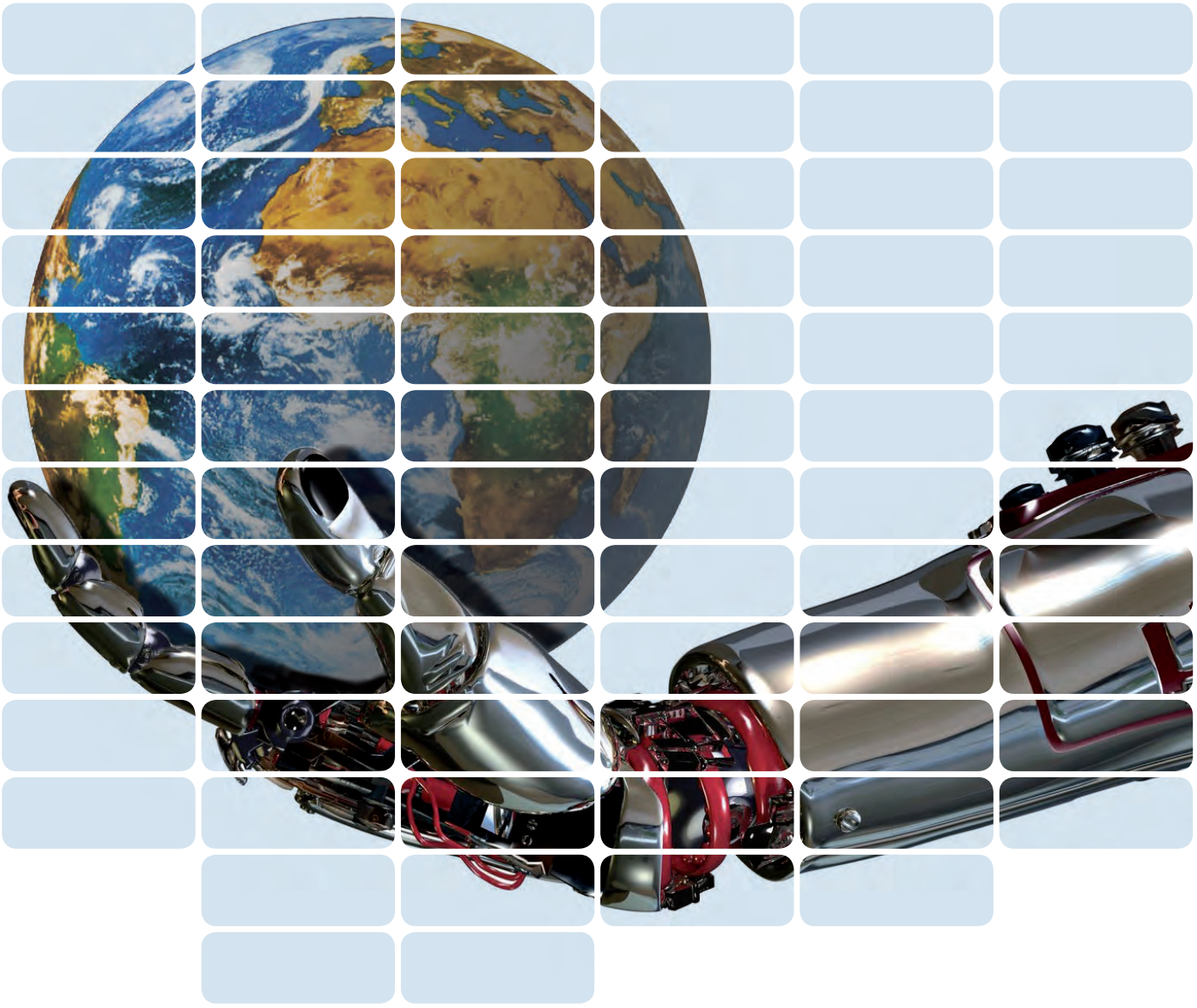
MachineWorld

Introduzione alla tecnica delle macchine
Edizione con soluzioni



Edition Swissmem

SWISSMEM

Progetto «Seggiovia» (lavori sull'insieme dei moduli)

Progetto «elicottero radiocomandato» (esercizi relativi a questi moduli)

Moduli di base

1. Classificazione

1.1 Sistemi industriali 6

2. Collegamenti smontabili

2.1 Filetti 10
2.2 Collegamenti a vite 21
2.3 Spine e perni 33
2.4 Collegamenti albero-mozzo 43
2.5 Coni 53

3. Collegamenti non smontabili

3.1 Collegamenti rivettati 60
3.2 Collegamenti a pressione 67
3.3 Unioni incollate 75
3.4 Collegamenti brasati 83
3.5 Collegamenti saldati 91

4. Elementi di trasmissione

4.1 Alberi e assi 108
4.2 Cuscinetti e guide 115
4.3 Cinghie 133
4.4 Catene 139
4.5 Ingranaggi 143
4.6 Trasmissioni 153
4.7 Accoppiamenti 165
4.8 Molle 175
4.9 Elementi ammortizzanti 183
4.10 Guarnizioni 191

5. Progetto «elicottero radiocomandato»

5.1 Esercizi 201

Moduli di macchine

6. Macchine motrici e da lavoro

6.1 Classificazione 212
6.2 Pompe 219
6.3 Compressori 239
6.4 Motori a combustione 253

7. Energie rinnovabili

7.1 Classificazione 276
7.2 Energia solare 277
7.3 Centrali idroelettriche 287
7.4 Impianti eolici 297
7.5 Pompe di calore 303

8. Campo libero Tecniche delle macchine

8.1 Motori a reazione 310
8.2 Turbine a gas e a vapore 323
8.3 Macchine frigorifere 331

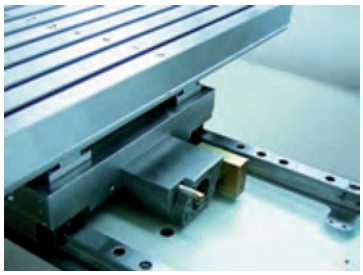
9. Progetto «Seggiovia»

9.1 Lavori da realizzare 336

1.1 Sistemi industriali

Per il montaggio o la manutenzione delle macchine è importante conoscere la struttura interna (funzione e struttura) dei sistemi, ad es. di una macchina utensile. Si deve poter individuare e sostituire eventuali componenti difettosi. Le macchine sono sempre costituite da elementi e gruppi costruttivi simili, tra cui trasmissioni, motori, alberi, viti, molle e molti altri.

Guida a ricircolo di sfere



Montante di macchina



Tavola rotante girevole



Macchina utensile



Livello di osservazione

Elemento
Gli elementi sono parti di gruppi che non possono essere smontati ulteriormente.

Gruppi
o gruppi costruttivi sono parti costituenti del sistema.

Dispositivi
sono parti di un sistema.

Sistema
macchina autonoma funzionante

Montaggio, fabbricazione

Smontaggio, riparazione

2.2.4. Classi di durezza

Per dimensionare correttamente un collegamento a vite, sono state definite delle classi di resistenza che vengono indicate da due cifre sulla testa della vite o sul dado.

Vite





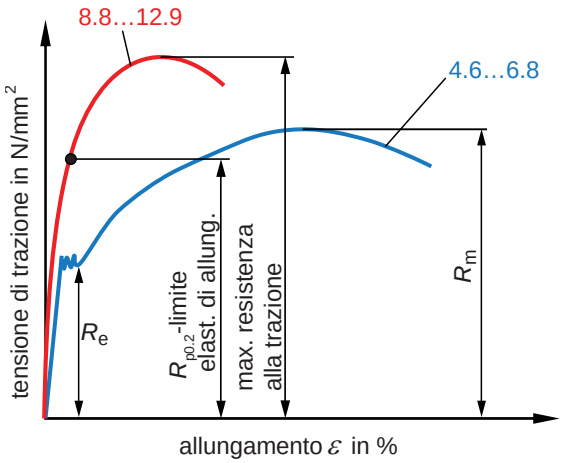


XX = marca del produttore

6.8

La prima cifra (**6**) corrisponde a $^{1}/_{100}$ della resistenza di trazione in N/mm².
$R_m = 6 \times 100$ N/mm² = 600 N/mm²

Dal prodotto di entrambe le cifre (**6** per **8**) si ottiene $^{1}/_{10}$ del limite di elasticità in N/mm².
$R_e = 6 \times 8 \times 10$ N/mm² = 480 N/mm²



La resistenza alla trazione R_m di una vite è la tensione di trazione, a partire della quale nel gambo o nella filettatura (non nella testa) può avvenire una rottura.

Il limite di elasticità R_e è la tensione di trazione a partire della quale, in caso di aumento della tensione di trazione, l'allungamento aumenta in misura sovraproporzionale. L'allungamento persiste dopo lo scarico.

$R_{p0,2}$: designazione di viti per le quali non è possibile determinare il limite apparente di elasticità.

Dado



La classe di durezza dei dadi è indicata da un numero. In un collegamento dado-vite, i due elementi devono presentare la stessa classe di resistenza.

Confronto

Vite				Dado	Collegamento	
Classe di resistenza	Resistenza alla trazione R_m in N/mm²	Limite di elasticità R_e risp. limite elast. di allung. 0,2% $R_{p0.2}$ in N/mm²		Classe di resistenza	Sollecitazione del collegamento	Materiale dei pezzi da collegare
		R_e	$R_{p0.2}$			
6.8	600	480		6	bassa	tutti gli acciai di costruzione
8.8	800		640	8	media	
10.9	1000		900	10	alta	acciai di costruzione da S355
12.9	1200		1080	12	molto alta	acciai da bonifica

Forme di costruzione

Classificazione

Spina cilindrica



Spina conica



Spina ad intagli conici



Spina elastica



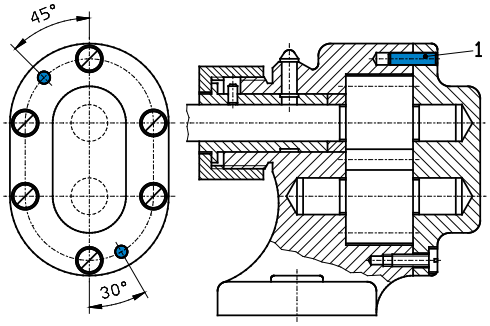
Perno



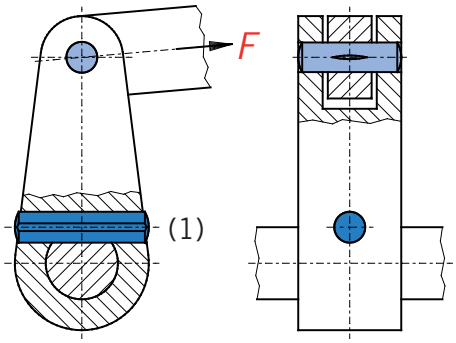
Utilizzo

Elemento di collegamento

Spine di registro
Le spine di registro (1) garantiscono che i pezzi si trovino nella giusta posizione tra loro. La disposizione asimmetrica delle spine assicura una posizione di montaggio corretta.

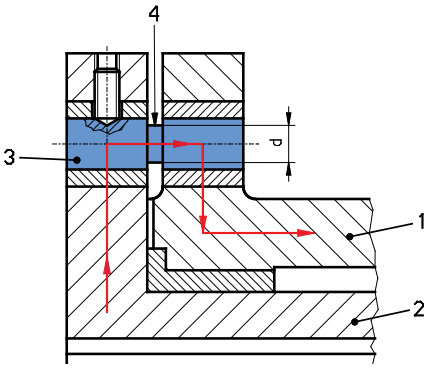


Spine di fissaggio
Le spine di fissaggio uniscono i pezzi. Il foro viene generalmente eseguito dopo l'allineamento dei pezzi (1).



Elemento di sicurezza

Spine di sicurezza
Proteggono le parti delle macchine da un sovraccarico e dalla distruzione.
I mozzi con flangia (1) e (2) vengono assemblati mediante diverse spine scanalate con cavità tornita (3).
Le spine utilizzate per la trasmissione del momento torcente vengono interrotte a un punto di rottura definito (4), ossia non appena è stato oltrepassato il momento torcente massimo.



Elemento costruttivo

Una spina può essere utilizzata anche come elemento costruttivo (supporto di molla).



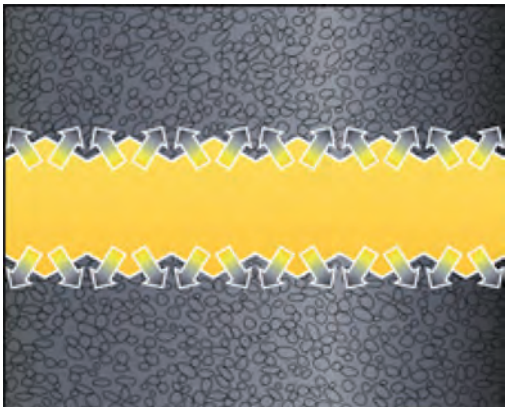
Cavalletto per moto

Nozioni fondamentali dell'incollatura

La resistenza meccanica e termica degli adesivi è spesso inferiore rispetto a quella dei materiali da assemblare. Nella scelta dell'adesivo e della struttura del giunto è necessario tenere conto degli svantaggi.

0306

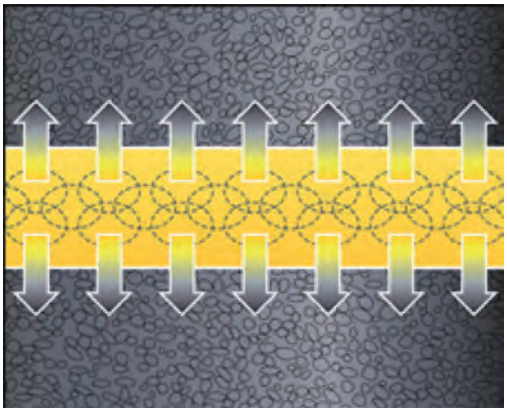
Adesione
Forza con cui l'adesivo aderisce al pezzo



Un corretto pretrattamento delle superfici dei pezzi contribuisce ad aumentare le forze di adesione.

- Eliminare le sostanze estranee
- Rendere le superfici rugose, sgrassarle e asciugarle

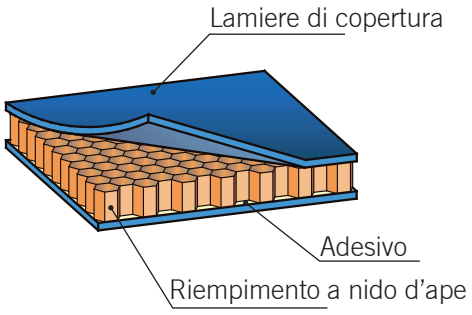
Coesione
Forza all'interno dell'adesivo



Più è sottile lo spessore della colla, più aumentano le forze di coesione.

Applicazioni

Collegamento di elemento costruttivi
Le fusoliere, ad esempio, sono incollate, come vengono incollati anche i pannelli a sandwich destinati all'industria aeronautica e aerospaziale. Sulla Re 460 (locomotiva 2000), i rivestimenti in materia plastica della cabina di guida vengono incollati alla cassa di metallo della locomotiva.



Assicurare le viti contro l'allentamento.

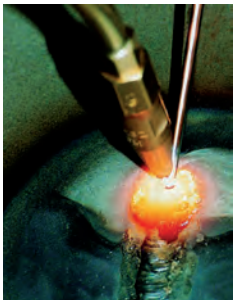
Impermeabilizzazione dei piani di giunzione
L'impiego di materiali adesivi di tenuta spesso è più economico della fabbricazione e del montaggio di guarnizioni piatte di forma complessa.

OSSERVAZIONE IMPORTANTE

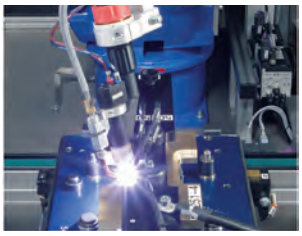
Per ottenere un risultato perfetto di incollatura, non si deve solo tenere conto della geometria dei pezzi, ma anche delle specifiche del produttore e della data di scadenza dell'adesivo.

3.4.2. Saldatura per fusione

Saldatura a gas

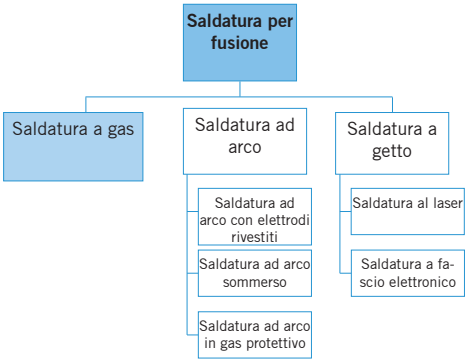


Saldatura ad arco
- Saldatura ad arco con elettrodi rivestiti
- Saldatura ad arco sommerso
- Saldatura ad arco in gas protettivo



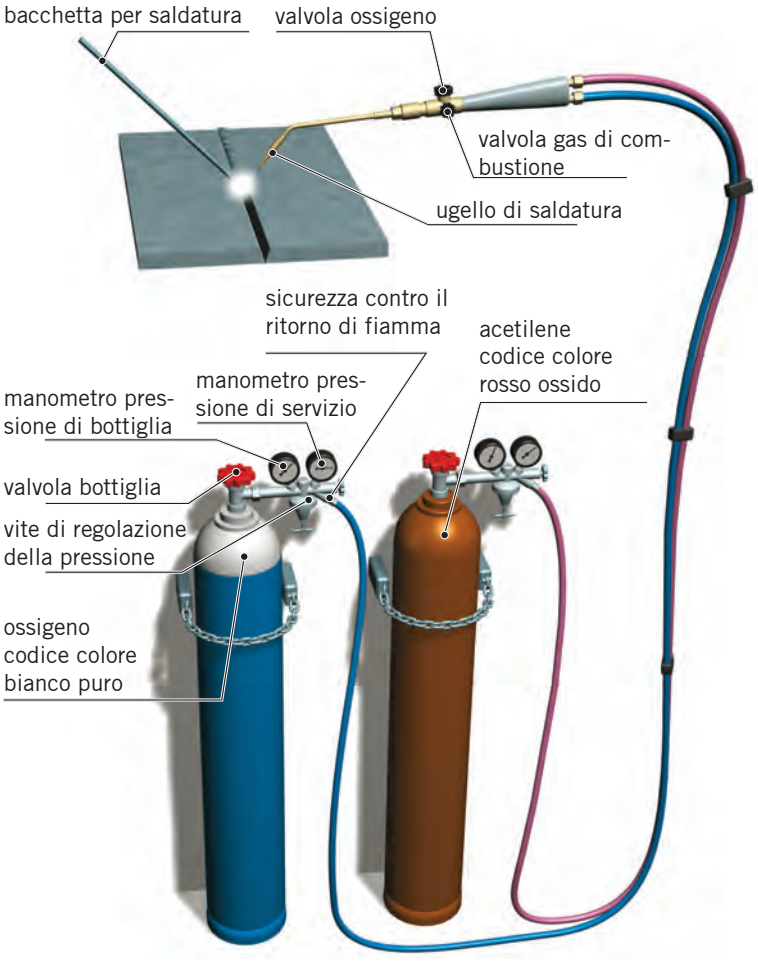
Saldatura a getto
- Saldatura al laser
- Saldatura a fascio elettronico





Saldatura a gas

La saldatura a gas (saldatura autogena) viene eseguita per fusione sul punto di saldatura mediante il calore generato dalla combustione di un gas combustibile.

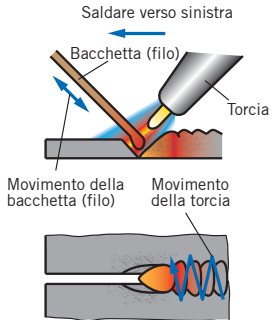


Impianto di saldatura a gas

Materiali
Acciai non legati o debolmente legati fino a 3 mm di spessore.

Metodo di saldatura
Il materiale d'apporto viene aggiunto manualmente.

Fonte d'energia
Fiamma costituita da ossigeno e gas combustibile. A causa dell'elevata temperatura di lavoro, come gas combustibile viene utilizzato l'acetilene (utilizzato anche per la brasatura).



Materiali d'apporto
Apporti di saldatura nudi

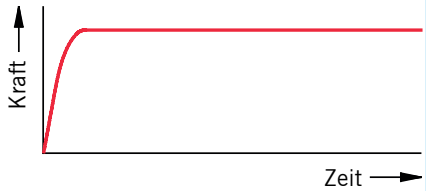
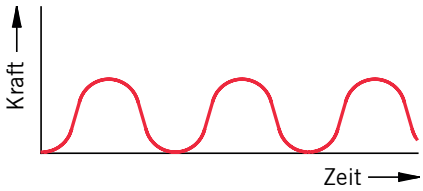
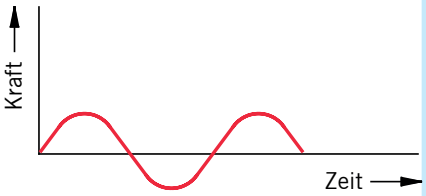
Applicazione
Processo di saldatura manuale: spesso utilizzato per la saldatura di raccordi di tubi in acciaio.

Sicurezza
- Indossare occhiali protettivi con lenti scure.
- In caso di lavori di saldatura in piccoli locali, garantire la ventilazione con aria fresca.
- Le bottiglie di gas devono essere messe al sicuro contro le cadute gli urti, il calore e il gelo.

Tipi di sollecitazioni

Esercizio 4.1.1: disegnate nei diagrammi le curve di sollecitazione.

In funzione del decorso temporale delle forze, si distingue tra:

Sollecitazione I	Sollecitazione II	Sollecitazione III
Sollecitazione statica	**Sollecitazione dinamica pulsante**	**Sollecitazione dinamica alternata**
		
La forza resta costante. Esempio: una colonna viene sollecitata alla pressione.	La forza oscilla tra lo zero e il valore massimo. Esempio: asse fisso (ruota anteriore di una bicicletta)	La forza si alterna tra un valore massimo positivo e valore massimo negativo. Esempio: albero rotante, asse (asse di un vagone merci)

0401

Effetto di intaglio

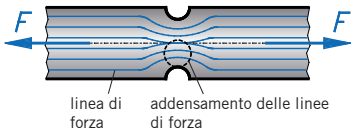
La concentrazione della tensione in un asse o in un albero dipende tra l'altro dai cambiamenti di sezione (raccordi, intagli, forature, scanalature ecc.) e dalla qualità della superficie. L'effetto di intaglio sugli alberi e assi si accentua sui raccordi che determinano un cambiamento di diametro.

0402

Su assi e alberi lisci, le linee di forza non incontrano ostacoli.



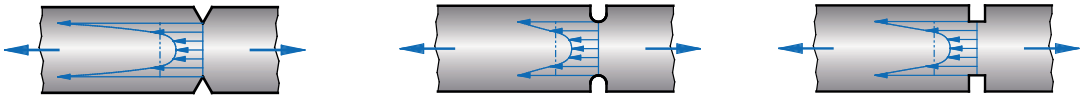
Nel caso in cui degli intagli disturbino la trasmissione regolare dell forza, si verifica un addensamento delle linee di forza e di conseguenza un aumento di tensione nella zona dell'intaglio.



La tensione dipende in larga misura dalla forma e dalla grandezza dell'intaglio.

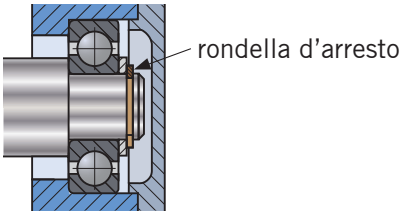
Esercizio 4.1.2: indicate tra i disegni illustrati qui di seguito quello che rappresenta il caso più pericoloso?

☐ ☐ ☐



OSSERVAZIONE IMPORTANTE

Gli anelli di sicurezza e le rondelle di arresto necessitano di scanalature strette con spigoli vivi nell'albero ammissibili solo nella parte non sollecitata dell'albero (estremità dell'albero).



Classificazione

Catene articolate
- catene a rulli



- catene a perni



Catena a maglie
- catene per carichi e di trasporto





Trasmissione a catena

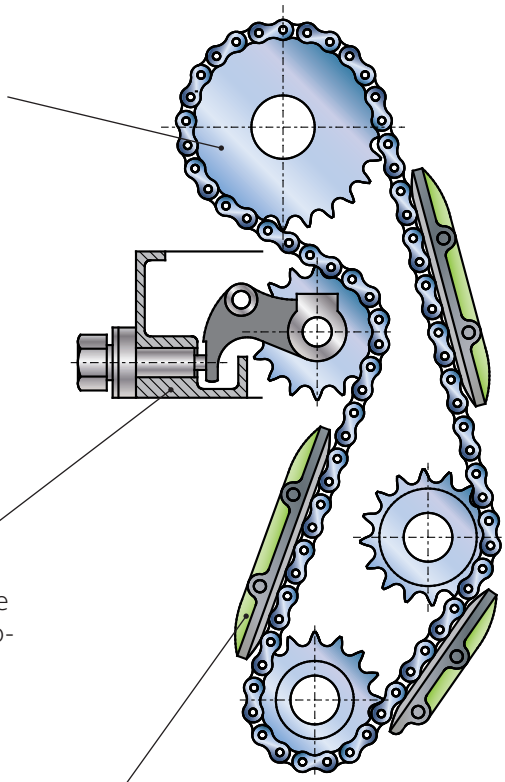
Le parti della trasmissione a catena e la loro disposizione influenzano direttamente la funzione e la durata di vita.

Pignoni per catene

La maggior parte delle trasmissioni a catena possiedono un numero dispari di maglie. L'impiego di un pignone trainante dotato anch'esso di un numero dispari di denti contribuisce a un'usura uniforme.







0412

Tendicatena

La catena deve sempre essere leggermente tesa. Altrimenti presenterebbe gioco e determinerebbe un'usura eccessiva della stessa nonché dei pignoni. Inoltre, provocherebbe rumori (tintinnio).



Guidacatene

Per attenuare le vibrazioni soprattutto nel tratto di ritorno della catena, si utilizzano spesso guidacatene e rulli tenditori supplementari



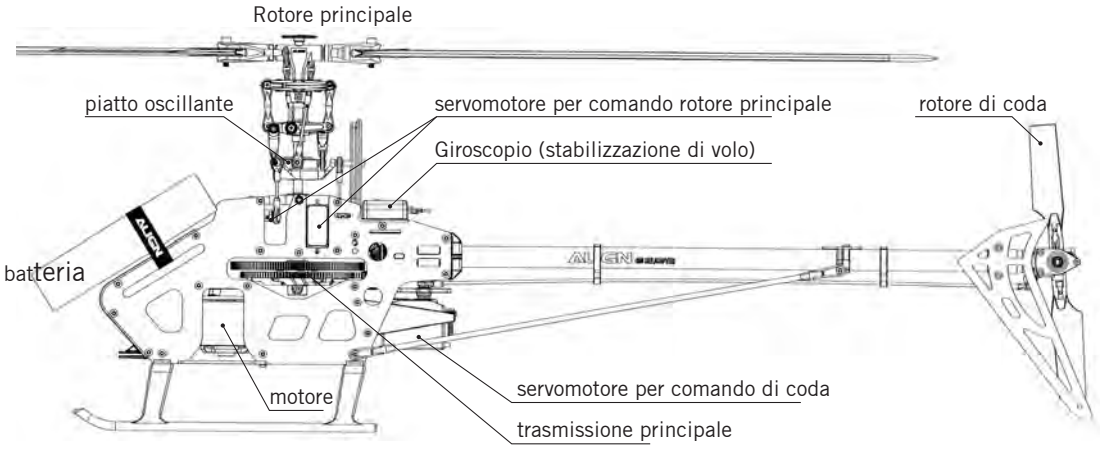
Elicottero radiocomandato

L'elicottero ad alimentazione elettrica è dotato di un comando di passo collettivo, ossia l'angolo di incidenza per tutte le pale viene impostato allo stesso tempo. Il motore senza spazzole viene alimentato di energia elettrica da una batteria al litio polimero. L'elicottero è caratterizzato da un funzionamento silenzioso e una buona stabilità direzionale.

Lunghezza	635 mm
Altezza	230 mm
Rotore principale	ø710 mm
Rotore di coda	ø158 mm
Trasmissione principale	$i = 10{,}7{:}1$
Rotore di coda	$i = 4{,}24{:}1$
Motore	$U = 7{,}4 \ldots 14{,}8$ V $P_{max} = 400$ W



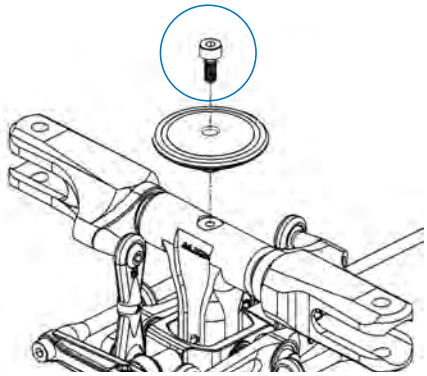
Vista d'insieme



5.1 Rotore principale

Esercizio 5.1.1:
il freno di testa del rotore viene fissato conformemente al disegno mediante una vite ø2 mm della lunghezza di 5 mm.
Qual è la designazione normalizzata della vite?

Vite a testa cilindrica ISO 4762-M2×5-8.8



testa del rotore

Esercizio 5.1.2: come viene fermata la vite e perché?

Con colla per evitare che la vite si allenti a causa delle vibrazioni.

Classificazione

Tipi di costruzione

Pompe volumetriche
- Pompa a segmenti oscillanti
- Pompa a ingranaggi
- Pompa a pistone
- Pompa a viti
- Pompa peristaltica



Pompe di movimento
- Pompa centrifuga



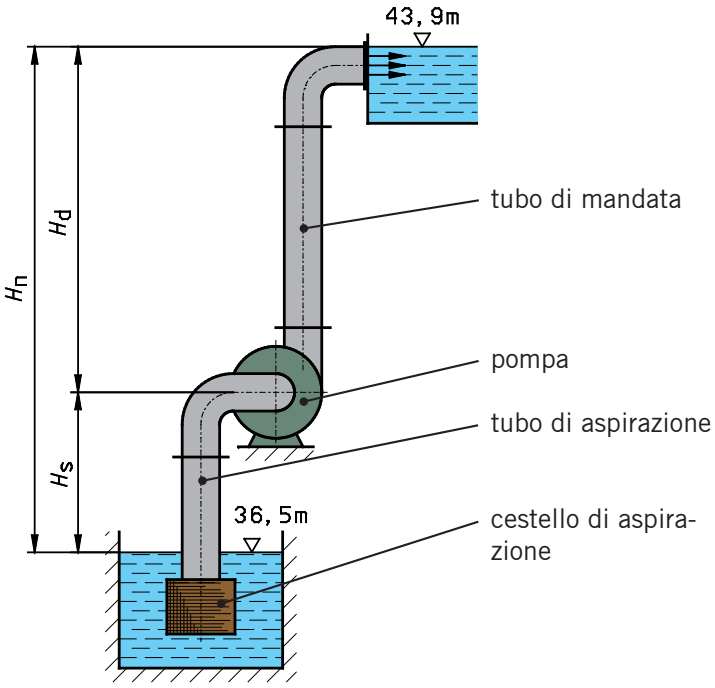
Pompe speciali
- Pompa a getto
- Tubo venturi



Pressione

Bassa pressione	Pressione media	Alta pressione	Altissima pressione
2 … 170 bar	… 170 bar	200 … 650 bar	più di 650 bar

Designazioni



Ha = altezza di aspirazione
Hm = altezza di mandata
Hp = altezza geodetica

$H_a + H_m = H_p$

altezza tra il livello dell'acqua inferiore e superiore

Altezza di prelievo: detta anche altezza geodettica
Altezza di mandata H_m: detta anche altezza geodetica di mandata
Altezza di aspirazione H_a: detta anche altezza geodetica di aspirazione

Elementi costruttivi

Manovellismo

I compiti del manovellismo sono i seguenti:
- trasformare il movimento lineare del pistone in un movimento rotatorio dell'albero a manovella;
- trasmettere la forza del pistone generata dalla pressione di combustione all'albero motore tramite la biella. La piegatura dell'albero motore genera una coppia sullo stesso.



Gli elementi costruttivi del manovellismo sono i seguenti:
- pistoni con anelli di tenuta e perni del pistone
- biella con cuscinetto del perno del pistone
- albero a manovella con cuscinetti di banco
- volano

Pistoni

La struttura di base di un pistone è uguale per tutti i motori. I pistoni si distinguono però per:
- la loro stabilità
- le loro dimensioni e la loro forma
- la loro resistenza (meccanica, termica)



Materiali dei pistoni:
- leghe di alluminio e di rame
- leghe di alluminio e di silicio
- ceramica

Biella

La biella costituisce il collegamento tra il pistone e l'albero motore. Malgrado la sua elevata stabilità, la biella dovrebbe comunque presentare una massa ridotta, motivo per cui viene fabbricata con i seguenti materiali:
- acciaio da bonifica, legato
- lega di alluminio di elevata qualità
- titanio (motori ad alte prestazioni)
- materiali sinterizzati



La fabbricazione avviene tramite:
- stampaggio a caldo
- fusione
- sinterizzazione

Albero a manovella

L'albero a manovella rileva la forza della biella e la converte in coppia. La struttura viene determinata dai seguenti fattori:
- struttura del motore
- numero dei cilindri
- cilindrata
- numero dei cuscinetti del banco

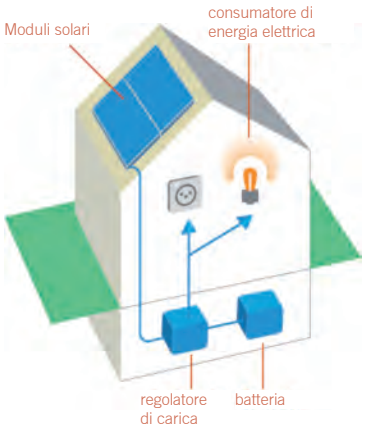


Procedure di fabbricazione in uso:
- fusione
- forgiatura (direzione delle fibre ideale)
- struttura modulare (p. es. grandi motori)

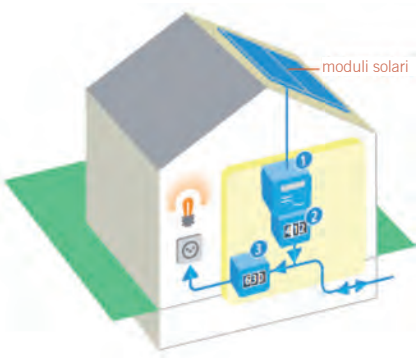
Fotovoltaico

Per fotovoltaico si intende la trasformazione diretta di energia solare in corrente elettrica per mezzo di celle fotovoltaiche. I moduli fotovoltaici sono in grado di produrre energia continua con energia solare.

Impianto a isola:



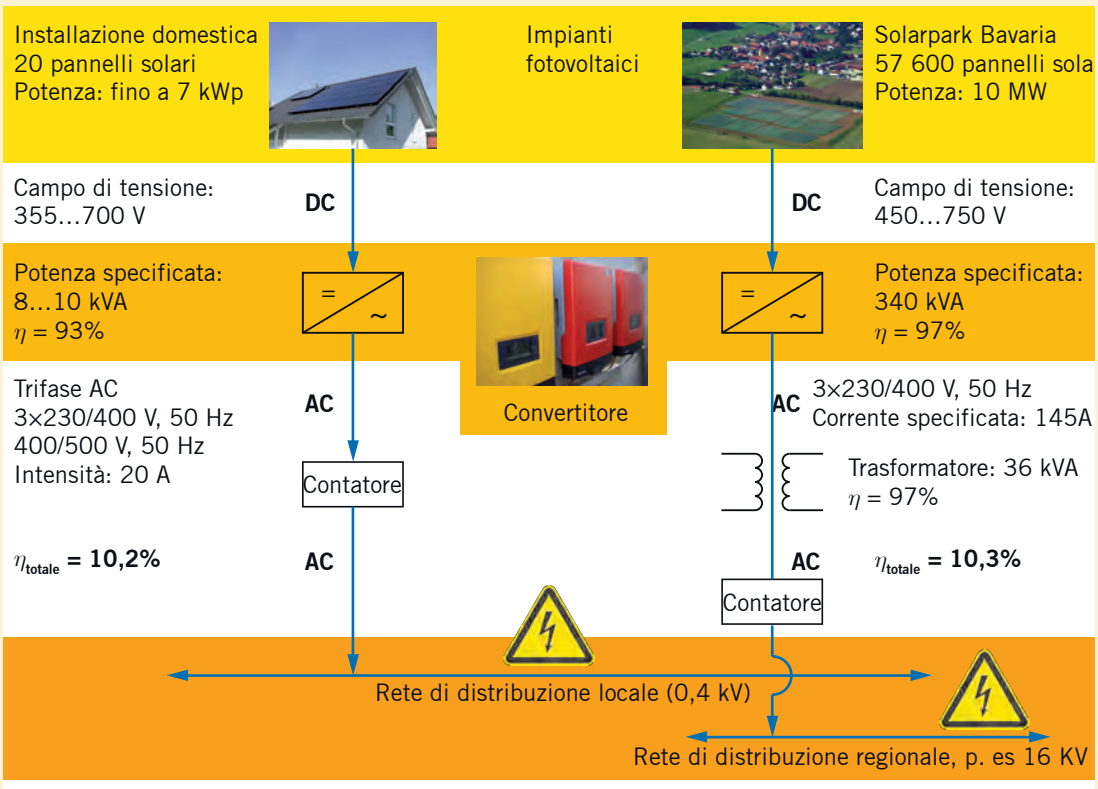
Installazione connessa a una rete di distribuzione elettrica:



Legenda:
1 convertitore DC/AC
2 contatore kWh di produzione
3 contatore kWh di consumo

Corrente solare per la rete

Il grafico mette a confronto due possibilità della produzione di corrente per la rete pubblica: l'utilizzo decentralizzato in un'economica domestica e l'utilizzo centralizzato in un parco solare.



CC: corrente continua CA: corrente alternata Wp: Watt-peak (potenza massima della cella solare n: rendimento

OSSERVAZIONE IMPORTANTE

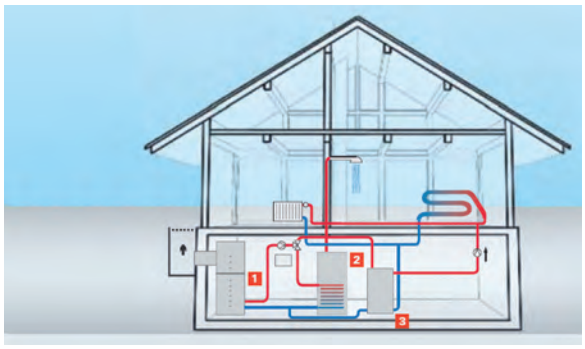
Gli impianti fotovoltaici producono energia pulita in maniera autonoma e affidabile. Inoltre, hanno una lunga durata di vita e necessitano di poca manutenzione.

Fonti d'energia utilizzate per le pompe di calore

L'aria come fonte di calore

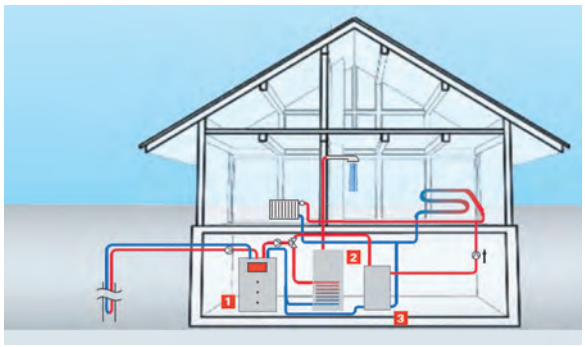
La pompa di calore aerotermica utilizza l'aria esterna riscaldata dal sole.

Legenda:
1 Pompa di calore
2 Boiler
3 Accumulatore



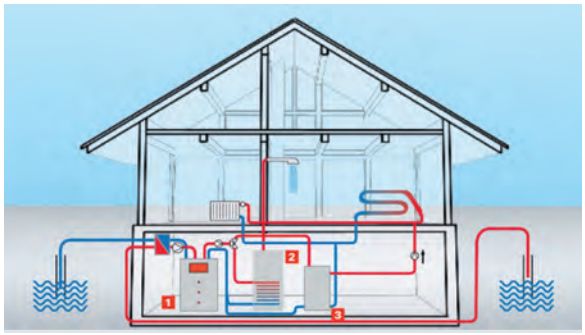
Le sonde geotermiche come fonti di calore

L'energia geotermica viene prelevata mediante speciali sonde geotermiche che possono raggiungere profondità di 100 m, dove la temperatura si attesta tutto l'anno a un valore costante di 10 °C.



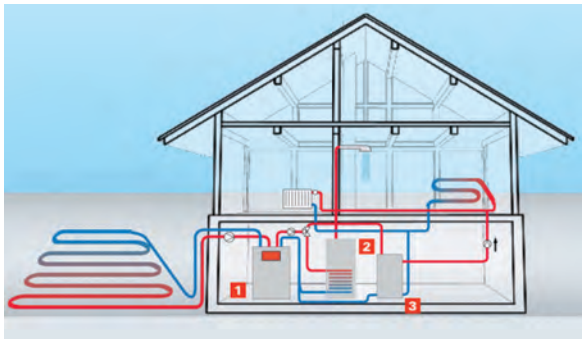
L'acqua sotterranea come fonte di calore

La pompa di calore acqua-acqua preleva il calore dall'acqua sotterranea, la cui temperatura è costante, a prescindere dalla stagione e dalla temperatura esterna. L´acqua sotterranea viene prelevata da un pozzo di prelievo e, una volta ceduto il calore, viene scaricata in un pozzo di restituzione.



La terra come fonte di calore

La pompa di calore acqua glicolata/acqua sfrutta il calore della terra, dove regna una temperatura quasi costante durante tutto l'anno. Un collettore geotermico posato a serpentina a 1,5 m di profondità preleva il calore dal suolo.



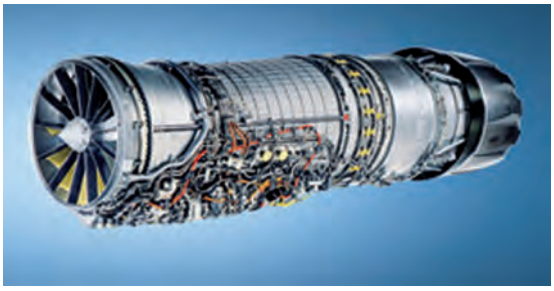
OSSERVAZIONE IMPORTANTE

Il nostro ambiente viene riscaldato dal sole. Per questo motivo le acque sotterranee, i fiumi e i laghi, il suolo e l'aria esterna sono riserve d'energia permanentemente disponibili (rinnovabili).

I tipi di reattori e le loro caratteristiche tecniche

Turbojet

Uno dei reattori più utilizzati nella storia aeronautica militare statunitense per gli aerei da caccia. Questo motore a reazione è impiegato nei caccia F-15 e F-16.

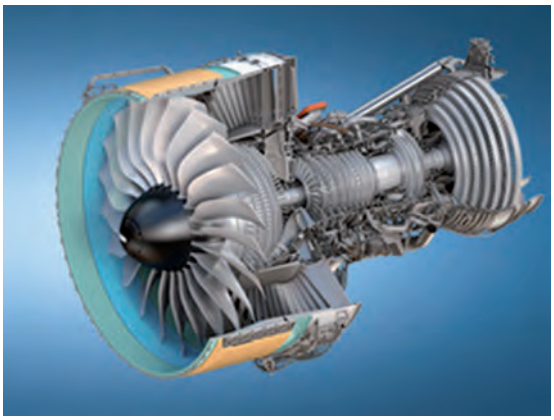


Dati tecnici
Spinta max. 130 kN
Rapporto di compressione 30,7
Rapporto di diluizione 0,76:1
Lunghezza 4620 mm
Diametro max. 1181 mm
Peso (a secco) 1805 kg

- turboreattore a doppio flusso e doppio corpo con postcombustore
- ugello di scarico convergente-divergente
- regolazione digitale del motore

Turbonfan

Questo reattore è utilizzato nei voli a lungo raggio, come ad esempio nell'Airbus A380.



Dati tecnici
Spinta 340 kN
Rapporto di diluizione 9:1
Rapporto di compressione 43,9:1
Lunghezza 4740 mm
Diametro della ventola 2950 mm

- turboreattore a doppio flusso e doppio corpo
- compressore a bassa pressione a 5 stadi
- compressore ad alta pressione a 9 stadi
- turbina ad alta pressione a 2 stadi
- turbina a bassa pressione a 6 stadi
- basso consumo di carburante a velocità di crociera
- emissioni sonore basse
- peso ridotto

Turboprop

Il TP400-D6 è utilizzato nell'aereo di trasporto militare Airbus A400M.

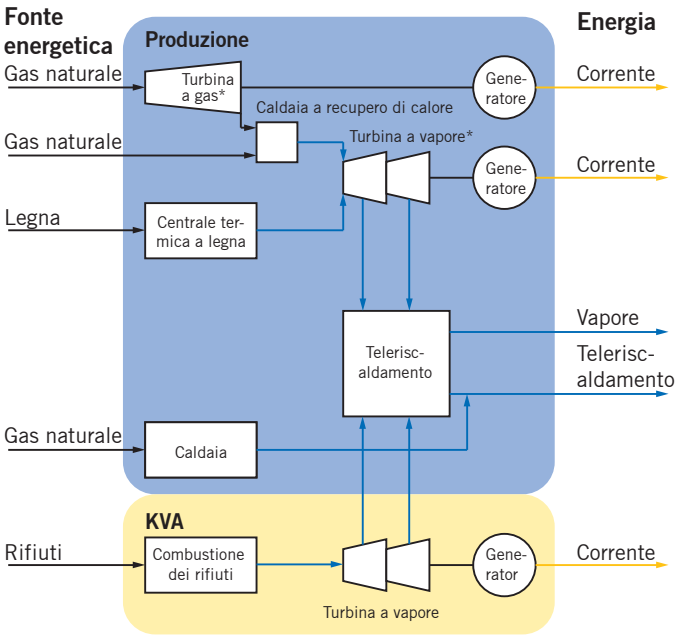


Dati tecnici
Spinta (all'altezza del mare) 8200 kW
Lunghezza 3500 mm
Diametro dell'elica 5330 mm/
8 pale
Peso ca. 1860 kg

- turboprop più potente dell'Occidente
- bassi costi di manutenzione
- durata di vita delle parti conforme agli standard civili

Centrale energetica Forsthaus a Berna

Questo impianto, che comprende un impianto di trattamento dei rifiuti (ITR), una centrale di riscaldamento a legna (CRL) e una centrale termoelettrica a ciclo combinato (CCGT), produce elettricità, calore e vapore per la città di Berna. La centrale energetica Forsthaus copre circa un terzo del consumo elettrico cittadino.



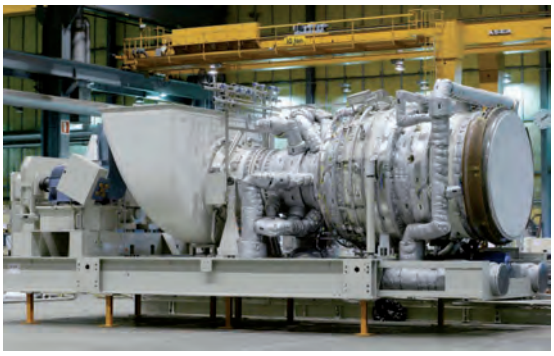
* Entrambe le turbine formano un ciclo combinato

Dati tecnici

Capacità ITR:	110 000 t di rifiuti all'anno
Capacità CRL:	112 000 t di trucioli di legno all'anno
Capacità CCGT:	650 000 MWh di gas all'anno
Calore a distanza:	ca. 250 000 MWh all'anno
Vapore emesso:	ca. 40 000 MWh all'anno
Produzione elettrica:	ca. 360 000 MWh all'anno
Potenza elettrica totale:	89 MW
Turbina a vapore ITR:	16 MW
Turbina a vapore CCGT e CRL:	27 MW
Turbina a gas:	46 MW
Anno di costruzione:	2009–2013
Ubicazione:	città di Berna

Turbina a gas
La turbina a gas è una macchina monoalbero con 15 stadi di compressione. I primi tre stadi possiedono palette direttrici regolabili.

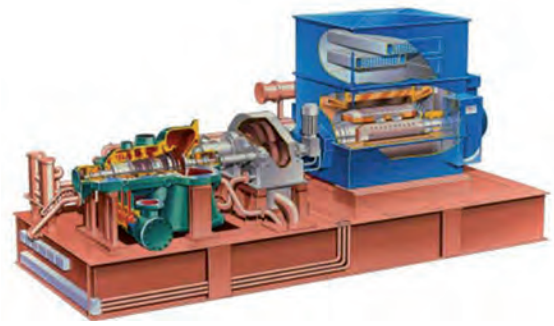
Numero di giri della turbina: 6600 min^{-1}
Rapporto di compressione: 19:1
Rendimento: 37,5%
Consumo di calore: 9597 kJ/kWh
Flusso massico dei gas di scarico: 131,5 kg/s
Temperatura dei gas di scarico: 544 °C



Le turbine a vapore sono turbine a vapore industriali monocorpo.

Turbina a vapore ITR
Portata di vapore vivo max.: ca. 77 t/h
Pressione d'esercizio max.: ca. 39 bar
Temperatura d'esercizio max.: 395 °C

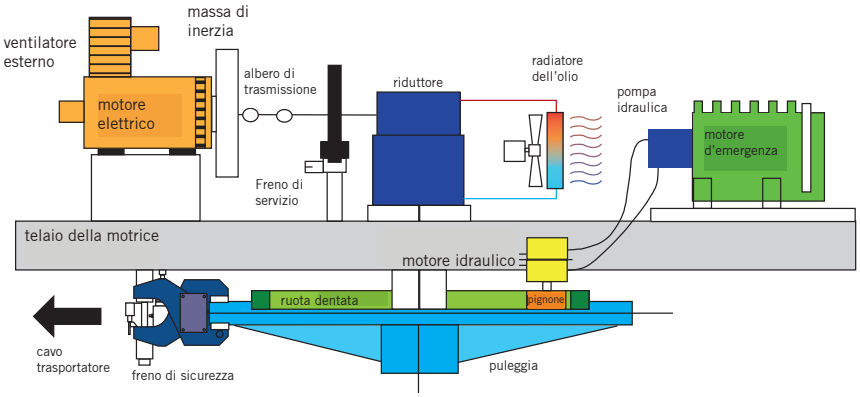
Turbina a vapore CCGT e CRL
Portata di vapore vivo max.: ca. 104 t/h
Pressione d'esercizio max.: ca. 59 bar
Temperatura d'esercizio max.: 480 °C



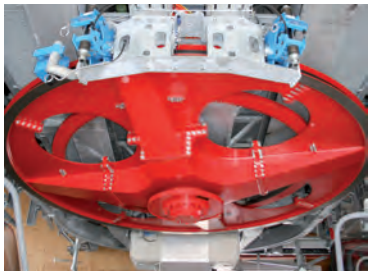
9.2 Stazione a monte

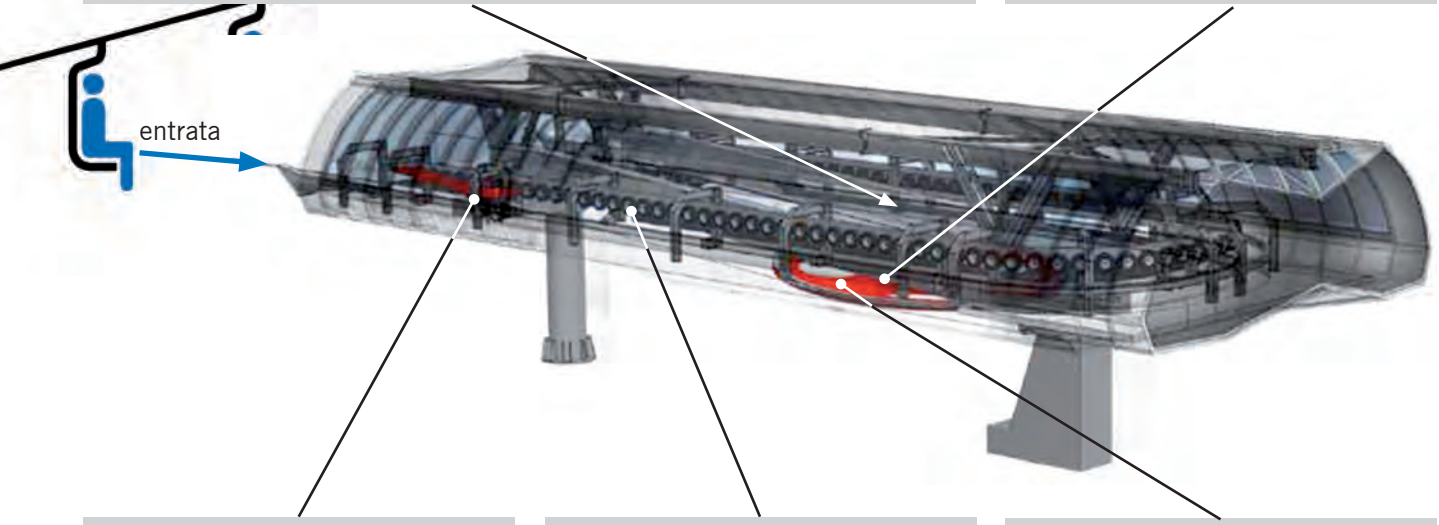
La stazione a monte comprende diverse installazioni e vari gruppi costruttivi. Impariamo a conoscere quelli più importanti.

Trasmissione principale
La seggiovia viene azionata da un motore elettrico. Il treno planetario permette di ridurre il numero dei giri e di aumentare la coppia. Il movimento di rotazione aziona la puleggia che fa scorrere la fune.



Puleggia per fune
Le pulegge servono a deviare la fune di trazione nelle stazioni e sulle curve. Affinché la sollecitazione di flessione della fune di trazione non superi i limiti ammissibili, il diametro della puleggia è generalmente almeno 80 volte il diametro della fune.

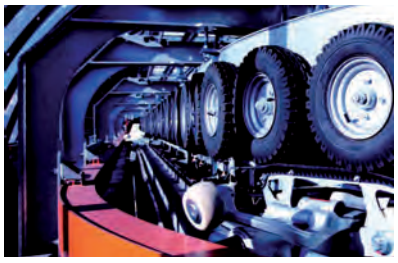




Trasmissione
La trasmissione del convogliatore a pneumatici avviene per accoppiamento di forza dalla fune ai rulli.



Convogliatore a pneumatici
Non appena le gondole si sganciano dalla fune vengono accelerate o frenate dal convogliatore a pneumatici. La trasmissione dei pneumatici avviene mediante una cinghia da ruota a ruota. Tramite la scelta degli appropriati diametri delle pulegge, viene determinata la velocità.



Freno di sicurezza
Il freno di sicurezza serve per frenare l'installazione e per immobilizzarla alla chiusura dell'impianto. Si tratta di un freno a disco che agisce direttamente sulla puleggia motrice.

