centrali termiche.

Secondo il tipo di funzionamento si distinguono i seguenti cogenerazioni:

- con motore a combustione (fig. 2);
- con motore Stirling (ad aria calda);
- con celle di combustione (sperimentale).

La piccola centrale compatta con motore a combustione comprende:

- macchina produttrice di calore-energia (motore a benzina o diesel);
- generatore di corrente per fabbisogno proprio e alimentazione diretta;
- scambiatore di calore per disaccoppiare il calore utile per riscaldamento di ambienti o acqua;
- serbatoio che accumula il calore in arrivo quando si richiede solo corrente elettrica.



7.2 Tecnologie per l'utilizzo delle energie rinnovabili

Una centrale BHKW può essere collegata con la rete elettrica pubblica per la cessione dell'energia prodotta.

7.2.4 Celle a combustibile

Le celle a combustibile (Fuel Cells, FC) sono trasformatori elettrochimici di energia. La reazione del combustibile rappresenta in linea di massima l'inversione dell'elettrolisi. Nella cella a combustibile l'energia legata nell'idrogeno o nei gas di combustione contenenti idrogeno viene trasformata con ossigeno, mediante combustione "fredda" o catalitica, in energia elettrica e termica.

Componenti delle celle a combustibile e loro funzione (figg. 1-3)

All'**anodo** viene condotto idrogeno (H₂). È separato nello spazio dal catodo.

I diversi **elettroliti** sono impermeabili ai gas, ad esempio l'idrogeno (H₂), ma permeabili per ioni di idrogeno (H⁺).

Il **catodo** viene alimentato con ossigeno (O₂).

Nella reazione dei due gas si produce una tensione elettrica tra i due elettrodi (corrente continua) e calore, che viene scaricato mediante un **circuito del mezzo termico**.

Il prodotto della reazione (acqua) viene scaricato.

Tensioni elettriche tecnicamente utilizzabili si hanno mediante **inserimento in serie di celle** a combustibile. Queste "pile" di celle (da 30 a 500) sono dette anche "stacks". Le singole celle vengono separate da piastre bipolari. Conduttori elettrici metallici o contenenti C legano elettricamente le piastre bipolari e gli elettrodi. La pila viene tenuta insieme da piastre finali isolanti, mediante tiranti.

Il "**reformer**" pulisce i gas di combustione, cioè dal gas come ad esempio CH₄ si ricava un gas di processo ricco in H₂. La preparazione del gas di combustione avviene mediante i seguenti procedimenti catalitici o termici:

- *reforming* del vapore;
- ossidazione parziale POX;
- *reforming* autotermico ATR.

ATR rappresenta una combinazione tra reforming (reazione di sintesi) del vapore e POX, dove POX fornisce la quantità richiesta di energia termica, pertanto non c'è bisogno di energia termica esterna.

Il **convertitore** asporta il CO che è ancora presente a valle del "reformer" come impurità. Alimentando vapore acqueo si ha:



CO₂ viene asportato mediante assorbimento o separazione a membrana.

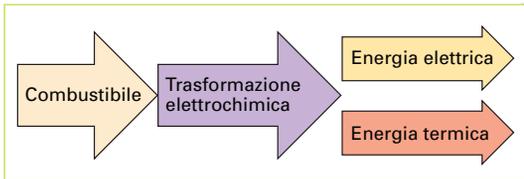


Figura 1: Centrale di celle a combustibile

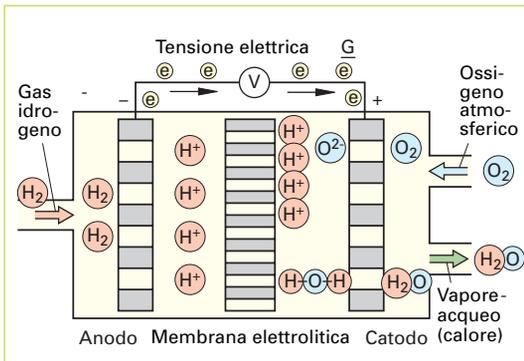


Figura 2: Funzionamento di una cella a combustibile

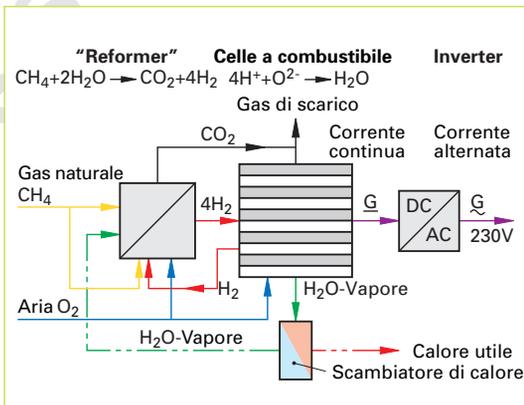


Figura 3: Cella a combustibile azionata con gas naturale

Si distinguono i seguenti tipi di celle a combustibile:

- secondo il **tipo di elettrolito**:
 - **PEMFC** (Proton Exchange Membrane Fuel Cell), **PAFC**, **AFC** (Phosphoric Acid Fuel Cell), **MCFC** (Molton Carbonate Fuel Cell) e **SOFC** (Solid Oxide Fuel Cell);
- secondo il **tipo della temperatura d'esercizio**:
 - celle a combustibile a bassa temperatura con temperature d'esercizio da + 60 °C a + 400 °C, ad esempio PEMFC, PAFC o AFC;
 - celle a combustibile ad alta temperatura con temperature d'esercizio da 550 °C a 1000 °C, ad esempio MCFC o SOFC;



Capitolo 7 Impianti per il risparmio energetico

- secondo il **tipo di montaggio**:
 - celle a combustibile fisse, ad esempio per edifici, mobili per autoveicoli e portatili per apparecchi elettrici.

7.2.5 Motori Stirling (a gas caldo)

Lo sviluppo tecnico dei motori Stirling è molto avanzato, pertanto in un prossimo futuro si potranno azionare gli accoppiamenti energia-calore anche con motori a gas caldo. In una versione i cilindri del motore sono disposti a 90°, perciò questo modello di motore viene anche detto "motore a V" (fig. 1). I motori Stirling hanno i seguenti componenti:

- sorgente di calore;
- cilindro di lavoro con pistone;
- rigeneratore;
- raffreddatore;
- cilindro di compressione con pistone;
- volano;
- generatore (non raffigurato).

Funzionamento dei motori Stirling

I motori Stirling, come motori a gas caldo, dispongono di un cilindro a compressione e di un cilindro di lavoro. Nei cilindri sono contenuti gas di lavoro, ad esempio aria, azoto o gas nobili. Con riscaldamento e raffreddamento alternati si hanno cambiamenti di pressione e di volume, che provocano lo spostamento dei pistoni. Il gioco dei pistoni porta, attraverso uno speciale accoppiamento delle bielle, a un movimento rotatorio e quindi a un lavoro meccanico. Entrambe le bielle sono disposte su un perno comune. Il pistone espulsore precede il pistone di lavoro di un quarto di tempo. Nel rigeneratore viene immagazzinata energia. Se il gas passa dal settore caldo al settore freddo, l'energia immagazzinata nel rigeneratore cede calore al gas. Il ciclo dei motori Stirling si svolge in quattro tempi.

- Il pistone di compressione che si sposta in anticipo si porta in alto → il gas freddo scorre nel rigeneratore e assorbe energia termica.
- Fase di espansione → il gas preriscaldato viene riscaldato ulteriormente nella parte superiore del cilindro di lavoro e il pistone di lavoro si porta per espansione termica verso il basso.
- Fase di compressione → il cilindro di lavoro si sposta con energia dal volano verso l'alto e compatta il gas.

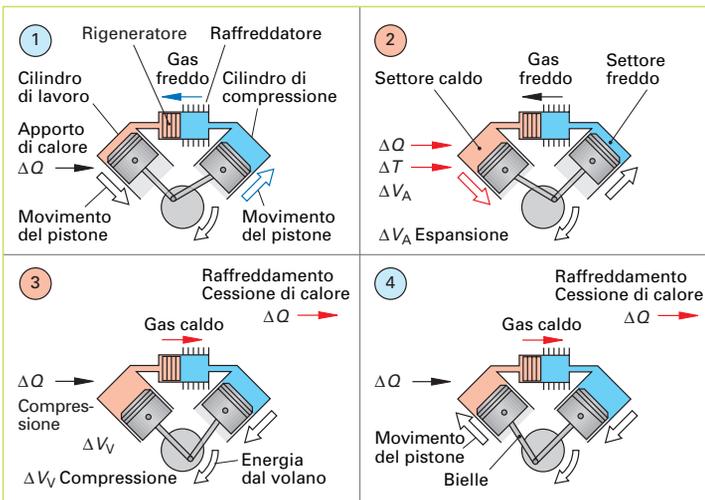


Figura 1: Funzionamento del motore Stirling

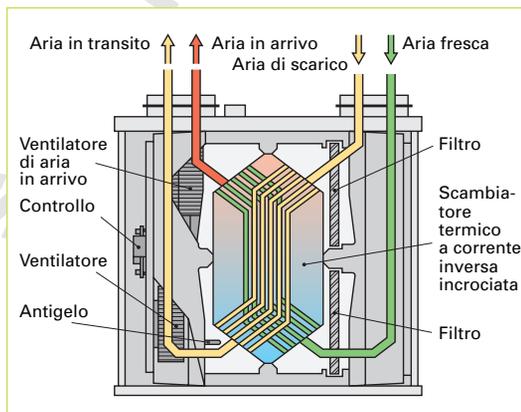


Figura 2: Scambiatore di calore a corrente inversa incrociata

- Il calore prodotto dalla compressione e alimentato viene ceduto al rigeneratore e al raffreddamento (fig. 1).

Durante questi processi i pistoni muovono attraverso le bielle l'albero a gomiti e il volano. Il movimento rotatorio trasmesso al volano viene usato per azionare un generatore e quindi per produrre corrente elettrica. Il calore presente nei gas di scarico e nel raffreddamento può essere utilizzato per riscaldare edifici e acqua. Il riscaldamento può essere prodotto con gas naturale, petrolio o combustibili solidi.

7.2.6 Recupero termico

Nel caso di apparecchi alimentati a gas è utile ridurre al minimo le perdite di calore e risparmiare energia mediante recupero termico. Un caso specifico è dato dalle caldaie a condensazione.