



GUIDA PER LA VALUTAZIONE E IL
MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA
**ENERGETICA DEGLI IMPIANTI
DI ACQUACOLTURA**

GUIDA PER LA VALUTAZIONE E IL
MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA
**ENERGETICA DEGLI IMPIANTI
DI ACQUACOLTURA**



Associazione Piscicoltori Italiani
Via Del Perlar, 37/a - 37135 Verona
Tel. 045 580978 - Fax 045 582741
info@acquacoltura.org - www.acquacoltura.org

INDICE

Prefazione	5
INTRODUZIONE	7
Motivazione	7
Obiettivo	8
Layout della guida	9
1. CONCETTI DI BASE - INTRODUZIONE	11
2. ILLUMINAZIONE	16
Concetti tecnici	16
Misurazione illuminazione: metodo dei 9 punti	23
3. MOTORI ELETTRICI	31
Teoria: efficienza di un Motore Elettrico	31
Analisi operativa	33
Fattori decisionali per la sostituzione del motore	37
4. POMPAGGIO E DISTRIBUZIONE IDRAULICA	41
Teoria: pressione e curve di funzionamento	41
Selezione del sistema di Pompaggio Ottimale	47
Perdite nelle reti idrauliche	55
5. IMPIANTI DI RISCALDAMENTO E REFRIGERAZIONE	58
Teoria degli impianti di climatizzazione	58
Efficienza energetica nei sistemi ad aria condizionata	65
6. ARIA COMPRESSA	69
Teoria: concetti base	69
7. CALDAIE	73
8. ISOLAMENTO	85
Teoria del trasferimento di calore	85
Sistemi di isolamento	87
9. TECNOLOGIE RINNOVABILI	92
Concetti base: fotovoltaico, solare termico, idraulico, eolico	92
Progettazione basica dei sistemi	97
10. FATTIBILITÀ E RITORNO DELL'INVESTIMENTO	111
Bibliografia	119

AUTORI

Questa guida è stata sviluppata da Adrian Cano (SGS) e Antonio Dominguez (SGS) nell'anno 2020 come parte del progetto **EWEAS** (Energy and Water Efficiency in the Aquaculture Sector) appartenente al Programma Erasmus + e formato da un consorzio di 5 partecipanti provenienti da 5 paesi europei (Irlanda, Italia, Lettonia, Slovenia e Spagna) coordinato da SGS Tecnos (Spagna).

Il Team del progetto **EWEAS** è costituito da un gruppo multidisciplinare con un alto grado di esperienza e competenza in acquacoltura, efficienza energetica ed e-learning.



Mercedes Rodriguez Caro
Elena Tylko Ausias
Adrián Cano Cabañero
Antonio Domínguez Más



Adela Vitkovska
Vanda Novokšonova
Markuss Jānis Švāģeris



David Murphy
Marieke Reuver
Oxana Sytnik



Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije
KMETIJSKO GOZDARSKI ZAVOD
KRANJ

Mitja Kadoič
Miha Štular



API
ASSOCIAZIONE
PISCICOLTORI
ITALIANI

Andrea Fabris
Lisa Rovaglia
Vladimir Kvavadze

Inoltre, per la sezione Pompaggio e Distribuzione Idraulica, abbiamo avuto la collaborazione del Professor Javier Soriano, dell'ITA (Istituto Tecnologico dell'Acqua), dell'Università Politecnica di Valencia.

Avvertenze: La pubblicazione è stata terminata nel mese di maggio 2021, pertanto nel testo alcuni riferimenti non tengono conto del mutato quadro internazionale (soprattutto in termini in termini di costi).



Il sostegno della Commissione europea alla produzione di questa pubblicazione non costituisce un'approvazione del contenuto, che riflette esclusivamente il punto di vista degli autori, e la Commissione non può essere ritenuta responsabile per l'uso che può essere fatto delle informazioni ivi contenute.

Cofinanziato dal
programma Erasmus+
dell'Unione europea





PREFAZIONE

DEL PRESIDENTE API

La formazione e la promozione dell'aggiornamento degli acquacoltori e di tutti gli operatori del settore è uno dei principali obiettivi dell'attività dell'Associazione Piscicoltori Italiani.

L'API, in tal senso, da alcuni anni collabora con associazioni ed enti di altri Stati Membri, anche grazie al supporto finanziario della UE attraverso i programmi Erasmus+; il progetto EWEAS è un ottimo esempio di questa collaborazione.

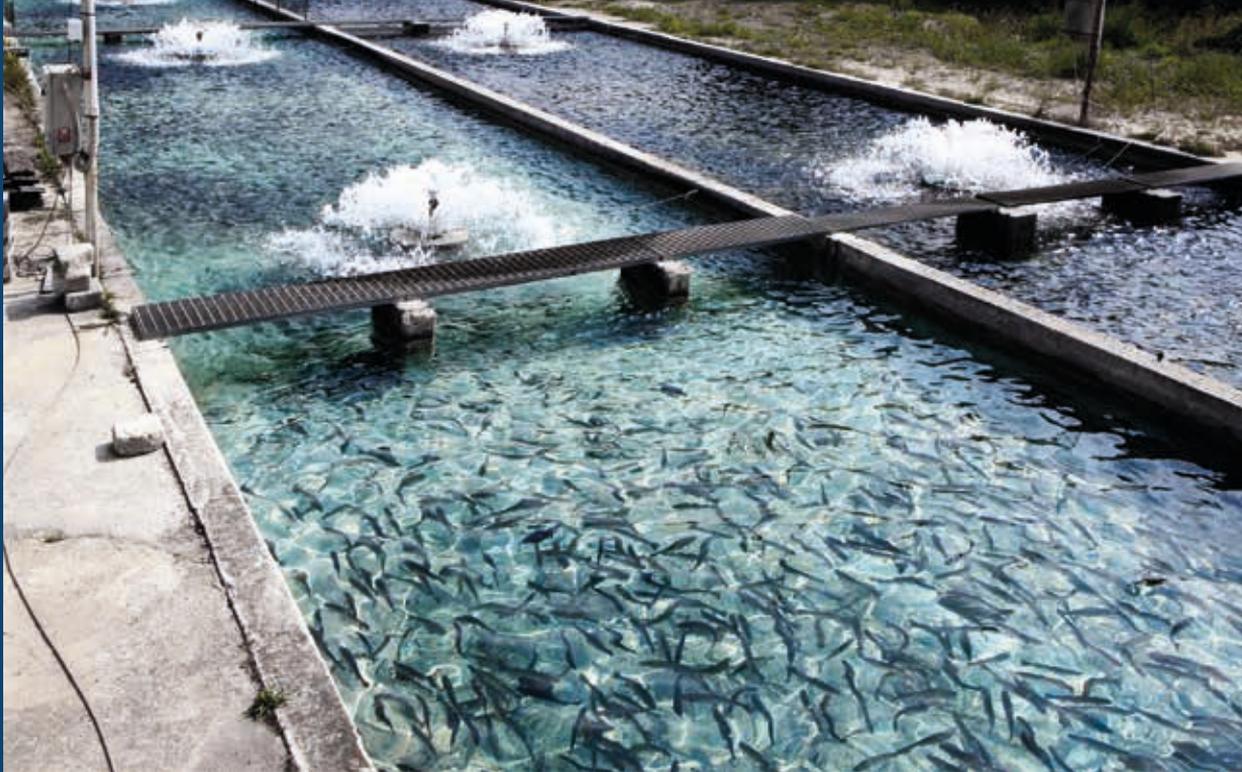
Lo scopo di EWEAS, che in un certo qual modo ha precorso i tempi, è quello di aumentare l'efficienza idrica ed energetica negli impianti di acquacoltura, migliorando le pratiche gestionali e l'utilizzo di soluzioni convenienti e rispettose dell'ambiente.

Per raggiungere questo obiettivo, i partner del progetto si sono avvalsi di materiali formativi ideati per migliorare le conoscenze e le competenze degli operatori per ridurre il consumo eccessivo di energia, minimizzare l'impatto ambientale, comprendere i costi di utilizzo dell'energia anche attraverso l'autovalutazione.

La gestione efficiente e sostenibile delle risorse è diventata in quest'ultimo periodo un'esigenza stringente per assicurare redditività alle aziende d'acquacoltura.

Da questo è nata l'idea di dare alle stampe, nell'ambito delle attività di formazione previste dal Piano Nazionale Triennale per la Pesca ed Acquacoltura del MiPAAF (annualità 2022), questa guida, aggiornata ed adattata alla realtà italiana, al fine di dare ad allevatori e operatori del comparto uno strumento di facile consultazione, ma allo stesso tempo utile per diffondere i principi di una corretta gestione delle risorse idriche ed energetiche nelle imprese d'acquacoltura.

Presidente
Pier Antonio Salvador



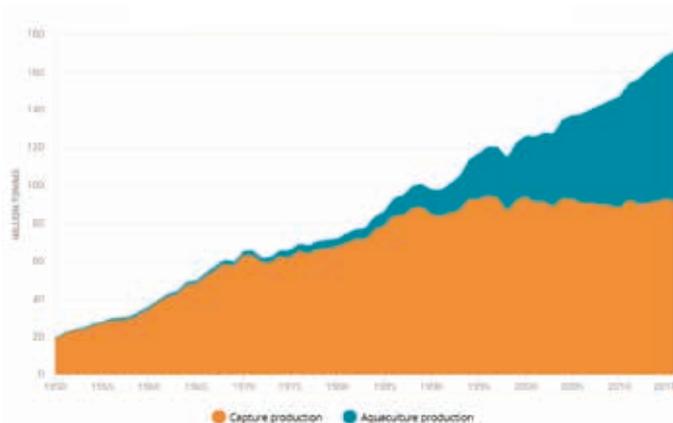
INTRODUZIONE

MOTIVAZIONE

Entro la metà del 21° secolo, la popolazione mondiale raggiungerà gli oltre 9 miliardi di persone dovrà affrontare la sfida di fornire alimento a tutti, in un contesto di sovrasfruttamento delle risorse naturali in un ambiente influenzato dagli effetti del cambiamento climatico, con un probabile sensibile impatto importante sulle emissioni dei gas serra.

Una porzione di 150 g di pesce può garantire fino al 60% del fabbisogno proteico giornaliero di un adulto, quindi il contributo del pesce come fonte proteica di alta qualità diventerà sempre più importante nei prossimi decenni. In particolare, è probabile che i prodotti provenienti dal settore dell'acquacoltura giochino un ruolo sempre maggiore di fronte allo sovrasfruttamento in corso delle risorse alieutiche.

Ancora oggi, l'acquacoltura è il principale settore di produzione alimentare in più rapida crescita, con un tasso di crescita annuo del 5,8% nel periodo 2001-2016, anno in cui la produzione di acquacoltura ha rappresentato il 53% di tutto il pesce destinato al consumo umano (FAO, 2020).



Img 1. PESCA MONDIALE DI CATTURA E PRODUZIONE DI ACQUACOLTURA, 2020 (FAO, 2020)

Secondo l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO), "l'acquacoltura deve colmare il divario crescente tra l'offerta alimentare di proteine di origine ittica e la domanda di una popolazione mondiale in crescita e più intraprendente" di fronte all'aspettativa che la maggior parte degli stock ittici "continuino ad essere pescati ai massimi livelli sostenibili o sovrasfruttati" per almeno il prossimo decennio. (FAO, 2018).

In risposta alla domanda impellente sulla provenienza del nostro cibo in futuro, la stessa FAO afferma quanto segue:

"Dato lo spazio limitato per espandere l'uso agricolo delle risorse terra e acqua, l'incremento di produzione necessario per soddisfare la crescente domanda di cibo dovrà derivare principalmente dal miglioramento nella produttività e nell'efficienza nell'uso di tali risorse"(FAO, 2020).

OBIETTIVO:

Lo scopo di EWEAS e di questa guida è fornire ai tecnici, agli operatori e ai gestori degli impianti di acquacoltura gli strumenti necessari per massimizzare la loro efficienza energetica e le loro prestazioni, consentendo loro di valutare in autonomia lo stato delle strutture attuali, nonché l'impatto sul consumo energetico derivante dalle azioni di miglioramento che stanno valutando di attuare.

EWEAS si concentra sull'analisi di tecnologie ampiamente collaudate e consolidate che, tuttavia, sono ancora spesso utilizzate entro parametri di lavoro inadeguati o non adeguatamente mantenute. Questo strumento formativo affronterà i seguenti punti essenziali: [Scegliere](#) l'attrezzatura giusta per ottenere le migliori prestazioni del proprio lavoro ottenendo un ritorno nel breve periodo sull'investimento; [Rilevare](#) quando un funzionamento inadeguato è stato corretto; [Valutare](#) quando conviene rinnovare l'attrezzatura.

Questa guida consentirà agli operatori che non hanno molta familiarità con il campo dell'efficienza energetica di scoprire una serie di nuove possibilità che contribuiranno ad aumentare l'efficienza delle loro installazioni e ridurre i costi di produzione e manutenzione. In breve, l'obiettivo è quello di fornire un sistema semplice per la valutazione e calcolo dei sistemi più comuni presenti negli impianti di produzione di acquacoltura, accompagnato da una formazione sufficiente per consentire al tecnico di acquacoltura di rendere i propri impianti più efficienti e, quindi, più competitivi all'interno del sempre più esigente mercato attuale.

LAYOUT DELLA GUIDA

Questo documento è composto da diverse sezioni relative ai sistemi e alle tecnologie più comuni nella produzione dell'acquacoltura. Ogni sezione inizia con una breve introduzione teorica relativa al suo contenuto seguita da elementi di analisi e da strumenti di calcolo. Questi consentiranno al tecnico o al responsabile dell'impianto di valutare la situazione attuale degli impianti e di proporre scenari di miglioramento che possono essere utilizzati oggettivamente per il processo decisionale in materia di attuazione e di misurazione dell'efficientamento energetico.





1. CONCETTI DI BASE - INTRODUZIONE

DEFINIZIONE DI ENERGIA E POTENZA

L'energia è la capacità di svolgere un lavoro e la sua unità di misura nel Sistema Internazionale è Joule (J).

La legge di conservazione dell'energia (primo principio della termodinamica) indica che l'energia rimane costante in un sistema isolato, sebbene possa essere trasformata in altri tipi di energia da cui consegue che l'energia non viene né creata né distrutta, si trasforma.

La **potenza** è la quantità di lavoro svolto in un dato periodo di tempo e la sua unità di misura è il Watt (W).

Pertanto, un watt è la quantità di lavoro necessaria per produrre un joule durante un secondo.
 $1 \text{ W} = 1 \text{ J} / \text{s}$

Sebbene l'unità raccomandata dal Sistema Internazionale in riferimento all'energia sia lo Joule, sono ampiamente utilizzati sia i Watt/ora (Wh) che i kilowatt/ora (kWh).

Il mantenimento di una potenza di 1 kW durante un'ora richiede un'energia di 1 kWh. Ciò equivale a 3.600.000 Joule ($3,6 \times 10^6 \text{ J}$).

FONTI DI ENERGIA

Una fonte di energia è qualsiasi fenomeno fisico (vento, maree, energia solare...) o materia (carbone, petrolio...) che ci permette di ottenere energia in grado di ottenere una determinata produzione o fornirci una certa utilità. Le fonti energetiche possono essere **rinnovabili** quando ci consentono un uso illimitato o **non rinnovabili**, quando la loro disponibilità diminuisce con lo sfruttamento di queste.

Le fonti di energia rinnovabile includono:

- › **Solare**: utilizzo dell'energia del sole per generare elettricità (solare fotovoltaico) o per sfruttarne il calore (solare termico).
- › **Eolica**: utilizzo dell'energia del vento.
- › **Idrica**: utilizzo dell'energia del flusso d'acqua sotto gravità.
- › **Geotermica**: basata sull'utilizzo del calore interno della terra.
- › **Biomasse**: utilizzo di materia organica non fossilizzata originata da un processo biologico.
- › **Marine**: basato sull'uso dell'energia derivante dal movimento dell'acqua di mare, come le onde o le maree.

Le **fonti energetiche non rinnovabili** includono petrolio, carbone, gas naturale, uranio...

Le fonti energetiche possono essere classificate come **primarie**, quando sono direttamente disponibili dalla natura (carbone, gas naturale, rinnovabile) oppure come **energia secondaria o finale**, quando è necessario un processo di trasformazione per ottenerle (elettricità, gasolio, ecc.).

DEFINIZIONE DI EFFICIENZA ENERGETICA E AUDIT ENERGETICO

L'[efficienza energetica](#) può essere definita come l'ottimizzazione del consumo energetico di un impianto, in modo tale da effettuare la stessa operazione riducendo il consumo energetico mantenendo stessa qualità e quantità del servizio fornito.

Ottenere un maggior grado di efficienza nell'utilizzo degli impianti e con esso la riduzione dei consumi energetici, porta non solo vantaggi economici, ma anche ambientali. Per poter adottare le misure opportune è necessario conoscere in anticipo la situazione energetica dell'azienda, ciò avviene solitamente attraverso un [audit energetico](#).

Un audit energetico permette di valutare i componenti con il maggior impatto sui consumi energetici. In esso, viene eseguita un'analisi della situazione che consente di ottenere conoscenze dettagliate su:

- › Modalità di funzionamento
- › Livelli di domanda di servizi che consumano energia
- › Funzionamento degli impianti energetici e stato dei loro componenti
- › Consumi energetici e costi operativi

Insomma, sapere [dove, come e per quale scopo](#) viene utilizzata l'energia in azienda per individuare i miglioramenti che si possono fare e quanta energia si potrebbe risparmiare.

L'esecuzione di un inventario esaustivo delle apparecchiature di consumo e le misurazioni dei consumi durante i cicli operativi consente di valutare il livello di efficienza delle apparecchiature e di individuare opportunità di miglioramento. Si segnala che gli interventi di miglioramento non devono sempre comportare un costo da parte dell'azienda, sono molte le azioni possibili (organizzative, modifica delle tariffe energetiche, ecc.).

Lo svolgimento di un audit energetico è particolarmente utile quando:

- › La mappa energetica, la domanda, i consumi e i costi di esercizio non sono noti.
- › Vengono utilizzate attrezzature e installazioni inefficienti.
- › La manutenzione è scarsa.
- › Le abitudini di consumo usuali non sono note.

I requisiti minimi di efficienza energetica a livello europeo si riflettono nella [Direttiva 2012/27 / UE](#) che stabilisce il quadro comune di misure per la promozione dell'efficienza energetica all'interno dell'Unione Europea, sebbene il suo recepimento nella legislazione dei diversi paesi membri possa aver portato a misure più rigorose.

CONCETTI DI BASE DELLA GESTIONE DELL'ENERGIA

Per stabilire obiettivi di risparmio energetico e poter valutare il risparmio energetico associato alle diverse misure di risparmio energetico da attuare, è necessario disporre di strumenti che permettano l'analisi dei consumi energetici e studiarne l'evoluzione in relazione a parametri esterni agli impianti (es. condizioni meteo-climatiche) e interni.

Non è sufficiente avviare una misura e verificare che stia generando i risparmi attesi nell'audit e, nel caso di programmi di investimento, verificare i tempi di recupero previsti. Sarà necessario effettuare un controllo nel tempo che ci consentirà di rilevare se quel dato sistema, inizialmente verificato ed implementato, prosegue come previsto e continua a produrre i risultati attesi.

Normalmente l'esperienza ci dice che, se non c'è un adeguato monitoraggio e controllo non solo nella manutenzione, ma anche nella supervisione delle misure correttive adottate, con il tempo la situazione ritorna ad essere quella iniziale.

Avere un sistema che ci permetta di conoscere i consumi giornalieri, settimanali, mensili, ecc... in tempo reale di quei punti, sezioni o attività che sono state implementate, ci permetterà di sapere se la previsione è rispettata o ci sono scostamenti. Il rilevamento di questi scostamenti ci consentirà di agire e conoscere il motivo per cui si sono verificati.

Molte volte, gli scostamenti sono dovuti a errori umani. Con un sistema di rilevamento dei consumi l'errore viene scoperto grazie al consumo eccessivo di energia che l'errore ha comportato, consentendo un intervento immediato ed evitando la perdita energetica ed economica.

Altre volte, queste deviazioni corrispondono a guasti nelle apparecchiature che non vengono rilevati quando altre apparecchiature entrano in un processo a cascata allo scopo di superare gli errori. Pertanto, questa tipologia di impianto può avvisarci di possibili anomalie solo poichè sono stati definiti range di lavoro considerati normali.



2. ILLUMINAZIONE

CONCETTI TECNICI

Flusso Luminoso: Entità la cui unità di misura è il lumen (lm) e che consente la misurazione della potenza luminosa emessa da una sorgente.

Il flusso luminoso è definito come la potenza della radiazione luminosa visibile emessa da una sorgente luminosa valutata con la sensibilità spettrale dell'occhio. La sensibilità spettrale massima dell'occhio umano è di 555 nm (nella regione giallo-verde dello spettro)

Efficienza Luminosa: è il rapporto tra il flusso luminoso (lm) emesso da una sorgente luminosa e la sua potenza (W). Risulta essere un indicatore del grado di efficienza di un apparecchio di illuminazione.

$$\eta = \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

Illuminamento (E): Il rapporto tra il flusso luminoso ricevuto da una data superficie e la sua area. La sua unità di misura è il lux (lm/m²).

$$E = \frac{lm}{m^2}$$

Intensità della luce (I): Flusso emesso da una sorgente luminosa in una certa direzione definita dall'angolo solido. La sua unità è la candela (cd).

Luminanza (L): Rapporto tra l'intensità luminosa di un oggetto e la sua superficie. Equivalente alla brillantezza della superficie. Unità: cd / m².

Indice unificato di abbagliamento (UGI): Indice utilizzato per quantificare l'abbagliamento causato direttamente dalle sorgenti luminose. È misurato su una scala da 10 a 31.

Temperatura del colore: Tonalità della luce emessa. Corrisponde alla temperatura associata a un corpo nero ideale che emette una radiazione luminosa cromaticamente simile alla radiazione in esame. Si misura in gradi Kelvin e ci permette di apprezzare le variazioni nell'aspetto del colore, su una scala che va da quella che chiamiamo temperatura di colore "calda" e il cui valore Kelvin non è molto elevato, ad un aspetto del colore "freddo" che corrisponde a un valore in K superiore.



Img 2.
temperatura del
colore : **CALDA**

Img 3. temperatura
del colore :
LUCE FREDDA



Indice di resa cromatica (IRC): questo indice permette di conoscere la capacità di una sorgente luminosa di riprodurre fedelmente i colori. Viene misurato su una scala da 0 a 100, dove 100 è la resa cromatica che si otterrebbe da una fonte ideale di luce naturale (come il sole).

Valore IRC	Valutazione	Tipi di lampade associate
90 < IRC < 100	Livello IRC eccellente	Incandescente; Alogena; Led
80 < IRC < 90	Buon livello	Fluorescente; Fluorescente compatta
IRC < 80	Livello IRC basso	Vapore di sodio

Gli **elementi principali** che compongono un impianto di illuminazione sono i seguenti:

- > Lampade
- > Apparecchi di illuminazione

Secondo la definizione della CIE (Commission internationale de l'éclairage), gli apparecchi di illuminazione sono dispositivi che filtrano, distribuiscono o trasformano la luce emessa da una o più lampade e contengono gli accessori necessari per alimentarle.

- > Equipaggiamento ausiliario
- > Supporti
- > Elementi di installazione e protezione
- > Pannello di controllo e protezioni



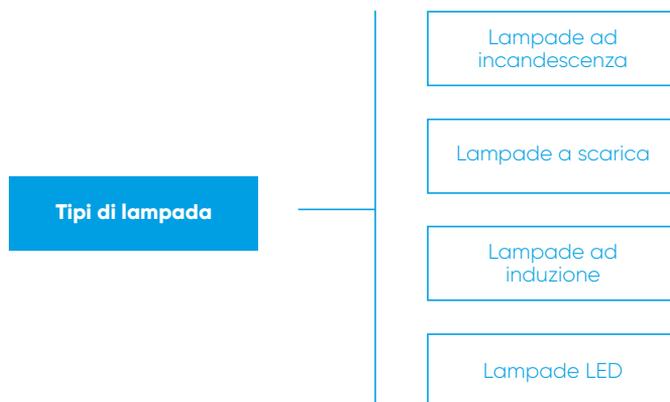
Incandescenza. Il sistema di illuminazione più inefficiente

Il funzionamento delle lampadine tradizionali si basa sull'emissione di energia grazie ad un'elevata temperatura nel suo filamento interno. La parte visibile della radiazione emessa è chiamata "incandescenza". Questo tipo di illuminazione ha raggiunto un livello IRC perfetto di 100.

I sistemi di illuminazione basati sul principio dell'incandescenza sono stati progressivamente ritirati dal mercato europeo all'inizio del secolo a causa della loro inefficienza. Solo il 5% del loro consumo energetico è utilizzato per l'illuminazione, mentre il resto dell'energia è dispersa sotto forma di calore.



TIPI DI LAMPADA



LAMPADE AD INCANDESCENZA

Incandescenza non-alogena: Erano le più utilizzate nel settore domestico per via del loro basso costo e versatilità. Il loro funzionamento si basa sul passaggio di una corrente elettrica attraverso un filamento di tungsteno. Attualmente sono state in gran parte ritirate dal mercato ma si possono ancora trovare funzionanti in molte installazioni.

Incandescenza alogena: La loro durata ed efficienza è migliore, ma hanno un costo maggiore e il loro utilizzo è più delicato. Incorporano un gas per evitare che il tungsteno evapori dal filamento e si depositi nel bulbo, riducendo così il flusso luminoso.

LAMPADE A SCARICA

La luce è ottenuta per eccitazione di un gas soggetto a scariche elettriche tra due elettrodi che richiedono apparecchiature ausiliarie per il suo funzionamento. In campo industriale sono le più utilizzate, essendo di diverse tipologie e forme (tubolari, cilindriche...) a seconda del gas e della pressione. Le più utilizzate negli ambienti industriali per quanto riguarda la loro tecnologia sono le seguenti:

- › Lampade ai vapori di sodio ad alta e bassa pressione
- › Lampade a vapori di mercurio ad alta pressione
- › Lampade fluorescenti e fluorescenti compatte
- › Lampade ad alogenuri metallici

Tutte condividono la caratteristica di necessitare di apparecchiature ausiliarie (ballast o reattanza) in grado di generare un arco elettrico che permetta di accendere la lampada e di mantenerla, limitando anche l'intensità di corrente.

Lampade fluorescenti tubolari: Si tratta di lampade a vapori di mercurio a bassa pressione e bassa potenza, la cui tradizionale applicazione è in interni con altezze ridotte (tipico sistema di illuminazione "da ufficio"). Hanno una lunga durata, un basso costo di acquisto e presentano una grande varietà di aspetti cromatici.

Esistono due tipi di sistemi di alimentazione per le lampade fluorescenti: a reattore elettromagnetico e a reattore elettronico.

Reattori tradizionali (elettromagnetici) aumentano il consumo energetico del sistema di illuminazione di circa il 15-20% (a seconda del modello e della potenza della lampada) e sono stati quindi progressivamente sostituiti **nei modelli di lampade fluorescenti tubolari da moderni reattori elettronici** che oltre a non avere questo svantaggio associato al consumo energetico, presentano altri vantaggi come l'eliminazione dell'effetto stroboscopico, la semplice regolazione del flusso luminoso, il prolungamento della vita delle lampade, l'accensione istantanea e l'eliminazione del fastidioso "sfarfallio" che si verifica sia all'accensione della lampada che a fine vita.

La sostituzione dei reattori elettromagnetici con quelli elettronici nei modelli di lampade fluorescenti tubolari è una misura di risparmio energetico molto comune con risparmi sui consumi di circa il 20% e tempi di ammortamento ridotti (solitamente uno o due anni in ambienti di lavoro e con ore di funzionamento annue considerevoli).

Lampade a fluorescenza compatte: stesso funzionamento delle lampade fluorescenti tubolari, anche se di piccole dimensioni in quanto costituite da uno o più tubi fluorescenti piegati. Molti hanno l'attrezzatura ausiliaria direttamente incorporata.

Lampade a vapori di mercurio ad alta pressione: Hanno un flusso luminoso maggiore della fluorescenza, sebbene la loro accensione non sia istantanea. La loro efficienza è inferiore e hanno un costo medio di acquisto.

Lampade a vapori di sodio a bassa pressione: Sono lampade ad alta efficienza con un colore giallastro. Il loro uso tradizionale è in autostrade, aree industriali e illuminazione pubblica. Hanno dimensioni grandi per grandi potenze.

Lampade a vapori di sodio ad alta pressione: Migliorano la resa cromatica delle lampade a bassa pressione, mantenendo un'elevata efficienza rispetto al resto delle lampade. Sono normalmente utilizzate in installazioni industriali, sia all'interno che all'esterno.

Esiste un altro tipo con un livello di pressione più elevato chiamato sodio bianco che fornisce una maggiore resa cromatica.

Lampade con alogenuri metallici: La loro composizione include alogenuri metallici che migliorano notevolmente la riproduzione del colore. Il loro costo di acquisto è elevato e la durata è media.

Lampade miste: Si tratta di una combinazione di lampade a vapori di mercurio ad alta pressione e lampade a incandescenza, insieme a un rivestimento fosforescente. Non hanno bisogno di un

alimentatore per il loro funzionamento e hanno una scarsa efficienza luminosa e resa cromatica. Attualmente sono in disuso.

LAMPADE AD INDUZIONE

Sebbene il loro funzionamento sia basato sul principio dello scarico del gas a bassa pressione, hanno la caratteristica della dispensazione degli elettrodi. La loro vita utile è molto lunga.

LAMPADE A LED

Con una vita media molto più lunga rispetto ad altre lampade e un'efficienza molto elevata, questo tipo di lampada si basa sull'utilizzo di materiali semiconduttori in grado di trasformare direttamente la corrente in luce. La quota di mercato di queste lampade ad alta efficienza è cresciuta notevolmente negli ultimi dieci anni poiché il costo è progressivamente diminuito e quindi sono diventate sempre più competitive.

Di seguito una tabella con valori medi approssimativi delle caratteristiche per le più comuni tecnologie di lampade sul mercato:

	Potenza (W)	Durata utile (h)	Efficienza (lm/W)	Temp. colore (K)	IRC (%)	Accensione (minuti)
Incandescenza	25 ~ 2.000	1.000	8 ~ 21	2.700	100	0
Alogena	40 ~ 100	2.000	15 ~ 27	2.800	100	0
Fluorescenza	16 ~ 65	5.000	48 ~ 80	2.700 ~ 6.000	70 ~ 98	0
Lampade a fluorescenza compatte	7 ~ 50	8.000	57 ~ 65	2.700 ~ 6.000	85	0
Miste	160 ~ 500	6.000	19 ~ 28	3.600	60	2
Mercurio ad alta pressione	50 ~ 2.000	24.000	32 ~ 60	3.500 ~ 4.500	40 ~ 70	4
Alogenuri metallici	70 ~ 3.500	10.000	75 ~ 105	3.000 ~ 6.000	80 ~ 90	3 ~ 10
Induzione	70 ~ 150	60.000	80	3.000	80	0
Sodio a bassa pressione	18 ~ 180	6.000	100 ~ 200	1.800	~	15
Sodio ad alta pressione	35 ~ 1.000	8.000	60 ~ 130	2.000	25 ~ 50	5 ~ 10
Sodio bianco	35 ~ 150	12.000	40 ~ 50	2.500	85	12
LED	1,5 ~ 50	50.000	60 ~ 120	2.500 ~ 8.000	70 ~ 98	0

CALCOLO DEL CONSUMO ENERGETICO DI UN SISTEMA DI ILLUMINAZIONE

I principali fattori che influenzano il consumo di un impianto di illuminazione e che sono determinanti per il suo consumo sono i seguenti:

- › Potenza installata
- › Ore di funzionamento
- › Livello di illuminazione desiderato
- › Prestazioni della lampada
- › Efficienza degli apparecchi di illuminazione
- › Dispositivi di regolazione e controllo

Il consumo energetico di un impianto di illuminazione è direttamente correlato alla potenza installata e al numero di ore di funzionamento. Prendiamo quindi come esempio un'installazione in cui è presente un totale di:

- › 50 lampade ad incandescenza tradizionali da 60W di potenza per unità. Queste lampade funzionano all'aperto di notte, circa 10 ore al giorno, tutto l'anno.
- › 30 lampade a LED da 15W di potenza ciascuna. Queste lampade installate nelle aree comuni dell'edificio lavorano mediamente 5 ore al giorno dal lunedì al venerdì durante tutto l'anno.
- › 10 schermi a tubo fluorescente (reattore convenzionale) da 2x36W di potenza. Sono installati negli uffici e lavorano 8 ore al giorno dal lunedì al venerdì tutto l'anno.

Il consumo annuo per le lampade ad incandescenza sarà:

Potenza installata = 50 unità x 60W = 3.000W = 3 kW

Tempo di funzionamento = 10 ore / giorno x 365 giorni = 3650 ore

Consumo energetico = 3 kW x 3.650 ore = 10.950 kWh

Il consumo annuo corrispondente alle lampade a LED sarà:

Potenza installata = 30 unità x 15W = 450W = 0,45 kW

Tempo di funzionamento = 5 ore / giorno x (365 - 52 giorni) = 1565 ore

Consumo energetico = 0,45 kW x 1565 ore = 704,25 kWh

Il consumo annuo corrispondente agli schermi a tubo fluorescente sarà:

Potenza installata = 20 unità x 36W x 1,2 = 864W = 0,86 kW (vedere note 1 e 2)

Tempo di funzionamento = 8 ore / giorno x (365 - 52 giorni) = 2.504 ore

Consumo energetico = 0,86 kW x 2.504 ore = 2.163,45 kWh

- › Nota 1: come indicato nell'esempio, ci sono 10 apparecchi da 2x36W, cioè due tubi fluorescenti per ogni apparecchio. Totale 20 unità.
- › Nota 2: La potenza dell'unità aumenta (x 1.2) perché, come visto nelle sezioni precedenti, i tubi fluorescenti sono lampade a scarica (come le lampade ai vapori di sodio o mercurio, tra le altre) che necessitano di un alimentatore per farle accendere. I reattori tradizionali aumentano il consumo delle lampade di circa il 20% (a seconda della potenza e del produttore).

Consumo totale di energia dell'impianto descritto sarà :

$10.950 + 704,25 + 2.163,45 = 13.817,7$ kWh/anno

Il che, considerando un prezzo medio in Europa per il consumo di energia elettrica di 0,1251 euro / kWh (dato corrispondente al primo semestre 2019 per i consumatori medi non domestici [EURO-STAT, 2019] e ovviamente non attuale nel 2022) ci dà un costo totale annuo di **1.728, 59 euro**.

TECNOLOGIE ATTUALI: SOSTITUZIONE DELLE LUCI CON ALTRE CON MAGGIORE EFFICIENZA

Le tabelle seguenti indicano diverse opzioni per la sostituzione di lampade di diverse tecnologie e potenze, che potrebbero essere sostituite senza diminuzione delle condizioni di illuminazione.

Così, ad esempio, guardando la tabella 1 possiamo vedere come sia fattibile sostituire una lampada ad incandescenza da 60 W con una lampada fluorescente compatta da 11 W e che ciò significherebbe un risparmio energetico di circa l'82%.

Equivalenza tra lampade ad incandescenza e fluorescenti compatte

Incandescenza	Fluorescenza compatta	Risparmio energetico
15 W	3 W	80 %
25 W	5 W	80 %
40 W	7 W	82 %
60 W	11 W	82 %
75 W	15 W	80 %
100 W	20 W	80 %
150 W	23 W	84 %

Equivalenza tra alogeno dicroico e lampade a LED

Dicroico (alogeno)	LED	Risparmio energetico
35 W	4 W	89 %
50 W	5,5 W	89 %

Equivalenza tra incandescenza e lampade a LED

Incandescenza	LED	Risparmio energetico
32 W	6 W	81 %
40 W	8 W	80 %
48 W	9,5 W	80 %
60 W	12 W	80 %
75 W	17 W	77 %

Equivalenza tra lampade fluorescenti convenzionali e a risparmio energetico

Fluorescenza Convenzionale	Lampade fluorescenza a risparmio energetico	Risparmio energetico
18 W	16 W	11 %
36 W	32 W	11 %
58 W	51 W	12 %

Sostituire i sistemi di illuminazione convenzionali con l'illuminazione a tecnologia LED comporta notevoli risparmi, anche se questi variano - in misura maggiore o minore - a seconda della tecnologia di partenza. Il risparmio medio stimato passando al LED in diverse tecnologie può essere visto nella tabella seguente:

Tecnologia attuale	Risparmio stimato dopo il passaggio a LED
Vapori di sodio alta pressione	60 %
Vapori di sodio bassa pressione	20 %
Alogenuri metallici	40 %
Vapore di Mercurio	40 %
Incandescenza	15 %
Alogena	15 %
Fluorescenza	50 %

MISURAZIONE ILLUMINAZIONE: METODO DEI 9 PUNTI

Per conoscere il **livello di luminosità** esistente in una determinata installazione è necessario utilizzare un luxmetro. Questa apparecchiatura è affidabile, economica e facile da usare. È stato utilizzato regolarmente da professionisti (esperti di illuminazione e revisori energetici tra gli altri). Il luxmetro ci consentirà di quantificare una serie di parametri per garantire un'illuminazione sufficiente negli impianti. I punti chiave **dell'efficienza luminosa** sono:

- › **Luce sufficiente:** disponibilità di livelli di luce adeguati, in base alla natura del campo visivo.
- › **Illuminazione uniforme:** illuminazione generale con un alto grado di uniformità che garantisce la totale libertà nella localizzazione dei macchinari o delle squadre di lavoro.
- › **Buona illuminazione verticale:** dove necessario la luce dovrebbe raggiungere i punti più alti della stanza.
- › **Sorgenti luminose ben schermate:** una corretta schermatura assicura che la luce sia diretta dove è necessaria senza abbagliare le persone.
- › **Bilanciamento della luminosità:** fornisce una sensazione di comfort.
- › **Colore della luce piacevole:** una sorgente con un colore piacevole e una buona resa cromatica.
- › **Bassi costi di manutenzione:** aspetto importante per una corretta gestione economica.

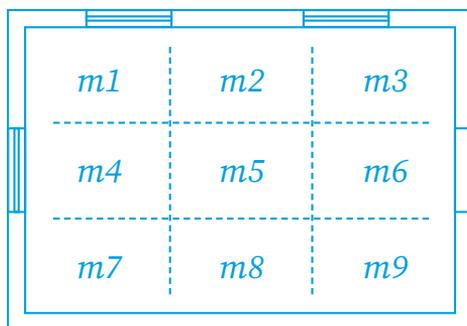
Come vedremo più avanti, la normativa UE che regola il livello minimo di illuminazione necessario per ogni tipologia di lavoro è la norma EN 12464 (parti 1 e 2). Bisogna tenere conto che all'interno di un'azienda si svolgono molti lavori diversi (magazzini, uffici, aree di produzione...) e ognuno di essi ha esigenze di illuminazione, uniformità e abbagliamento differenti che sono regolamentate dalla normativa già citata. È per questo motivo che devono essere effettuate misurazioni in ciascuno dei locali al fine di verificare che le condizioni necessarie per il tipo di lavoro svolto siano correttamente soddisfatte.

COME ESEGUIRE LE MISURAZIONI

La misura che otteniamo dal luxmetro sarà molto più alta se valutata direttamente sotto la sorgente luminosa e diminuirà progressivamente man mano che ci allontaniamo da essa. Inoltre, altri fattori come i colori e la riflettività delle pareti possono influenzare il risultato. Abbiamo bisogno, quindi, di un metodo che ci consenta di ottenere un valore misurato correttamente per l'intera stanza.

La misurazione in 9 punti (i cosiddetti nodi) distribuiti uniformemente nella stanza è sufficiente per calcolare l'illuminamento medio rappresentativo in una stanza. La parte della stanza rappresentata da ogni nodo è chiamata dominio. L'illuminamento totale è calcolato da una media ponderata (equazione sotto riportata).

Il metodo numerico dei 9 punti è una metodologia ampiamente accettata e stabilisce che è sufficiente misurare i punti rappresentativi, i cosiddetti nodi, ciascuno di essi corrisponde a un dominio. L'illuminamento totale è calcolato come media ponderata dagli illuminamenti di ciascun dominio:



$$E_m = \frac{m1+m3+m7+m9}{16} + \frac{m2+m4+m6+m8}{8} + \frac{m5}{4}$$

Sebbene le norme debbano essere seguite sia a livello nazionale che locale, secondo le linee guida della norma EN 12464 per ogni mansione o specifico posto di lavoro, si può considerare che un valore $E_m = 100$ lux può risultare appropriato per compiti visivi leggeri, mentre un valore $E_m = 300$ lux è necessario per una scrivania da ufficio receptionist.

$E_m = 500$ lux verrebbe utilizzato per normali attività visive (come leggere o scrivere) e un valore $E_m = 1000$ lux o superiore risulterebbe appropriato per requisiti visivi elevati, come ispezione dei colori in determinate industrie o camere d'esame in strutture sanitarie.

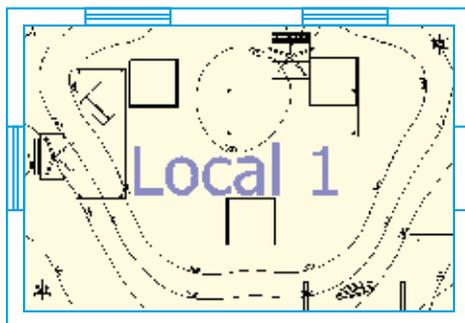
È opportuno tenere presente che il valore ottenuto come metodo dei 9 punti di illuminamento medio (E) può essere sufficiente per le normali esigenze, eppure, una cattiva illuminazione nei locali a causa della scarsa localizzazione della luminanza crea problemi ai lavoratori. L'uniformità media (U) è il valore che ci permette di riconoscere se la distribuzione dei sistemi di illuminazione è corretta o, al contrario, si creano zone d'ombra tra una sorgente luminosa e l'altra.

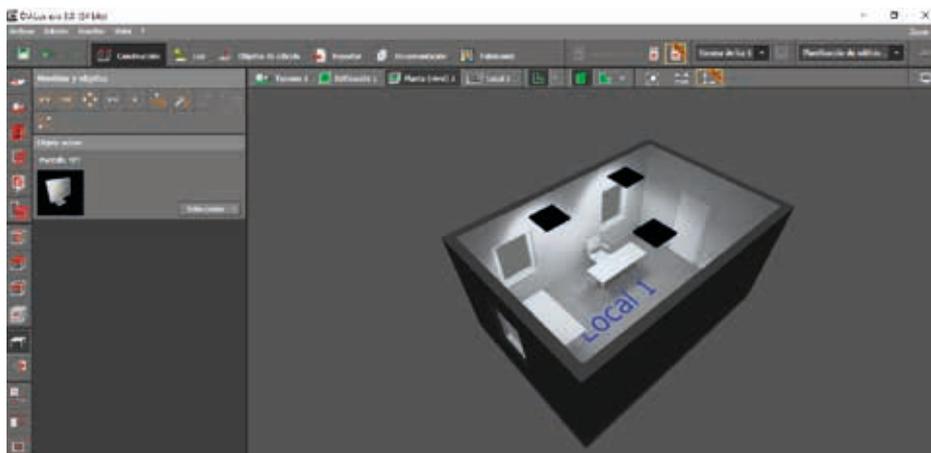
L'**Uniformità media (U_m)** è calcolata come rapporto tra il valore minimo ottenuto nelle misurazioni e l'illuminamento medio (E_m).

$$U_m = \frac{E \text{ (min)}}{E_m}$$

Il valore U_m è migliore quanto più ci si avvicina all'unità. Ad esempio, un valore U_m di 0,40 è adatto per le posizioni dei file degli uffici, mentre sarebbe necessario raggiungere un valore U_m di 0,60 per le aule di lettura negli edifici scolastici.

Un altro modo per ottenere questi valori è utilizzare un **software di simulazione**, che ci permette di modellare i locali con tutti i parametri costruttivi e di illuminazione necessari. Le immagini seguenti corrispondono ad una simulazione di calcolo eseguita, a titolo di esempio, con una versione del **software DIALux** gratuito.





ESEMPIO DI CALCOLO DEL LIVELLO DI ILLUMINAZIONE IN UN LOCALE

Supponiamo di aver effettuato tutte e nove le misurazioni con un luxmetro negli uffici e di aver ottenuto i seguenti risultati:

<i>m1</i> 625 lux	<i>m2</i> 612 lux	<i>m3</i> 615 lux
<i>m4</i> 685 lux	<i>m5</i> 780 lux	<i>m6</i> 640 lux
<i>m7</i> 560 lux	<i>m8</i> 635 lux	<i>m9</i> 550 lux

m1 (Lux)	m2 (Lux)	m3 (Lux)	m4 (Lux)	m5 (Lux)	m6 (Lux)	m7 (Lux)	m8 (Lux)	m9 (Lux)
625	612	615	685	780	640	560	635	550

Come si può vedere, il valore più basso si ottiene nel punto di misura m9 con 550 lux, mentre il valore più alto si ottiene nel punto di misura m5 con 780 lux. Dai valori ottenuti calcoliamo l'Em e l'uniformità media.

$$Em = \frac{m1+m3+m7+m9}{16} + \frac{m2+m4+m6+m8}{8} + \frac{m5}{4}$$

$$Em = \frac{625+65+560+550}{16} + \frac{612+685+640+635}{8} + \frac{780}{4}$$

$$Em = 663,38$$

$$Um = \frac{E (min)}{Em}$$

$$Um = \frac{550}{663}$$

$$Um = 0,83$$

Trattandosi di un locale ufficio, come indicato nell'esempio, e dopo aver consultato la sezione corrispondente della EN 12464-1 per l'illuminazione nei luoghi di lavoro, possiamo vedere che il completamento della maggior parte del lavoro proprio dell'ufficio, richiede un livello Em minimo di 500 lux (scrivere; leggere; utilizzo CAD; sale conferenze e riunioni; dattilografia), mentre per alcune attività sono richiesti valori anche inferiori; pertanto, solo per attività tra 200 e 300 lux (a seconda dei casi) e per banchi reception da 300 lux. Per lavori di disegno tecnico, invece, è richiesto un valore maggiore di 750 lux, essendo questo l'unico caso per cui l'illuminazione del nostro esempio sarebbe insufficiente.

Anche il valore di uniformità ottenuto da Um s 0,83 è considerato sufficientemente buono per impedire la comparsa di zone d'ombra tra le lampadine. Infine, va notato che la EN 12464-1 indica anche il tasso di abbagliamento e il grado di riproduzione del colore (Ra) richiesto per i diversi locali e che, per gli impianti di acquacoltura, non dovrebbe essere inferiore a 80. Questi dati dovrebbero essere presi in considerazione nell'acquisto di lampade sostitutive e dell'esecuzione della manutenzione.

UTILITÀ DELLE MISURE DI ILLUMINAMENTO MEDIO

Dalle informazioni fornite dalla misurazione delle condizioni di illuminazione si possono adottare diverse misure per la riduzione dei consumi o per il miglioramento dei processi produttivi, quali:

- Diminuzione del livello di illuminazione

Nei locali in cui si riscontra un livello di illuminazione superiore a quello necessario per le attività ivi svolte (sovrailuminazione), è possibile ridurre i consumi attraverso azioni quali:

- › Sostituzione delle lampade esistenti con lampade di potenza inferiore.
- › Spegnimento selettivo di alcuni punti luce.
- › Interruttori settoriali per l'arresto delle aree durante le ore in cui è disponibile l'illuminazione esterna.
- › Installazione di fotocellule che comandano l'illuminazione elettrica in funzione del livello di luce naturale (nei casi in cui la situazione di sovrailuminazione si verifichi per alimentazione di luce dall'esterno durante il giorno, attraverso lucernari, finestre, ecc...).

- Adattare le condizioni ambientali

Tenendo presente l'importanza del controllo dell'illuminazione in acquacoltura sia per la l'attività che per il tasso di crescita degli esemplari, avere dati precisi, laddove l'installazione di elementi di controllo automatico non è fattibile, può essere un vantaggio competitivo significativo. L'illuminazione a LED, sempre più presente in tutte le aree, consente un'illuminazione di qualità, con una buona riproduzione dei colori e consumi molto contenuti rispetto ai sistemi di illuminazione tradizionali. Essa consente inoltre la regolazione della sua intensità luminosa in modo semplice e anche la variazione di colore, aspetto questo interessante dal punto di vista produttivo negli impianti di acquacoltura.



Effetti dell'illuminazione LED verde e blu sullo stress dei pesci.

Uno studio condotto dagli scienziati della Korea Mari-time e della Ocean University ha mostrato l'influenza di varie lunghezze d'onda della luce sullo stress fisiologico causato dai cambiamenti di temperatura dell'acqua nello scorfano coreano (*Sebastes schlegelii*). Il documento, pubblicato su Fisheries Science nel 2017, sottolinea l'influenza dell'illuminazione a LED verde e blu sul recupero dei danni fisiologici nei pesci.



(Cheol Young Choi, 2017).

ILLUMINAZIONE NEI LUOGHI DI LAVORO

Gli standard europei che regolano le condizioni di illuminazione sul posto di lavoro sono EN 12464-1 (per i luoghi di lavoro all'interno) e EN 12464-2 (per i luoghi di lavoro all'aperto). Questi standard, in cui è possibile trovare le condizioni ottimali di visibilità e comfort per un'ampia gamma di luoghi di lavoro, forniscono anche raccomandazioni sulle buone pratiche di illuminazione. Gli standard nazionali o locali possono anche essere applicati in aggiunta a queste normative.

Sebbene non vi sia una sezione specifica relativa all'acquacoltura in tali norme, molte delle azioni a cui si fa riferimento nella tabella seguente possono servire da guida per analogia di altri compiti e attività da svolgere.

Aree, compiti o attività		Em (lux)
12464-1 Luoghi di lavoro all'interno		
Agricoltura	<ul style="list-style-type: none">› Carico, operazioni con oggetti, attrezzature per la movimentazione, macchinari, sale veterinarie, aree per riproduzione animali, preparazione alimenti, svuotamento e lavaggio utensili	200 lux
Ind. Alimentare	<ul style="list-style-type: none">› Luoghi di lavoro critici (macelli, mulini, sezionamento, filtrazione...)› Aree di lavoro generali› Laboratori	200 lux 500 lux 500 lux
Zone di movimentazione e aree comuni	<ul style="list-style-type: none">› Aree di riposo› Spogliatoi, pulizie› Vani materiali e meccanismi› Aree di circolazione e corridoi	100 lux 100 lux 200 lux 200 lux
Uffici	<ul style="list-style-type: none">› Archivio, copie, ecc› Scrittura, scrittura a macchina, lettura, elaborazione dati› Disegno tecnico› Postazioni di lavoro CAD› Sale conferenze e riunioni› Banchi accettazione› Archivi	300 lux 500 lux 750 lux 500 lux 500 lux 300 lux 200 lux
EN 12464-2 Luoghi di lavoro esterni		
Allevamenti	<ul style="list-style-type: none">› Recinti› Aree per la selezione degli animali	20 lux 50 lux

In ogni caso, si deve tener conto che queste norme europee, come evidenziato nel paragrafo 1 "Oggetto e campo di applicazione" non specificano i requisiti di illuminazione per quanto riguarda la sicurezza e la salute dei lavoratori sul luogo di lavoro, anche se di solito soddisfano le loro esigenze di sicurezza.



3. MOTORI ELETTRICI

TEORIA:
EFFICIENZA DI UN MOTORE ELETTRICO

Un motore elettrico è un macchinario che trasforma energia elettrica in energia meccanica. Ci sono motori alimentati a corrente continua (CC) e a corrente alternata (AC):

	VANTAGGI	SVANTAGGI
Motori alimentati a corrente continua (CC)	Facile regolazione della velocità (tramite controllo della tensione -V)	Costo di acquisto elevato Elevato costo di manutenzione (la loro progettazione prevede l'uso di spazzole per trasferire energia alle parti in movimento, che hanno un'importante resistenza agli agenti atmosferici)
Motori alimentati a corrente alternata (AC)	Costo di acquisto inferiore Design più semplice Maggiore disponibilità di fonti di alimentazione AC	Velocità operativa fissa (Richiedono inverter)

I Motori a corrente continua possono essere:

- › **Sincroni:** Dove la velocità di rotazione corrisponde alla frequenza della corrente alternata.
- › **Asincroni:** Dove la velocità di rotazione può differire dal campo magnetico dello statore.

I principali parametri di un motore, che possono essere facilmente trovati sulla targhetta dell'apparecchiatura, sono i seguenti:

- › Tensione (V)
- › Corrente nominale e di avviamento (A)
- › Potenza Nominale (kW o CV): Potenza erogata sull'albero quando il motore funziona normalmente (da non confondere con la potenza prelevata dalla rete elettrica).
- › Fattore di potenza: in funzione di frequenza e tensione ($P = I \times V \times \cos \phi$)
- › Velocità di rotazione: in funzione della frequenza rete elettrica (rpm)
- › Fattore di carico: percentuale rispetto alla potenza di carico alla quale lavora il motore
- › Prestazioni elettriche: potenza ottenuta sull'asse rispetto alla potenza assorbita dalla rete.

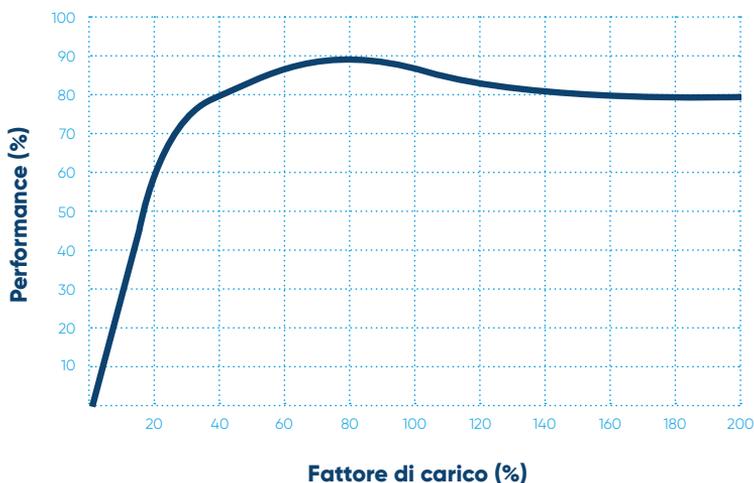
I motori hanno diversi tipi di perdite durante il funzionamento:

- › **Perdite elettriche:** Dipendono dalla velocità di lavoro del motore (fattore di carico). Sono presenti sia nel rotore che nello statore e vengono disperse come riscaldamento attraverso l'avvolgimento.
- › **Perdite Meccaniche:** Si dividono in attrito e perdite di ventilazione. Il primo si verifica a causa dell'attrito tra il rotore e lo statore e l'attrito dei cuscinetti dell'albero. Le seconde sono il risultato dell'attrito delle parti in movimento con l'aria.
- › **Perdite del nucleo:** Rappresenta l'energia richiesta per magnetizzare il nucleo. È indipendente dal carico.

ANALISI OPERATIVA

A differenza di altre apparecchiature - come l'illuminazione - dove il consumo di energia dipende principalmente dal tempo di funzionamento poiché il suo valore di potenza rimane stabile, nei motori elettrici il consumo ha una relazione diretta con il carico di lavoro a cui sono sottoposti. Pertanto, è importante selezionare motori appropriati al carico di lavoro che si sta eseguendo.

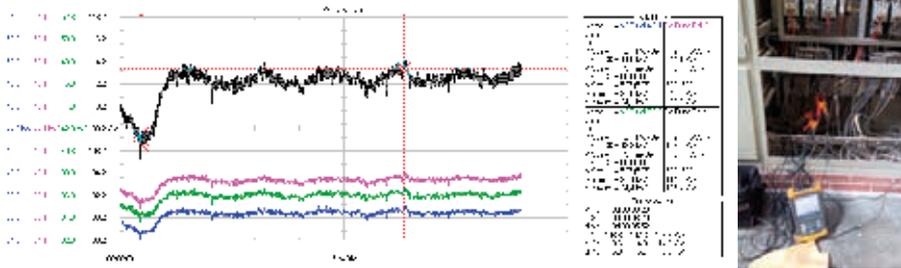
Il grafico seguente mostra una tipica curva delle prestazioni del motore rispetto al suo fattore di carico. Si può vedere come le prestazioni più elevate si ottengano intorno al 75% del fattore di carico mentre le prestazioni del motore inferiori al 25% del fattore di carico precipitano.



È facilmente evidenziabile dal grafico che l'uso di motori con un carico di lavoro elevato è preferibile rispetto all'uso di motori di grandi dimensioni funzionanti a bassa capacità.

Il modo migliore per conoscere il carico di un motore in un ambiente operativo è installare un'apparecchiatura di misurazione per l'analisi di rete che ne monitori il funzionamento per un lungo periodo di tempo. Ciò consente di analizzare i periodi di tempo in cui il motore è sottoposto a diversi carichi di lavoro.

Vengono mostrati, a titolo di esempio, i risultati ottenuti da una misura di un motore, tramite l'utilizzo di un analizzatore di rete Fluke 434.



Img 4. PENDENZA DEL CARICO DELL'ANALIZZATORE DI RETE

Tuttavia, gli analizzatori di rete sono apparecchiature costose che richiedono conoscenze tecniche per il collegamento e l'analisi dei risultati, quindi in generale, per essere in grado di sapere approssimativamente dove è in funzione un motore, i dati della scheda motore vengono spesso utilizzati insieme a misurazioni che il personale addetto alla manutenzione può eseguire mediante di una semplice pinza amperometrica.

Il valore così ottenuto può avvicinarsi molto alla realtà nei motori che funzionano senza grandi variazioni nel carico di lavoro (o con vari gradi o "fasi" di carico di lavoro stabili in determinati periodi di tempo, che richiederebbero misurazioni per ciascuno di quei periodi).

Il calcolo dei motori AC si ottiene in base a:

$$P_{abs} = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \times \cos\Phi}{1.000}$$

$$\eta_{elect.} = \frac{P_N}{P_{abs}}$$

Essendo:

P_{abs} = Potenza assorbita (kW)

V = Tensione di alimentazione (V)

I = Intensità (A)

$\cos\phi$ = Fattore di potenza

P_N = Potenza nominale (kW)



Img 5. ESEMPIO DI targhetta sul MOTORE

Si può notare che la targhetta del motore riporta i dati necessari per il calcolo, per i quali è necessario tenere presente la frequenza di rete (50 Hz in Europa) e il tipo di collegamento del motore (Y / D).

ESEMPIO DI CALCOLO DEL CONSUMO DEL MOTORE.

Calcola le prestazioni nominali di due motori elettrici collegati ad una rete a bassa tensione 380 V che registrano i seguenti parametri:

Motor 1	PN = 2 HP	Cosφ = 0,75	I = 3,9 A
Motor 2	PN = 10 HP	Cosφ = 0,85	I = 15,5 A

	$P_{abs} = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi}{1.000}$	$\eta_{elect.} = \frac{P_N}{P_{abs}}$
Motor 1	$P_{abs} = (\sqrt{3} \times 380 \times 3,9 \times 0,75) / 1000$ $P_{abs} = 1,93 \text{ kW}$	$\eta_{elect.} = (2 \times 0,736) / 1,93 = 0,76$
Motor 2	$P_{abs} = (\sqrt{3} \times 380 \times 15,5 \times 0,85) / 1000$ $P_{abs} = 8,67 \text{ kW}$	$\eta_{elect.} = (10 \times 0,736) / 8,67 = 0,76$

Nota: 4Px 0,736 = kW

ESEMPIO DI CALCOLO PER UNA CORRETTA SELEZIONE DELLA POTENZA. SOSTITUZIONE DEL MOTORE

In questo caso si effettuerà lo studio su un impianto di pompaggio in cui si utilizza un motore da 10 kW, tuttavia la potenza utile richiesta dalla pompa è di soli 4 kW. La prestazione del motore per un fattore di carico del 40% è 0,56.

Si calcoli

1- Calcolo della redditività se sostituiamo il motore con un motore da 5 kW che ha una resa di 0,75 per un fattore di carico dell'80%.

2 - Calcolo del singolo periodo di rientro, se il costo della sostituzione completa del motore è di 1500 euro e il motore funziona 20 h / giorno, 300 giorni all'anno e il costo elettrico medio del kWh è di 10 cent / kWh.

	Motore Esistente	Motore Proposto
Potenza nominale	10 kW	5 kW
Potenza utile	4 kW	4 kW
Fattore di Carico	40%	80%
Performance	56%	75%

Ore di lavoro annuali = 20 x 300 = 6.000 ore

Costo medio dell'energia per kWh = 10 c€/kWh

Motore 1	Motore 2
$P_{abs} = \frac{P_N}{\eta_{elect.}}$	$P_{abs} = \frac{P_N}{\eta_{elect.}}$
$P_{abs} = \frac{4}{0,56}$	$P_{abs} = \frac{4}{0,75}$
$P_{abs} = 7,14 \text{ kW}$	$P_{abs} = 5,33 \text{ kW}$
Consumo = P abs x h/anno Consumo = 7,14 kW x 6.000 h = 42.857 kWh	Consumo = P abs x h/anno Consumo = 5,33 kW x 6.000 h = 32.000 kWh
Costo = 42.857 kWh x 0,1 €/kWh = 4.286 €	Costo = 32.000 kWh x 0,1 €/kWh = 3.200 €

N.B. i costi dell'energia elettrica considerato non è quello attuale.

Ritorno dell'investimento (ROI) ROI = Costo/ risparmio

ROI = 1.500 / (4.286 - 3.200)

ROI = 1,38 anni

FATTORI DECISIONALI PER LA SOSTITUZIONE DEL MOTORE

Quando un motore si guasta, spesso è possibile scegliere tra la riparazione o la sostituzione con una nuova attrezzatura, soprattutto se si tratta di un motore vecchio e inefficiente.

I fattori decisionali da considerare quando si sostituisce un motore danneggiato con una nuova attrezzatura sono:

- › Il costo della riparazione rispetto al prezzo di un nuovo motore. Come regola generale, la sostituzione è consigliata quando il costo di riparazione di un motore è superiore al 50% del costo di una nuova attrezzatura.
- › In genere si raccomanda di non riparare motori con potenza inferiore a 40 hp (CV) che abbiano più di 15 anni.
- › Si dovrebbe tenere conto della perdita di prestazioni causata dal riavvolgimento.

Un'opzione da considerare è l'acquisizione di motori ad alta efficienza. Questo tipo di motore ha un design e una costruzione speciali che favorisce perdite inferiori rispetto ai motori standard, il che è particolarmente interessante se si considera la suddivisione dei costi di un motore durante la vita.

- › Costo di acquisto: 1%
- › Costo energetico: 95%
- › Costo di manutenzione: 3%
- › Costo dell'ingegneria, e logistica: 1%

La decisione di affrontare un maggiore esborso economico per acquisire un motore di migliore efficienza energetica dovrebbe tenere in considerazione anche la sostenibilità e i fattori ambientali, nonché il probabile aumento futuro dei costi di approvvigionamento energetico.

È importante considerare che in alcuni casi i motori saranno collocati in ambienti umidi e salmastri, il che può supporre una riduzione della loro durata. L'analisi economica deve tener conto del tempo medio di sostituzione dei motori e fare in modo che sia maggiore del periodo di ammortamento del miglioramento.

Apparecchiature precedenti degli standard IEC 60034-2-1: 2007 e 60034-30: 2008 che armonizzano il criterio di misurazione dell'efficienza del motore e portano a nuove valutazioni delle prestazioni, sono ancora installate ed operative. Per evitare la confusione che, ancora oggi, continua a verificarsi con le nomenclature delle classi di efficienza dei motori, si allega la seguente tabella che mostra l'equivalenza tra la vecchia e la moderna classificazione (per motori a bassa tensione > 1000 V):

Classi di efficienza precedenti	EFF3	EFF2	EFF1		
Nuove classi di efficienza		IE1	IE2	IE3	IE4

Meno efficiente —————> Più efficiente



Efficienza del motore migliorata

Va notato che dal 2021 è entrato in vigore il Regolamento (UE) 2019/1781 che stabilisce i requisiti per la progettazione ecocompatibile dei motori elettrici. A partire dal 1 luglio 2021, i motori di potenza tra 0,75 kW e 1.000 kW devono avere un livello minimo di efficienza di classe IE3.



EFFICIENZA ENERGETICA

Esistono diverse strategie per l'efficienza energetica e per la loro applicazione nei motori elettrici. Di seguito, vengono descritte le più comuni, così come i loro vantaggi e svantaggi.

UTILIZZO DI MOTORI AD ALTA EFFICIENZA

Come accennato nella sezione precedente, i motori ad alta efficienza sono un'opzione interessante quando si tratta di sostituire le apparecchiature esistenti a causa di guasti, poiché il loro design e costruzione speciali determinano perdite inferiori rispetto ai motori standard.

Tra i loro **principali vantaggi** vi sono una **maggiore robustezza**, il che significa minori costi di manutenzione e riduzione dei costi operativi.

Tuttavia, incontrano **limitazioni** quando le operazioni sono richieste a velocità più elevate con conseguente aumento del carico. Per il loro funzionamento richiedono anche correnti di avviamento più elevate.

I motori ad alta efficienza sono particolarmente interessanti per i seguenti casi:

- › Motori tra 10-75 CV quando > 2.500 h / anno di utilizzo
- › Motori <10 CV e > 75 CV quando > 4.500 h / anno di utilizzo
- › In caso di sostituzione di motori sovradimensionati
- › Se applicati in combinazione con inverter

USO DI CONVERTITORI DI FREQUENZA.

Il controllo della velocità di un motore ci permette di adattare il suo funzionamento alle esigenze produttive in ogni momento evitando così di lavorare ad una velocità superiore a quella necessaria ed evitare anche l'aumento del consumo energetico associato.

I motori a corrente alternata sono robusti ma rigidi in termini di velocità. L'opzione migliore per poter controllare la loro velocità è agire sulla frequenza di alimentazione. Cambiando la frequenza di avanzamento del motore si controlla la velocità adattando il suo regime di lavoro alle esigenze di ogni momento ed evitando inutili ed eccessivi consumi di energia.

Altri vantaggi dell'utilizzo delle trasmissioni sono la riduzione del consumo di energia reattiva, delle vibrazioni e della cavitazione nelle pompe idrauliche, nonché un avvio più regolare dei motori. Tutti questi fattori consentono di ridurre i costi di manutenzione e aumentare la durata delle apparecchiature. Sebbene l'installazione dei convertitori di potenza richieda personale qualificato, il minor costo e il risparmio energetico che forniscono consentono di ottenere il recupero dell'investimento in pochi mesi. I convertitori di frequenza trovano applicazione in diversi elementi come pompe, ventilatori, compressori, ecc.

OTTIMIZZAZIONE DELLA TRASMISSIONE.

Gli elementi di trasmissione sono responsabili della trasmissione della coppia. A seconda del tipo di accoppiamento si raccomanda :

- › **Accoppiamento diretto:** deve essere garantito un accoppiamento corretto.
- › **Cinghie:** nel caso utilizzare fasce a V e preferibilmente dentate.
- › **Riduttori:** dovrebbero essere adatti a seconda della potenza e del rapporto di velocità.
- › **Catene:** consigliate per carichi elevati.



4. POMPAGGIO E DISTRIBUZIONE IDRAULICA

Questa sezione fornisce gli strumenti relativi al pompaggio e agli impianti idraulici, fondamentali negli allevamenti di acquacoltura, affinché i gestori degli stessi possano stimare il loro attuale livello di efficienza e attuare misure di risparmio energetico. I contenuti di questa sezione si basano sulla metodologia sviluppata dall'Istituto di tecnologia dell'acqua (ITA) del Politecnico di Valencia, con il supporto del professor Javier Soriano.

TEORIA: PRESSIONE E CURVE DI FUNZIONAMENTO

Una pompa è una macchina idraulica che converte l'energia meccanica (movimento) in energia di pressione di un fluido, per aumentarne la pressione.

La pressione è la quantità di energia elastica immagazzinata in un fluido e può essere calcolata come:

$$P = \frac{\text{Forza}}{\text{Superficie}}$$

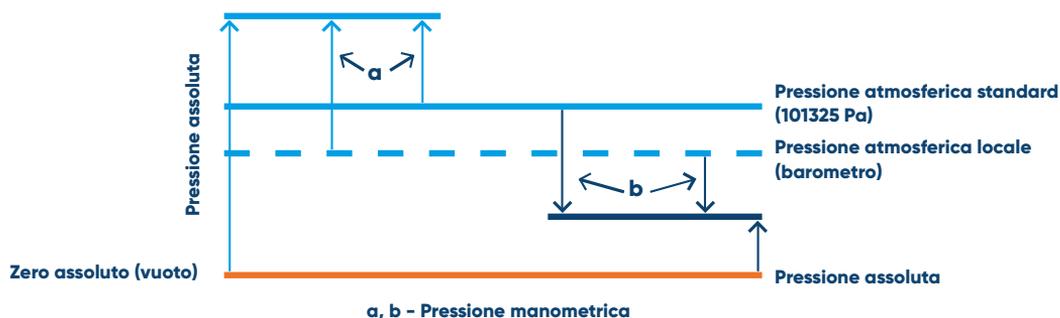
Nel sistema internazionale viene misurata in Pascal (Pa), ma per la manipolazione vengono generalmente utilizzate anche altre unità di misura. Le più comuni sono:

- › Bar. 1 bar = 100000 Pa
- › kp/cm². 1 kp/cm² = 0.981 bar = 98100 Pa
- › Metri di colonna d'acqua (mWC - Pressione equivalente che eserciterebbe una certa altezza dell'acqua a causa del suo peso). 1 mWC = 9,806.38 Pa
- › Atmosfera (atm - Pressione atmosferica media a livello del mare). 1 atm = 101,325 Pa = 10.33 mWC

COME INTERPRETARE LE PRESSIONI DI UN SISTEMA?

La pressione viene misurata con dispositivi chiamati manometri. La pressione misurata è chiamata pressione manometrica. La pressione manometrica è la differenza di pressione tra la pressione assoluta del tubo e la pressione atmosferica effettiva (101.325 Pa).

Questa pressione manometrica può essere positiva (pressione assoluta maggiore della pressione atmosferica) o negativa (pressione assoluta minore della pressione atmosferica). Per questo motivo, quando parliamo che la pressione in un punto dell'impianto è X Bar, parliamo della sua pressione manometrica, e di conseguenza, secondo questo riferimento la pressione manometrica dell'atmosfera è 0.



Per poter progettare correttamente questi sistemi è necessario spiegare alcuni concetti teorici.

BILANCIO ENERGETICO DI UNA CONDOTTA

Nella conduzione idraulica l'energia si trasforma in tre modi:

- › **Energia cinetica:** l'energia dovuta alla velocità del fluido circolante nel tubo.
- › **Energia potenziale:** l'energia dovuta al potenziale gravitazionale, che dipende dall'altezza rispetto al suolo.
- › **Energia di pressione:** l'energia elastica accumulata nel fluido aumentandone la pressione.

In base al principio del risparmio energetico, in un caso ideale, se non ci sono input esterni o perdite di carico, la somma di queste tre energie deve essere uguale in qualsiasi punto della tubazione. Questa è la base teorica della famosa equazione di Bernoulli o bilancio energetico del tubo:

$$\text{Energia totale} = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$

E quindi, in due punti qualsiasi (1 e 2) del tubo, è uguale:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Dove :

Z è l'altezza rispetto al pavimento in m

P è la pressione in Pa

V è la velocità in m / s

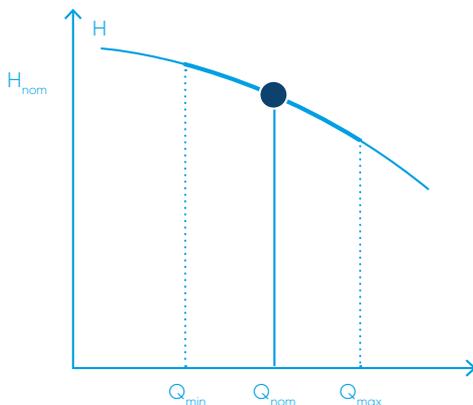
g è l'accelerazione di gravità = 9,81 m / s²

γ è il prodotto della densità per g = 1000 kg / m³. 9,81 kg / (m.s²)

E i 6 termini dell'equazione sono espressi in metri nella colonna d'acqua (mWC).

CURVE CARATTERISTICHE DI POMPAGGIO:

Il funzionamento della pompa è rappresentato da un grafico dove le portate di lavoro si trovano sull'asse X e le pressioni sull'asse Y. È molto comune che le pressioni siano rappresentate in mWC (metri di colonna d'acqua). In questo modo, una curva tipica di una pompa si presenta così:



Come si può osservare, è una parabola rovesciata, dove maggiore è il flusso, minore è l'altezza (pressione) che è in grado di fornire.

La curva caratteristica di funzionamento è generalmente rappresentata con l'espressione:

$$H_p = A + BQ + CQ^2$$

L'altezza o pressione che fornisce la pompa è rappresentata da H_p , ed è la differenza di pressione tra la sua uscita e quella di ingresso, dipende dal tipo di connessione (CONNESSIONE INDIRETTA o DIRETTA).

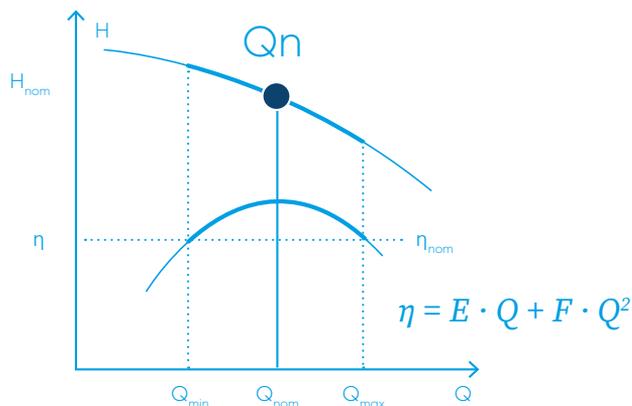
Aspirazione indiretta



Aspirazione diretta

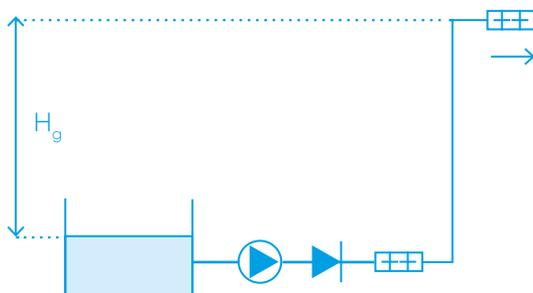


D'altra parte, la CURVA DI PRESTAZIONE mostra la relazione tra il flusso e le prestazioni per ogni punto di operazione. Di tutta la curva, l'area utile è definita come quella in cui vogliamo che funzioni (con valori accettabili). L'immagine seguente mostra le curve delle prestazioni e del flusso insieme.



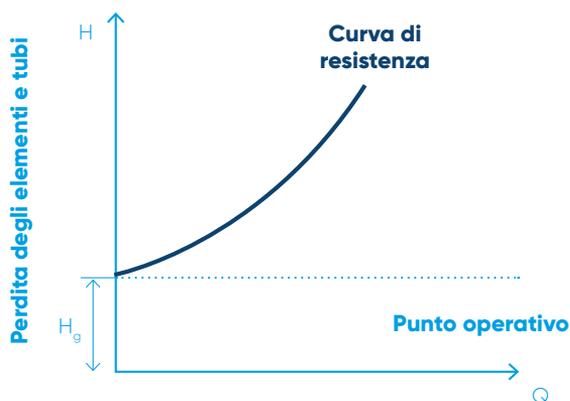
Anche la curva di prestazione ha una forma parabolica inversa ed è rappresentata generalmente con l'espressione.

$$\eta = E \cdot Q + F \cdot Q^2$$



La curva di resistenza rappresenta le condizioni di funzionamento imposte dall'impianto. Tiene conto sia della pendenza di pompaggio (H_g) che delle perdite di carico (nei tubi e negli elementi).

Le curve di resistenza presentano generalmente il seguente aspetto:



In termini generali, le curve di resistenza sono rappresentate con l'espressione:

$$h_r = H_g + K \cdot Q^2$$

Dove:

K: coefficiente di perdita in tubi + elementi (valvole, gomiti)

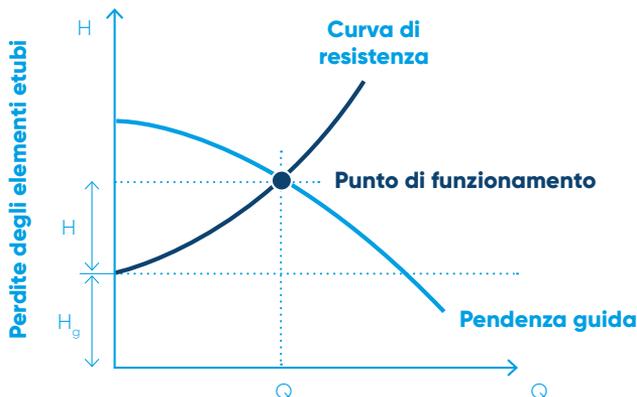
hr: pressione di versamento totale

Hg: differenza di altezza tra la pompa e il punto di utilizzo

Q²: flusso

Di conseguenza, la pressione che una pompa deve applicare per spostare l'acqua tra 2 punti è la somma della pressione richiesta per superare qualsiasi variazione di altezza dovuta alle pendenze nelle tubazioni e alle perdite idrauliche (cioè resistenze) nel circuito.

Il punto di funzionamento rappresenta condizioni specifiche di funzionamento della pompa e fornisce per una determinata portata la pressione corrispondente, corrisponde all'intersezione tra la pendenza della pompa e la curva resistente dell'impianto.



La pendenza della curva verde sarà maggiore all'aumentare delle perdite nell'installazione. D'altra parte, la pendenza sarà più bassa (più piatta) quando le perdite diminuiranno.

ENERGIA (POTENZA) CONSUMATA DA UNA POMPA:

Come spiegato in precedenza, la pompa è un dispositivo che converte l'energia meccanica (movimento) in energia di pressione. Generalmente, quell'energia meccanica deriva da un motore elettrico che converte l'energia elettrica in movimento.

Tenendo conto di ciò, l'energia consumata da una pompa può essere espressa:

$$P \text{ (kW)} = \frac{9,81 \cdot Q(\text{m}^3/\text{s}) \cdot H \text{ (mca)}}{\eta_{engine} \cdot \eta_{pump}}$$

Dove:

Q : Flusso guidato dalla pompa in m^3 / s

H : Pressione fornita dalla pompa in mWc

η_{engine} : Efficienza del motore elettrico (vedi Analisi operativa)

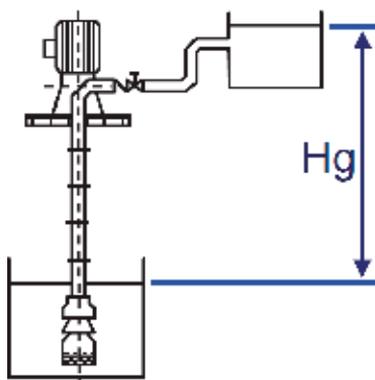
η_{pump} : Efficienza della pompa (dati dal produttore)

SELEZIONE DEL SISTEMA DI POMPAGGIO OTTIMALE

Per scegliere la pompa (o le pompe) appropriata per una particolare applicazione, il primo passo è conoscere le esigenze di pompaggio, ovvero determinare la portata e la pressione che l'installazione richiede.

Per determinare la pressione, è necessario stimare la perdita idraulica degli elementi di installazione. Se questo calcolo è preciso, sarà possibile effettuare la corretta selezione della pompa. Se invece attingiamo a stime dovremo sovradimensionare il sistema per non avere problemi con la fornitura.

Ottenere le perdite in modo analitico può essere un compito difficile. L'approccio consigliato è stimare sulla base di un valore medio delle perdite unitarie per km di tubo. Il valore usuale è **10 wcm di perdite per 1 km di tubo**.



La potenza necessaria di una pompa :

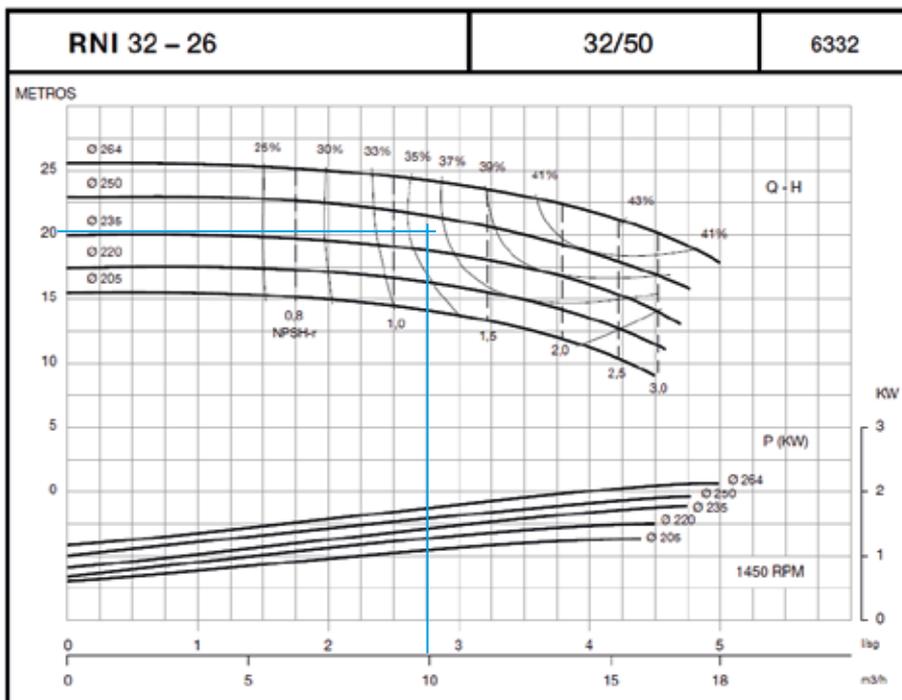
- › Se le perdite sono conosciute

$$H_p = H_g + P_{req} + H_{losses}$$

- › Se le perdite non sono conosciute

$$H_p = [H_g + P_{req}] + 10x \text{ pipes length}$$

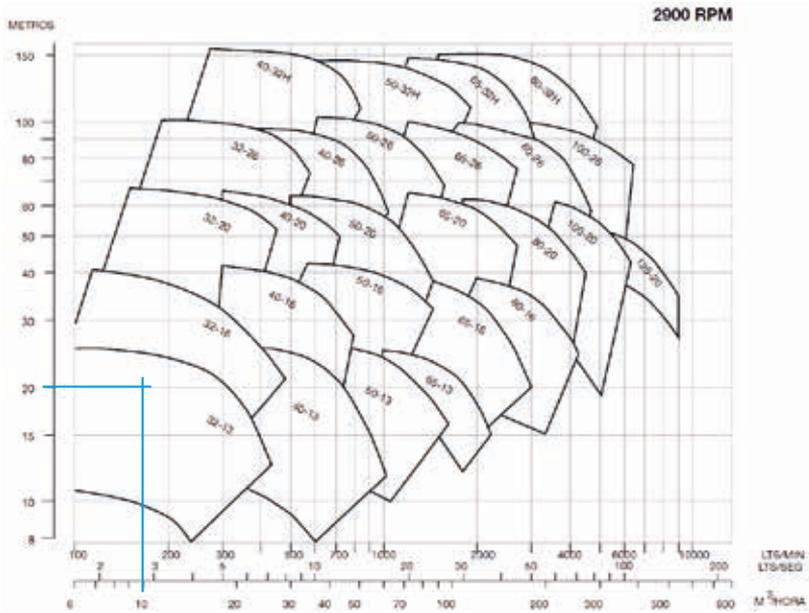
Successivamente è necessario consultare la famiglia di pompe che si trovano all'interno di questo campo di lavoro. In questo caso è il seguente:



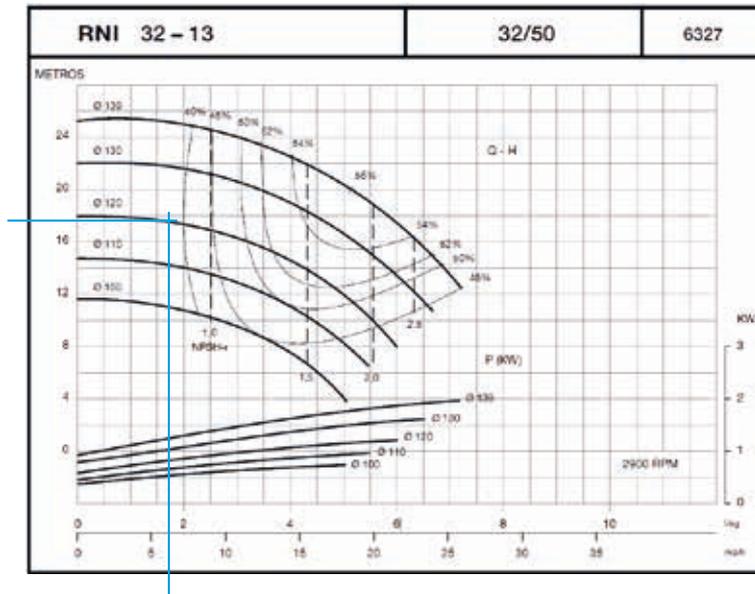
Con questa scelta del campo di lavoro, dovremmo scegliere la pompa di diametro 250, poiché con la 235 non avremmo pressione sufficiente. Con il 250, come si può vedere nella riga blu, per una portata di 10 m³ / h avremo una pressione leggermente superiore, 22 wcm, e un'efficienza di solo il 36%, che è molto bassa. Le pompe possono funzionare in punti ottimali compresi tra il 40 e il 60% di efficienza.

Quindi possiamo scegliere questa pompa o possiamo consultare altre pompe o altri produttori.

Testando con questi criteri in altri campi di lavoro dello stesso produttore che otteniamo:



Ottenendo il raggio di lavoro 32-13.



Per quest'ultima selezione bisogna andare al diametro 130, con il quale abbiamo un punto di lavoro di 10 m³/h 21 mca, con una performance del 47,5% (10 punti sopra il precedente).

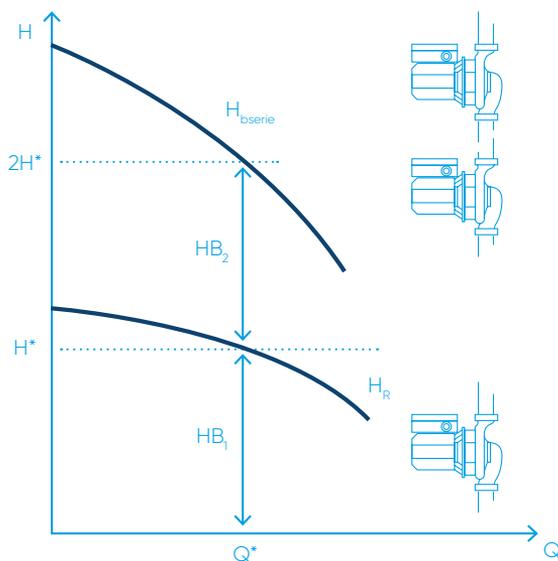
ASSOCIAZIONE DI POMPE IN SERIE-PARALLELE

È possibile collegare più pompe per ottenere curve di funzionamento diverse e quindi curve risultanti che forniscono una pressione maggiore o una portata maggiore. Questa associazione può essere in serie o in parallelo.

In caso di associazione seriale, l'uscita della prima pompa è collegata all'ingresso della seconda pompa. Questa combinazione consente pressioni più elevate a parità di portata. La combinazione seriale è conforme a:

- › Pressione totale (prevalenza totale) = $H_1 + H_2$

Per ottenere la curva di funzionamento dell'associazione tra pompe è necessario sommare le altezze per ciascuna portata:



Le espressioni analitiche per il caso di ottenere n serie di pompe identiche sono:

$$H_p = n (A + BQ + CQ^2)$$

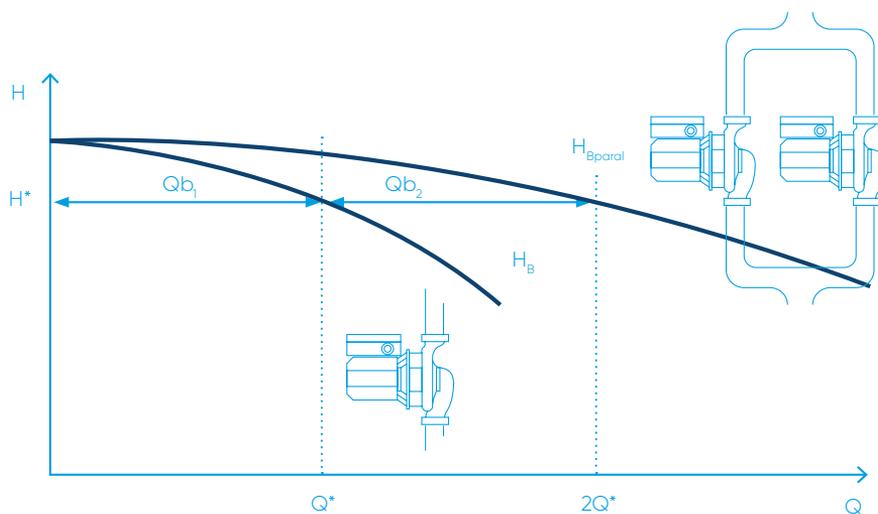
$$\eta = E \cdot Q + F \cdot Q^2$$

In un'associazione in parallelo, l'aspirazione della pompa è collegata nello stesso collettore, proprio come le connessioni di azionamento. Questa soluzione consente di ottenere portate più elevate mantenendo costante l'altezza di ciascuna pompa. L'associazione parallela è conforme a:

- › Pressione totale (Altezza totale) = $H_1 = H_2$
- › Portata totale = $Q_1 + Q_2$

Questa è un'associazione molto comune nelle strutture. Le pompe sono poste in parallelo sullo stesso banco, condividendo aspirazione e azionamento. Questa configurazione consente l'avvio e l'arresto della pompa a seconda delle esigenze dell'installazione.

Per ottenere la curva di funzionamento dell'associazione tra pompe è necessario sommare le portate della pompa per ogni altezza:



Le espressioni analitiche per il caso di ottenere n pompe identiche in parallelo sono:

$$H_p = A + B \left(\frac{Q}{n} \right) + C \left(\frac{Q}{n} \right)^2$$

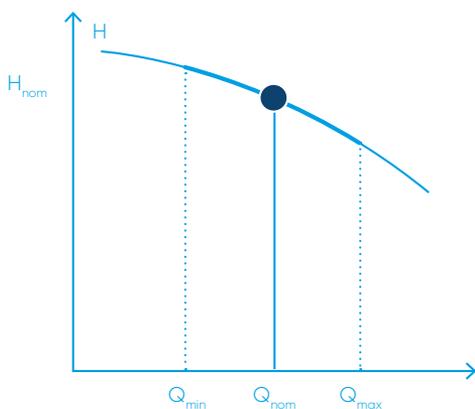
$$\eta = E \left(\frac{Q}{n} \right) + F \left(\frac{Q}{n} \right)^2$$

LEGGI DI SOMIGLIANZA

Le leggi di similarità sono strumenti matematici utilizzati per caratterizzare le curve caratteristiche delle pompe in situazioni come la modifica della loro velocità con un inverter di frequenza o la modifica del diametro della girante della pompa. In questo modo è possibile prevedere il comportamento di queste "pompe alterate" conoscendone il funzionamento a velocità normale.

Variazione della velocità di rotazione

A seconda della loro velocità di rotazione, le pompe possono essere a velocità fissa o a velocità variabile. Le pompe a velocità fissa ruotano al 100% della loro velocità nominale o vengono arrestate. Pertanto, i punti di funzionamento dell'impianto si trovano sempre sulla curva nominale della pompa.



Le pompe a velocità variabile sono dotate di inverter di frequenza (vedi sezione [Efficienza energetica](#)), che permette di modificare la velocità di rotazione della pompa, modificando le caratteristiche dell'onda elettrica che raggiunge il motore della pompa.

Per il funzionamento viene impostata una pressione di punto di funzionamento sull'attrezzatura e, con il flusso tramite un sensore di pressione, viene corretta la velocità di rotazione della pompa (se la pressione di riferimento è inferiore, la pompa aumenta la sua velocità). La pompa varierà la sua velocità di rotazione adattando la pressione alla sua uscita e alla portata azionata.

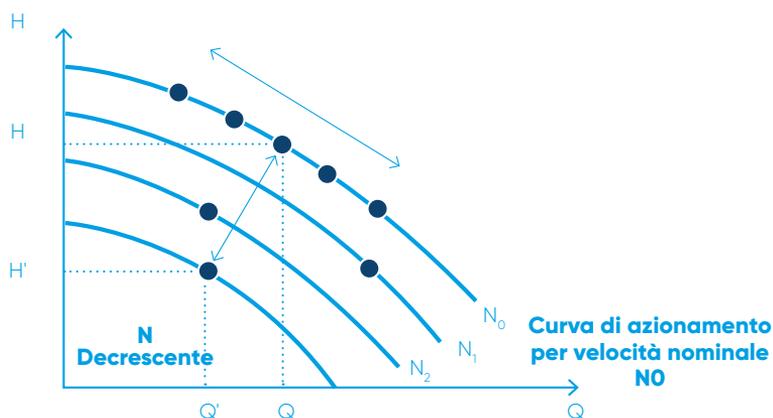
La velocità di rotazione nominale di una pompa è data dalle caratteristiche del motore associato e viene calcolata utilizzando l'espressione:

$$N_s \text{ (rpm)} = \frac{60 \cdot f}{p}$$

Dove f è la frequenza della rete elettrica (solitamente 50 Hz) e p è il numero di coppie di poli del motore. Le velocità abituali sono 2.900 giri / min e 1.450 giri / min.

Questa velocità di rotazione nominale è chiamata N_0 .

L'inverter consente di passare da una singola curva caratteristica ad avere una curva per ogni velocità di rotazione, sebbene sia consentita la velocità di rotazione:



Il risultato finale è che, ad esempio, a una richiesta di portata inferiore non è più necessario fornire un valore di pressione così elevato, ma che la portata richiesta può essere raggiunta con un ingresso di pressione inferiore, e quindi energia.

Il parametro comunemente utilizzato per designare la modifica della velocità di rotazione è α , $\alpha = N' / N_0$, N' è la velocità perseguita e N_0 è la velocità nominale della pompa.

Le leggi di similarità corrispondenti per le pompe che utilizzano inverter di frequenza sono:

$$H_p = A\alpha^2 + B\alpha Q + CQ^2$$

$$\eta = \frac{E}{\alpha} Q + \frac{F}{\alpha^2} Q^2$$

Rifilatura della girante

La rifilatura della girante è una riduzione del diametro esterno della girante mediante lavorazione, mantenendo lo stesso corpo della pompa. Generalmente questa lavorazione viene eseguita direttamente dal costruttore per ragioni economiche di produzione; la riduzione si traduce in una diminuzione della capacità della pompa (in altezza e portata), riducendo così la curva di trasmissione.

In questo caso il parametro per disegnare il ritaglio è λ , dove $\lambda = r2' / r2$ è $r2$ il raggio originale e $r2'$ il raggio tagliato. La riduzione è generalmente limitata a $\lambda < 12\%$.

Le leggi di somiglianza corrispondenti per le pompe che utilizzano la regolazione della girante sono:

$$H_p = A\lambda^2 + BQ + \frac{F}{\lambda^2} Q^2$$

$$\eta = \frac{E}{\lambda^2} Q + \frac{F}{\lambda^2} Q^2$$

PERDITE NELLE RETI IDRAULICHE

In questa sezione offriamo una panoramica delle perdite d'acqua nelle reti idrauliche, al fine di comprenderne l'origine e le strategie di base per minimizzarne gli impatti. Il contenuto di questo paragrafo si basa sull'articolo UN APPROCCIO AL PROBLEMA DELLE PERDITE D'ACQUA NELLE RETI URBANE (Marcet).

Le perdite sono date dalla mancanza di una parte del flusso di un liquido dovute a anomalie (difetti, rotture o mal funzionamento) non intenzionali, tra il punto di fornitura e il punto di domanda. Le perdite dipendono dallo stato della rete, dalla pressione e dal tempo medio trascorso dal momento in cui inizia la perdita fino a quando non viene riparata. Per questo le strategie volte a migliorare lo stato delle reti puntano in tre direzioni.

Le perdite più grandi, dovute a grandi difetti, sono facilmente rilevabili mentre le perdite a basso flusso sono più complesse da individuare. È molto comune che le piccole perdite comportino un volume maggiore di acqua fuoriuscita rispetto a quelle grandi, perché difficili da rilevare e durano per periodi molto più lunghi rispetto alle perdite più grandi. Esistono numerosi studi sul livello approssimativo di dispersione basato sull'età e sulla manutenzione della rete, ma non c'è niente di affidabile come l'installazione di contatori distribuiti sulla rete e il monitoraggio dei consumi. Chiaramente, quando si registrano portate superiori alle attese in momenti in cui la portata attesa è ben nota, l'incremento è dovuto a perdite.

Un buon metodo per rilevarle si basa sulla valutazione di come si evolve il consumo quando tutti i punti di domanda d'acqua sono chiusi. Se non c'è domanda, ma si registra il consumo, questo è dovuto alle perdite. Allo stesso modo, se un tubo è pressurizzato e i punti di domanda sono chiusi (consumo 0), se la pressione del tubo diminuisce, è dovuto anche in questo caso alle perdite.

STRATEGIE DA SEGUIRE PER RIDURRE LE PERDITE

Come accennato in precedenza, le strategie principali per ridurre al minimo le perdite sono il controllo della pressione, la riduzione del tempo di perdita e la prevenzione di ulteriori perdite.

Controllo della pressione

Il controllo della pressione è particolarmente importante quando sono disponibili tubi elastici, dove una pressione maggiore significa che la superficie delle perdite è aumentata, in misura maggiore o minore, a seconda dell'elasticità del tubo.

Dovrebbero essere evitate pressioni eccessive attraverso una corretta progettazione della rete e della stazione di pompaggio, ma è anche importante gestire correttamente le repentine variazioni di pressione, che nel tempo contribuiscono ad aumentare le perdite soprattutto nei giunti.

Controllo attivo delle perdite e rifornimento rapido

Il controllo attivo delle perdite cerca di stabilire strategie per rilevare le perdite e riparare i difetti nel più breve tempo possibile. Come spiegato sopra, si tratta di piccole perdite a bassa portata, difficili da rilevare, che comportano un volume maggiore di perdite d'acqua. Molte volte, queste piccole perdite non sono correlate, facendo aumentare notevolmente i tempi di riparazione.

Il controllo delle perdite può essere eseguito visivamente, con sensori acustici o installando flussometri distribuiti attraverso la rete; quest'ultima opzione offre il miglior risultato per il rilevamento. Dopo il rilevamento dovrebbe esserci una chiara procedura, determinando chi avvertire, come procedere e chi è responsabile della riparazione del difetto.

Gestione delle infrastrutture

Una delle azioni essenziali per migliorare il livello delle perdite di rete è la sostituzione o il ripristino delle tubazioni. È molto comune avere una rete con vecchi tubi e il cui design non è più corretto per l'applicazione corrente.

L'aspetto economico ha una sostanziale importanza in questa gestione dell'infrastruttura, in quanto esiste un compromesso tra le perdite della rete e il suo rinnovamento comunemente noto come "perdite di livello economico". Avvicinarsi al suo calcolo supera lo scopo di questa linea guida, ma è essenziale per comprendere il concetto.



5. IMPIANTI DI RISCALDAMENTO E REFRIGERAZIONE

TEORIA

Il **Condizionamento** consiste nel creare per uno spazio chiuso le condizioni di temperatura, umidità relativa, qualità dell'aria e, talvolta, anche pressione, necessarie al benessere delle persone e / o alla qualità del processo produttivo.

Il **carico termico**, ovvero la quantità di energia per unità di tempo, di un ambiente è dovuto al mutare delle condizioni termiche esterne con le stagioni annuali insieme a:

- › La situazione dello spazio e dei suoi limiti (orientamento, facciate e/o vetrate, grado di isolamento termico...)
- › Programma di attività
- › Attività in loco
- › Strutture esistenti in loco

La determinazione della corretta climatizzazione di un locale deve tener conto del suo carico termico. Ad esempio, un locale con un numero elevato di persone o che dispone di numerose apparecchiature elettroniche che emettono calore, avrà un carico termico maggiore.

Coefficiente di performance (COP) è il rapporto tra l'energia utile (calore fornito dalla Pompa di Calore) e l'energia elettrica consumata (l'energia utilizzata per il funzionamento del compressore). Il COP globale della pompa di calore tiene conto delle energie ausiliarie e integra le perdite di consumo energetico

$$\text{COP} = \text{Potenza termica generata} / \text{Potenza elettrica assorbita}$$

Rapporto di efficienza energetica (EER): Rappresenta la prestazione energetica della pompa di calore quando è in modalità raffreddamento. Misura la relazione tra il consumo elettrico (potenza) necessario per produrre freddo e l'energia fredda generata.

$$\text{EER} = \text{Potenza fredda generata} / \text{Potenza elettrica assorbita}$$
$$\text{Potenza elettrica assorbita} = P_m + P_{cont}$$

Dove:

P_m = potenza assorbita dal compressore o dal motore del compressore.

P_{cont} = potenza assorbita dai dispositivi di controllo e sicurezza.

Le **condizioni termiche** dell'ambiente dipendono da una serie di fattori:

- Fattori che dipendono dall'ambiente

- › Temperatura
- › Velocità media dell'aria
- › Temperatura media radiante

- Fattori che dipendono dal corpo umano

- › Metabolismo
- › Temperatura della pelle
- › Umidità della pelle
- › Sudore

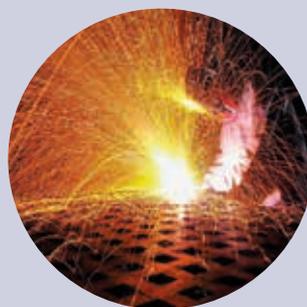
- Fattori che dipendono dall'abbigliamento

- › Resistenza al passaggio di calore
- › Resistenza al passaggio del vapore acqueo
- › Aumento della superficie
- › Emissività superficiale
- › Temperatura superficiale



Variazione del carico termico a seconda dell'attività.

Abbiamo visto l'importanza che hanno sul carico termico di un locale sia il suo orario di occupazione che l'attività svolta. Ciò è spiegato dal funzionamento delle apparecchiature che producono calore (computer, luci...) e dal calore che le persone rilasciano a seconda dell'attività che svolgono. Questa energia metabolica viene misurata in met.



Alcuni valori tipici sono:

Attività: sdraiato a riposo	0,8 met
Attività: seduto a riposo	1 met
Attività leggera da seduti	1,2 met
Attività in piedi leggera (shopping, industria leggera)	1,6 met
Attività in piedi media (lavori domestici, macchinari)	2 met
Attività: camminare in piano a 5 km / h	3,4 met

1 met equivale a 58,15 W/m²

SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

I sistemi di condizionamento dell'aria vengono applicati per ottenere determinate temperature e umidità nei locali e nei processi. Per fare ciò, è necessario, da un lato, disporre delle apparecchiature che generano freddo e calore e, dall'altra, disporre delle apparecchiature che erogino calore o raffreddamento dove servono.

Questi due tipi di apparecchiature si possono differenziare in unità esterne e interne. Le unità esterne utilizzano generalmente un compressore per eseguire il ciclo di refrigerazione / riscaldamento, e sono quelle che producono freddo e/o calore. Il liquido di raffreddamento esegue un circuito chiuso durante tutto il ciclo di funzionamento dell'apparecchiatura in cui viene compresso, condensato, espanso ed evaporato. Il raffreddamento avviene grazie al principio fisico per cui un fluido assorbe calore dall'ambiente durante un processo di evaporazione. L'uso di refrigeranti è dovuto alla grande capacità di questi composti di produrre o assorbire calore durante il loro cambiamento di stato.

Esistono diversi tipi di unità esterne, che utilizzano diversi fluidi termici. A seconda dei casi, il fluido termico viene raggiunto dalle unità esterne verso l'interno, in modi diversi. Questi fluidi possono essere aria, acqua o direttamente refrigerante.

Nel caso dell'aria, l'unità interna non è altro che un diffusore di questa aria alla giusta temperatura. Nel caso di acqua e refrigerante, dovrebbe essere disponibile uno scambiatore di calore che sposta il caldo/freddo all'aria della stanza corrispondente.

La scelta di questi sistemi deve anche considerare la qualità dell'aria e criteri igienico-sanitari, sebbene questo aspetto non sia trattato in questa guida.

Alcuni dei sistemi di condizionamento più interessanti sono descritti nelle seguenti righe:

Refrigeratori / Pompe di calore

I sistemi di raffreddamento ad acqua o con refrigeratori d'acqua (in modalità pompa di calore possono anche riscaldare l'acqua) vengono spesso utilizzati per il condizionamento dell'aria di grandi superfici fornendo contemporaneamente acqua calda sanitaria. Si dice che quando la macchina può invertire il ciclo sia una pompa di calore, mentre se produce solo freddo è un refrigeratore.

Queste unità producono acqua calda / fredda che viene distribuita alle unità interne.

Le unità interne più comunemente utilizzate con tali apparecchiature sono chiamate ventilconvettori.

Un impianto a ventilconvettore è un sistema di condizionamento acqua-aria il cui funzionamento è basato sulla temperatura dell'acqua circolante attraverso condotti interni e attraverso i quali circola una corrente d'aria azionata da un ventilatore. L'acqua che arriva al ventilconvettore può essere fredda se proviene da un refrigeratore oppure calda. Entrando nell'apparecchiatura l'aria si raffredda o si riscalda a contatto con le condutture dell'acqua. L'aria poi passa attraverso un filtro e viene quindi espulsa nel locale che si vuole climatizzare.

Possiamo trovare due tipologie di impianti con fan ventilconvettore:

Due tubi: sono costituiti da una conduzione unidirezionale e una conduzione di ritorno. In questo tipo di impianto, la stanza verrà riscaldata o rinfrescata a seconda della temperatura che raggiunge l'apparecchiatura e che verrà da un refrigeratore o caldaia a seconda del periodo dell'anno.

Quattro tubi: L'apparecchiatura ha due circuiti di andata e ritorno indipendenti in modo da poter produrre contemporaneamente freddo e calore per aree diverse, consentendo un maggiore controllo e comfort.

Sistemi ad espansione diretta

Queste apparecchiature hanno uno scambio diretto tra l'aria da condizionare e il refrigerante, senza utilizzare l'acqua come fluido riscaldante. Dall'unità esterna il liquido di raffreddamento esce alla temperatura desiderata e viene trasferito alle unità interne (evaporatori o condensatori). L'apparecchiatura può produrre solo freddo oppure freddo e caldo. Un caso molto interessante in questa famiglia di apparecchiature sono i sistemi **VRV, apparecchiature a volume del refrigerante variabile**.

I sistemi VRV (volume del refrigerante variabile) agiscono sul flusso del refrigerante inviato alle unità interne, consentendo un controllo della temperatura più preciso e un notevole risparmio energetico.

Raffreddamento per evaporazione

Sistema anch'esso basato sul raffreddamento prodotto durante un processo di evaporazione, utilizzando l'acqua come refrigerante. Sia i condensatori evaporativi che le torri di raffreddamento basano il loro funzionamento su questo principio, in cui una piccola quantità di acqua evapora, "rubando" calore all'aria e quindi raffreddandola. Un flusso d'aria massimizza il tempo e la superficie di contatto con l'acqua circolante per favorire lo scambio termico.

APPLICAZIONI DEI SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO NEL SETTORE DELL'ACQUACOLTURA

Il **controllo della temperatura dell'acqua** è la principale applicazione dei sistemi di condizionamento nel settore dell'acquacoltura, considerato che è una delle principali variabili per mantenere il range ottimale di qualità dell'acqua.

Mantenere le variabili fisiche, chimiche e biologiche dell'acqua entro i margini appropriati per ciascuna specie contribuisce a maggiori prestazioni produttive e a migliori tassi di crescita riducendo i livelli di stress e quindi il consumo energetico metabolico dei pesci derivato dai processi di adattamento.

Oltre all'impatto diretto della temperatura dell'acqua sui pesci, dovrebbe essere considerato anche il rapporto tra le variazioni di temperatura e altri parametri come la presenza di ammoniaca o la disponibilità di ossigeno nell'acqua.

Il condizionamento dell'aria dei locali in cui si trovano le vasche è rilevante anche per l'influenza diretta della temperatura ambiente sull'acqua in cui si trovano gli animali in diverse condizioni quali:

- › **Mantenimento delle condizioni di temperatura dell'acqua nei serbatoi.**

Lo scambio di calore tra l'acqua delle vasche e l'aria del locale che le ospita è un processo strettamente correlato alla superficie totale di scambio e alla differenza di temperatura tra l'acqua e l'ambiente dei locali.

- › **Evaporazione dell'acqua dai serbatoi.**

L'evaporazione è un processo che avviene a qualsiasi temperatura, sebbene aumenti in relazione ad essa. Ha un'influenza sul consumo di acqua e sul mantenimento delle variabili di qualità dell'acqua.

- › **Stratificazione della temperatura all'interno dei serbatoi d'acqua.**

Quando si verificano variazioni di temperatura sulla superficie della stessa, dovute ai processi di scambio termico con l'ambiente.

CALCOLO DELLE PERDITE DI ENERGIA NEI SERBATOI D'ACQUA RISCALDATA

Come accennato, esiste una perdita di energia che è utilizzata per ottenere le giuste condizioni di temperatura dell'acqua. Questa perdita aumenta a seconda della maggiore area di scambio e della temperatura dell'acqua dei serbatoi.

Le perdite energetiche nei serbatoi di acqua riscaldata installati all'interno dei locali sono principalmente dovute a:

- › Perdite per evaporazione, che rappresentano tra il 70% e l'80% delle perdite totali.
- › Perdite per radiazione, che rappresentano tra il 15% e il 20% di perdite.
- › Le perdite idrauliche sono considerate trascurabili.

Il calcolo di queste perdite energetiche può essere effettuato come segue (IDAE, 2009):

$$P = (130 - 3 \times tws + 0,2 \times tws^2) \times \left(\frac{Sw}{1000} \right)$$

Essendo:

P = Perdite di potenza (kW)

Tws = Temperatura dell'acqua (0°C)

Sw = Superficie del serbatoio (m²)

Così, ad esempio, un serbatoio con una superficie dell'acqua di 12 m² a una temperatura di 24° C ha perdite di energia approssimative di:

$$P = (130 - 3 \times 24 + 0,2 \times 24^2) \times \left(\frac{12}{1000} \right)$$
$$P = 2,08 \text{ kW}$$

Il consumo energetico annuo, tenendo conto che queste condizioni vengono mantenute 24 ore su 24 durante tutti i giorni dell'anno sarà quindi:

$$P = 2,08 \times 24 \times 365$$

$$P = 18.206,78 \text{ kWh}$$

Per le cisterne o le chiatte che vengono installate all'aperto, va notato che le perdite di energia sono dovute a un numero considerevole di fattori:

- › Radiazione dall'acqua all'atmosfera
- › Evaporazione dell'acqua
- › Convezione dovuta al vento
- › Scorrimento attraverso le pareti del serbatoio
- › Schizzi d'acqua

Un calcolo approssimativo delle perdite energetiche in tali installazioni può essere effettuato mediante la seguente espressione (IDAE, 2009):

$$P = \frac{(28 + 20 + V) \times (tws - tbs) \times Sw}{1000}$$

essendo:

P = perdite di potenza (kW)

tws = temperatura dell'acqua (0°C)

tbs = temperatura dell'aria (0°C)

V = velocità del flusso d'aria (m/s)

Sw = superficie del serbatoio (m²)

EFFICIENZA ENERGETICA NEI SISTEMI AD ARIA CONDIZIONATA

Alcune delle misure usuali utilizzate nei sistemi di condizionamento d'aria per migliorare l'efficienza energetica sono discusse di seguito:

INSTALLAZIONE DI SISTEMI D'ESTRAZIONE E RECUPERO DELL'ARIA CALDA

La ventilazione dei locali comporta l'estrazione dell'aria dagli stessi e il rinnovo dell'aria dall'esterno, il che significa una perdita di calore durante l'evacuazione dell'aria calda e un consumo energetico aggiuntivo per mantenere le condizioni di comfort nonostante la fornitura continua di aria fredda dall'esterno.

I sistemi di recupero del calore dall'aria di estrazione sono apparecchiature di scambio aria-aria che estraggono parte del calore contenuto nell'aria prima della sua emissione e lo utilizzano per preriscaldare l'aria che arriva dall'esterno. Il processo di scambio termico avviene in modo tale che non vi sia contatto tra i flussi d'aria in ingresso e in uscita.

REGOLAZIONE DELLA PORTATA (ARIA O ACQUA) TRAMITE INVERTER

Come visto nella sezione motori, gli inverter di frequenza ci permettono di effettuare un controllo della velocità di pompe e ventilatori, permettendo di adattare il loro regime di lavoro alle esigenze del momento ed evitando un inutile consumo di energia.

IMPOSTAZIONE DI DIVERSE TEMPERATURE DI SETPOINT PER LE AREE INUTILIZZATE (O NON CLIMATIZZATE)

La possibilità di stabilire diversi setpoint di temperatura in base alle esigenze e ai carichi termici di ogni ambiente rappresenta un notevole risparmio energetico.

Ogni grado di temperatura aggiuntivo nel condizionamento dell'aria può rappresentare fino all'8% in più di consumo di energia.

ACQUISIZIONE DI ATTREZZATURE CON UN BUON COP E EER

Le apparecchiature di condizionamento dell'aria spesso hanno un forte impatto sul consumo di energia, quindi buone prestazioni significano risparmi significativi. Va notato, tuttavia, che si tratta di sistemi che richiedono investimenti significativi e che i periodi di ammortamento sono spesso elevati, quindi il grado di efficienza deve essere visto solo come un altro fattore decisionale quando si considera la sostituzione di apparecchiature obsolete.

L'esempio seguente mostra il calcolo richiesto per una stima del risparmio ottenibile migliorando le prestazioni delle apparecchiature di condizionamento:

È presente 1 impianto di condizionamento da 5,5 kW di potenza fredda e 5,9 kW di potenza termica che funziona in media 8 ore al giorno, tutti i giorni della settimana. Questa attrezzatura viene utilizzata in estate per circa 20 settimane e in inverno per altre 20 settimane. Il suo COP è 3,15 e il suo EER è 2,86.

Calcolare il risparmio dalla sostituzione delle precedenti apparecchiature di condizionamento, con altre apparecchiature delle stesse caratteristiche e con lo stesso regime di utilizzo, ma con un valore COP di 5,8 e un valore di EER di 6,1.

Calcolo del consumo delle attuali apparecchiature di condizionamento.

Consumo di energia. Utilizzo in estate:

8 ore x 7 giorni alla settimana x 20 settimane all'anno = 1.120 ore all'anno per la produzione di aria fredda

$$Q_s = t \times \left(\frac{P_c}{EER} \right)$$

$$Q_s = t \times [P_c/EER]$$

$$Q_s = 1120 \times (5.5 / 2.86)$$

$$Q_s = 2.153,8 \text{ kWh}$$

Con:

Q_s = Consumo energetico estivo (produzione freddo) in kWh

t = Ore annuali di funzionamento delle apparecchiature nella produzione aria fredda

P_c = potenza fredda

EER = coefficiente di efficienza energetica in refrigerazione

Consumo di energia. Utilizzo in inverno:

8 ore x 7 giorni alla settimana x 20 settimane all'anno = 1.120 ore all'anno per la produzione di calore

$$Q_w = 1120 \times (5,9 / 3,15) = 2.097,7 \text{ kWh}$$

$$Q_w = t \times \left(\frac{Ph}{COP} \right)$$

$$Q_w = 1120 \times (5,9 / 3,15)$$

$$Q_w = 2.097,7 \text{ kWh}$$

Con:

Q_w = Consumo di energia in inverno (produzione di calore) in kWh

t = Ore annuali di funzionamento delle apparecchiature per la produzione di calore

Ph = potenza termica

COP = Coefficiente di Performance

Il consumo energetico totale annuo delle apparecchiature attualmente installate sarà quindi:

$$Q_{\text{annuale}} = Q_s + Q_w = 2.153,8 + 2.097,7 = 4.251,5 \text{ kWh}$$

Calcolo del consumo delle apparecchiature di condizionamento proposte.

Per l'esempio proposto tutti i parametri rimangono invariati (compresa la potenza delle apparecchiature) migliorando solo i coefficienti di efficienza energetica COP e EER.

Viene quindi eseguito lo stesso calcolo, variando solo i valori citati:

Consumo energetico stimato in estate	Consumo energetico stimato in inverno
$Q_s = 1120 \times (5,5 / 6,1)$	$Q_w = 1120 \times (5,9 / 5,8)$
$Q_s = 1.009,8 \text{ kWh}$	$Q_w = 1.139,3 \text{ kWh}$

Consumo energetico annuo totale stimato del nuovo impianto:

$$Q \text{ annuale} = 1.009,8 + 1.139,3 = 2.149 \text{ kWh}$$

I risparmi energetici annuali ottenuti dal miglioramento dei coefficienti energetici degli impianti di condizionamento sono quindi $4.251,5 - 2.149 \text{ kWh}$ che equivalgono a circa il 49% del consumo totale annuo.

Si precisa che il calcolo considera i consumi al massimo carico di lavoro degli impianti di condizionamento, per tutto il tempo di funzionamento. A seconda delle condizioni ambientali e dei carichi termici esistenti, si potrebbe considerare l'applicazione di qualche fattore di riduzione del consumo energetico.



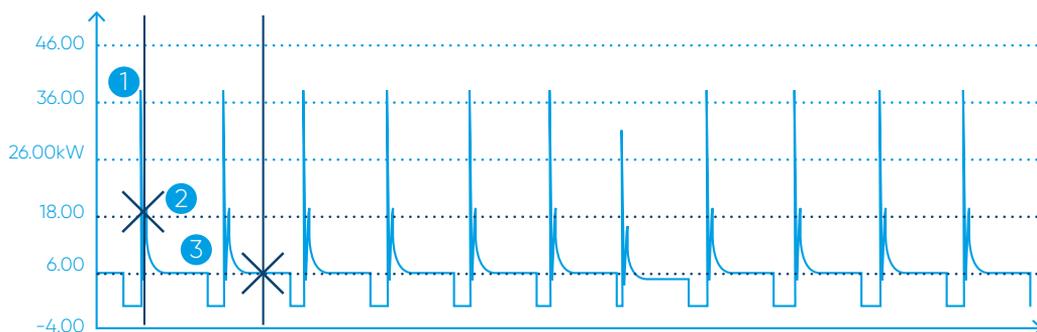
6. ARIA COMPRESSA

TEORIA: CONCETTI BASE

La funzione dei sistemi ad aria compressa è quella di fornire una certa portata d'aria ad una pressione superiore alla pressione atmosferica, al fine di ottenere un lavoro meccanico. Le parti principali di un impianto di aria compressa sono:

- › **Compressore:** È l'elemento principale dell'installazione. Aumenta meccanicamente la pressione dell'aria mediante compressione.
- › **Serbatoio di accumulo aria:** Consente l'accumulo di energia pneumatica per un utilizzo successivo.
- › **Refrigeratore:** Riduce la temperatura dell'aria acquisita durante il processo di compressione, evitando così la conseguente presenza di condensazione.
- › **Deumidificatore:** Riduce la presenza dell'umidità nella fornitura di aria compressa.
- › **Sistema di distribuzione:** Un insieme di tubi ed elementi che consentono all'aria compressa di raggiungere le apparecchiature di consumo.

Un tipico profilo di consumo del compressore può essere visto nell'immagine sottostante durante un normale periodo di funzionamento:



Fonte: SGS

Il grafico corrisponde ad una misura effettuata tramite analizzatore di rete ad un compressore da 15 kW di potenza nominale privo di sistema a velocità variabile, durante un normale periodo di installazione. È facile vedere per ogni ciclo di lavoro l'avviamento delle apparecchiature (1) in cui si raggiungono i principali picchi di richiesta elettrica, nonché i periodi di carico (2) in cui opera la compressione e lo scarico dell'aria (3) in cui il motore del compressore è in funzione senza produzione di aria.

Tra i periodi di lavoro, il compressore interrompe il suo funzionamento, il che è un vantaggio a livello di consumo energetico se i cicli di lavoro sono sufficientemente separati nel tempo. Altrimenti, questa configurazione di lavoro forza l'avvio costante del compressore con conseguenti picchi continui nella richiesta di energia e una diminuzione della durata dell'apparecchiatura. In questo caso sarebbe consigliabile installare un inverter di frequenza.

EFFICIENZA ENERGETICA NEGLI IMPIANTI AD ARIA COMPRESSA

I sistemi di produzione e distribuzione di aria compressa determinano consumi di energia significativi e contemporaneamente si affrontano problemi che riducono in modo significativo il loro livello di efficienza. Di seguito vengono spiegate alcune delle strategie più comuni per migliorare l'efficienza energetica di queste apparecchiature.

INSTALLAZIONE DI VARIATORI DI FREQUENZA DEL COMPRESSORE E RIDIMENSIONAMENTO DELLA POTENZA

Come visto nella sezione corrispondente, il metodo più efficiente per controllare la velocità di un motore elettrico è mediante l'uso di un inverter di potenza elettronico.

L'installazione di un inverter di frequenza nei compressori permette di ridurre al minimo i periodi di funzionamento in scarica, che non producono lavoro utile, ottenendo un risparmio energetico fino al 30% a seconda del regime di funzionamento del compressore. L'installazione dei convertitori di frequenza è una misura di risparmio energetico con un investimento ammortizzabile in pochi mesi. L'uso di un inverter di potenza riduce anche il numero di avviamenti dei compressori, contribuendo a prolungarne la durata.

Se è necessario un elevato consumo di aria compressa, sono ideali più compressori, in modo che la potenza richiesta per la produzione di aria sia suddivisa tra più apparecchiature e il suo funzionamento sia controllato da un sistema di gestione automatico. In questo modo i compressori funzionano in modo ottimale e sono in funzione solo quelli necessari per soddisfare la richiesta d'aria in ogni momento.

In questa configurazione di lavoro, uno dei compressori ha solitamente un inverter di frequenza che determina il grado di variabilità desiderato nella produzione di aria tra i diversi livelli di potenza configurati.

RECUPERO DI CALORE

I compressori d'aria sono apparecchiature operative inefficienti. Dell'energia totale assorbita dal compressore, solo il 5% è associato alla produzione di aria compressa, mentre il restante 95% viene perso sotto forma di calore.

Questo calore immagazzinato nel fluido (aria o acqua) utilizzato per il raffreddamento del compressore può essere sfruttato direttamente attraverso tubazioni che conducono l'aria calda generata dal compressore o indirettamente tramite scambio per la produzione di acqua calda, che può essere utilizzata come acqua calda sanitaria, per il riscaldamento di uffici o navi o per l'utilizzo in processi che lo richiedano.

Il problema principale con questa misura di risparmio è che la temperatura del calore utilizzabile non è troppo alta, il che limita il suo utilizzo e la redditività delle azioni implementate.

RIMOZIONE DELLE PERDITE NELLA STRUTTURA

L'eliminazione delle perdite esistenti nell'impianto di aria compressa comporta una diminuzione dei periodi di funzionamento delle apparecchiature utilizzate nella produzione di aria compressa e, quindi, una riduzione dei consumi elettrici associati a tale fornitura.

Le perdite negli impianti di aria compressa sono molto comuni e quasi impossibili da eliminare nella loro interezza. Nelle installazioni a bassa manutenzione è comune rilevare che fino al 25% o il 30% del consumo energetico del compressore è dovuto a perdite.

Le perdite di aria compressa in una struttura possono essere riscontrate sia nelle reti di distribuzione che nelle apparecchiature a cui alimenta questa fornitura, quindi l'ubicazione e la riparazione di esse ha vari gradi di difficoltà e necessità di risorse da utilizzare.

Gli impianti devono essere soggetti a regolari revisioni e operazioni di manutenzione, in modo tale da evitare o ridurre al minimo, per quanto possibile, la comparsa di nuove perdite derivanti dall'inevitabile usura causata dal passare del tempo e dall'intensità di utilizzo le strutture.

INSTALLAZIONE DELLA PRESA D'ARIA DEL COMPRESSORE IN ZONE FREDDI

Un aumento della temperatura dell'aria significa una riduzione della sua densità quindi, se l'aria di aspirazione dei compressori è ad alte temperature, aumenta il consumo di energia a parità di portata e pressione di mandata.

Si ritiene che ogni 3°C di diminuzione della temperatura dell'aria aspirata implichi l'1% in più di aria compressa a parità di consumo energetico, quindi si raccomanda vivamente che i compressori aspirino aria dall'esterno alla temperatura più bassa possibile.

CONTROLLO, GESTIONE E MANUTENZIONE

Arresto dei compressori che agiscono a vuoto

I compressori possono essere programmati in molti casi per arrestarsi dopo pochi minuti di funzionamento a vuoto. Questa misura evita il consumo di energia non necessario, così come il consumo di energia reattiva. Il consumo di un compressore funzionante a vuoto può essere circa il 20% del suo consumo durante la produzione di aria.

Diminuzione della pressione nella rete

La regolazione della pressione di rete al minimo possibile per consentire il corretto funzionamento delle apparecchiature che alimentano aria compressa, consente una sensibile diminuzione della potenza richiesta alla compressione e quindi dei consumi dei compressori. Questa misura consente anche di ridurre il volume delle perdite che possono esistere nell'installazione.



7. CALDAIE

TEORIA: CONCETTI DI BASE

Una caldaia è costituita principalmente da uno scambiatore di calore in cui l'energia è normalmente fornita da un processo di combustione, o anche dal calore contenuto in un gas in esso circolante. In entrambi i casi, il calore fornito viene trasmesso a un fluido, che viene vaporizzato o meno, e trasportato a un sistema di consumo, al quale viene trasferita tale energia.

Alcuni degli elementi principali che tipicamente compongono una caldaia sono:

- › **Bruciatore:** dove brucia il combustibile
- › **Focolare:** ospita al suo interno il bruciatore e al suo interno viene effettuata la combustione e la generazione di gas caldi.
- › **Tubi di scambio termico:** il flusso di calore dai gas all'acqua avviene attraverso la sua superficie.
- › **Separatore liquido-vapore:** la sua funzione è quella di separare le goccioline di acqua liquida sospesa nel flusso di vapore.

- › **Economizzatore:** apparecchiatura di scambio termico per preriscaldare acqua liquida con gas ancora caldi, prima di immetterla in caldaia.
- › **Canna fumaria:** percorso di scarico verso l'esterno dei fumi e dei gasi di scarico dopo che il calore è stato trasferito al fluido.
- › **Involucro:** protezione esterna delle apparecchiature che contengono il focolare e il sistema di tubi di scambio termico.

Alcune misure di risparmio energetico che possono essere implementate nelle caldaie per migliorare la loro efficienza energetica sono:

- › **Recupero di calore dai fumi della caldaia.**
Il fumo della combustione di caldaie ad alta temperatura viene espulso attraverso la canna fumaria nell'atmosfera. La temperatura di questi fumi può essere parzialmente recuperata mediante scambiatori e utilizzata per processi che richiedono calore, preriscaldamento dell'aria di combustione o riscaldamento dei locali.
- › **Regolazione e controllo della combustione.**
Una cattiva combustione impedisce che una parte dell'energia del carburante venga sfruttata. Azioni come il controllo del valore dell'aria in eccesso per la combustione o una corretta manutenzione che riduce la percentuale di bruciatura in combustione, consentono di aumentare il rendimento della caldaia.
- › **Sostituzione di vecchie caldaie con caldaie ad alto rendimento.**
Le caldaie moderne hanno prestazioni e livelli di isolamento migliori, il che riduce le perdite. Le moderne caldaie a condensazione consentono l'utilizzo del calore latente di vaporizzazione dell'acqua in modo che le loro rese superino valori del 100% rispetto al 70-90% di quelle convenzionali. È da chiarire che valori maggiori del 100% sono possibili in quanto il tradizionale calcolo delle prestazioni si basa sul calore ottenibile dalla combustione, senza tener conto dell'energia dell'acqua per il cambio di fase liquido-gas, o calore latente.
- › **Sostituzione del combustibile utilizzato:**
I combustibili possono essere solidi, liquidi o gassosi:
Combustibili solidi (carbone, coke...)
Combustibili liquidi (gasolio, altri carburanti liquidi...)
Combustibili gassosi (gas naturale, propano, butano...)

La tendenza attuale nell'industria è il passaggio dai combustibili solidi e liquidi verso quelli gassosi perché più performanti, oltre che per il loro minor costo economico s/kWh e minori emissioni di CO².

COMBUSTIONE

Secondo la definizione dell'Istituto per la diversificazione e il risparmio energetico, la combustione è "un insieme di reazioni di ossidazione con distacco di calore che avvengono tra due elementi: combustibile, che può essere solido (pellet, carbone, legno...), liquido (gasolio, altri carburanti liquidi) o gas (naturale, propano...) e l'ossidante, l'ossigeno. La sua caratteristica principale, che si distingue dagli altri processi di ossidazione, è che la combustione permette di mantenere una fiamma stabile". (IDAE, 2010)

La combustione avviene a temperature molto elevate e produce calore. Affinché la combustione abbia luogo, è necessaria l'esistenza di un carburante, un innesco di reazione e un ossidante. Normal-

mente questo è l'ossigeno, che si trova naturalmente nell'aria nell'atmosfera in un rapporto del 21%.

Il processo di combustione genera un volume considerevole di gas e, a seconda del combustibile, rifiuti solidi sotto forma di cenere o fuliggine.

PERDITE SENSIBILI DI CALORE

Le perdite sensibili di calore attraverso i fumi di combustione dipendono principalmente dai seguenti fattori:

- › temperatura dei fumi
- › calore specifico dei fumi
- › Aria in eccesso utilizzata nella combustione, che si manifesta nella percentuale di CO e influisce sulla portata massica o volumetrica dei fumi.
- › Queste perdite sono normalmente comprese tra il 6% e il 10% della potenza nominale, aumentando notevolmente in caso di scarsa manutenzione.

(IDAE, 2007)

PERDITE PER COMBUSTIONE INCOMPLETA

Sono principalmente dovute alla combustione del carbonio e, insieme all'ossigeno, formano monossido di carbonio (CO). Il monossido di carbonio è un gas tossico, incolore e inodore ed è il prodotto di una combustione incompleta. Un'elevata concentrazione di CO può causare la morte entro poche ore.

ARIA TEORICA E ARIA IN ECCESSO

Affinché la combustione avvenga, deve esserci una certa alimentazione d'aria, che fornisce la quantità di ossigeno necessaria per bruciare il carburante disponibile. La quantità esatta di aria per bruciare una determinata quantità di combustibile è detta "aria teorica" e la combustione ottenuta è detta "stechiometrica", cioè nelle esatte proporzioni previste dalla reazione chimica generalizzata.

Questo tipo di combustione non è in pratica possibile a causa, tra l'altro, di una cattiva miscela di ossigeno con il carburante, quindi è inevitabile che apporti più aria alla combustione di quanto sarebbe teoricamente necessario. L'aria in eccesso è rappresentata come Lambda (λ) e il suo valore dipenderà dal carburante utilizzato.

Un valore di $\lambda = 1$ indica una combustione stechiometrica.

Sebbene gli strumenti utilizzati per misurare i parametri di combustione normalmente indichino dati di eccesso d'aria, possono essere ottenuti anche da misurazioni del contenuto di CO₂ o O₂ nei fumi di combustione, da queste formule:

$$\lambda = \frac{CO_2 \text{ max}}{CO_2}$$

$$\lambda = 1 + \left(\frac{O_2}{21 - O_2} \right)$$

EFFICIENZA ENERGETICA DELLE CALDAIE

PRESTAZIONI DI COMBUSTIONE MIGLIORATE: CONTROLLO OVER-AIR

Abbiamo visto come per eseguire la combustione sia necessaria una maggiore presa d'aria di quanto sarebbe teoricamente necessario. A seconda della quantità di aria fornita per la combustione, possono verificarsi le seguenti situazioni:

- › **Combustione stechiometrica:** rapporto esatto di ossigeno per la combustione. Non è realizzabile in pratica.
- › **Aria in eccesso:** diminuzione della temperatura dei fumi e presenza di O₂ al loro interno. Le prestazioni della caldaia diminuiscono.
- › **Aria insufficiente:** combustione incompleta: produzione di monossido di carbonio (CO) altamente tossico e pericoloso.

L'alimentazione d'aria per la combustione (e quindi l'aria in eccesso) è un parametro facilmente regolabile per i tecnici del riscaldamento.

I valori di combustione delle caldaie sono noti dai test effettuati tramite un Analizzatore di Combustione. Questa apparecchiatura, ampiamente utilizzata dai servizi tecnici e dai manutentori delle caldaie, fornisce diversi dati sul contenuto dei fumi di combustione.



IMG 6. ANALIZZATORE DI COMBUSTIONE

```
Comb: GasNatural
93.2 °C Temp. fumes
9.7 % Contenido CO2
5.4 % Por. por fumes
1.23 Exceso aire
3.7 % O2 -cont.
0 ppm CO -cont.
0 ppm CO -corres.
24.2 °C Temp. a/c
94.5 % Rendimiento
0 ppm CO -cont.

CALDERA PROCEB
CONFORME USUARIO

TESTO 592
```

IMG 7. RISULTATI DELLE ANALISI DELLA COMBUSTIONE

I dati necessari per la valutazione della caldaia dal punto di vista dell'efficienza energetica sono: Temperatura fumi; Temperatura dell'aria di combustione; Contenuto di ossigeno (O₂); Contenuto

di anidride carbonica (CO₂); Monossido di carbonio (CO) e contenuto d'aria in eccesso. Questi ultimi dati, come abbiamo visto sopra, possono essere calcolati dai valori di O₂ o CO₂ se non sono disponibili.

Il calcolo delle dispersioni termiche sensibili viene effettuato mediante la seguente formula:

$$qA = (T1 - T2) \times \left(\frac{A}{(21 - O_2) + B} \right)$$

Ad eccezione dei combustibili solidi, con i quali viene utilizzata la formula Siegert:

$$qA = f \times \left(\frac{T1 - T2}{CO_2} \right)$$

Essendo:

T1 = temperatura del gas di combustione

T2 = Temperatura aria comburente in ingresso (default, temperatura ambiente)

A, B e f = Fattori specifici del carburante (vedere la tabella sotto)

O2 = Concentrazione di O₂ misurata dall'analizzatore

I fattori specifici del carburante (A; B; f) sono i seguenti:

	A	B	f	CO ₂ max
Olio combustibile	0,68	0,007	-	15,4
Gas naturale	0,65	0,009	-	11,9
GPL (butano; propano...)	0,63	0,008	-	13,9
Coke, legno	0	0	0,74	20
Bricchetti	0	0	0,75	19,3
Lignite Antracite	0	0	0,9	19,2
Antracite	0	0	0,6	18,5
Gas di cokeria	0,6	0,011	-	-

Gas di città	0,63	0,011	-	11,6
Prova del gas	0	0	-	0

Fonte (TESTO, 2020)

Prendiamo, ad esempio, i seguenti valori da un'analisi di combustione a una caldaia, per vedere come è possibile ridurre le perdite sensibile di calore riducendo il valore dell'aria in eccesso:

Combustibile: gas naturale – TEST INIZIALE	
Temperatura dei fumi	152,4 °C
Temperatura dell'aria di combustione	31,1 °C
Contenuto di ossigeno (O ₂)	10,6 %
Contenuto di anidride carbonica (CO ₂)	5,89 %
Eccesso d'aria (λ)	2,02
Contenuto di monossido di carbonio (CO)	1 ppm

Il calcolo delle dispersioni termiche sensibili di questa caldaia è quindi il seguente:

$$qA = (T1 - T2) x \left(\frac{A}{(21 - O_2) + B} \right)$$

$$qA = (152,4 - 31,1) x \left(\frac{0,65}{(21 - 10,6) + 0,009} \right)$$

$$qA = 8,98\%$$

Le perdite raggiungono l'8,98% quindi il rendimento di combustione attuale in questa caldaia è: 100% - 8,98% = 91,02%

Dopo la corretta regolazione dell'eccesso di aria da parte del servizio tecnico il nuovo scenario che troviamo dopo una seconda prova di combustione è il seguente:

Combustibile: gas naturale - TEST DOPO LA REGOLAZIONE DI λ	
Temperatura dei fumi	152,4 °C
Temperatura dell'aria di combustione	31,1 °C

Contenuto di ossigeno (O2)	2,0 %
Contenuto di anidride carbonica (CO2)	10,9 %
Eccesso d'aria (λ)	1,10
Contenuto di monossido di carbonio (CO)	1 ppm

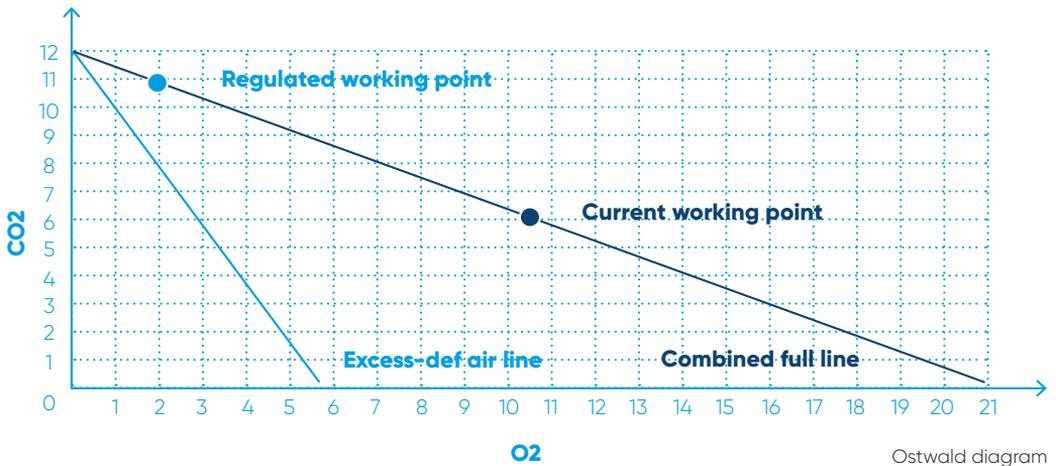
Il nuovo calcolo delle sensibili perdite di calore sarà il seguente:

$$qA = (T1 - T2) \times \left(\frac{A}{(21 - O_2) + B} \right)$$

$$qA = (152,4 - 31,1) \times \left(\frac{0,65}{(21 - 2) + 0,009} \right)$$

$$qA = 5,41\%$$

Le perdite raggiungono il 5,41%, il rendimento di combustione attuale in questa caldaia è visibile nel **grafico seguente, che mostra il punto di lavoro della caldaia prima della regolazione (blu) e dopo la regolazione dell'aria in eccesso (nero)**:



$$100\% - 5,41\% = 94,59\%$$

Il rendimento è pertanto migliorato con un risparmio di carburante del 3,78%

$$(94,59\% - 91,02\%) / 94,59\% \times 3,78\%$$

IL MIGLIORAMENTO DELLE PRESTAZIONI DI COMBUSTIONE: PERDITE DOVUTE A COMBUSTIONE INCOMPLETA

La quantità di monossido di carbonio (CO) presente nei fumi di combustione è misurata in parti per milione. Così, ad esempio, una concentrazione di 100 ppm equivale a un volume presente di CO dello 0,01% nei prodotti della combustione, che in pratica significa dividere per 10000.

La formula utilizzata per il calcolo della percentuale di perdite da combustione incompleta è la seguente:

$$qi = K x \left(\frac{CO / 10000}{(CO / 10000) + CO_2} \right)$$

Essendo:

CO = contenuto di monossido di carbonio in ppm

CO_2 = contenuto di anidride carbonica presente nei fumi di combustione

K = Fattori combustibili specifici (vedi tabella seguente)

I fattori combustibili specifici (K) sono i seguenti:

	K
Gas naturale	72
Butano	75
Propano	84
Diesel	95

Fonte: (TESTO, 2020)

$$qi = K x \left(\frac{CO / 10000}{(CO / 10000) + CO_2} \right)$$

$$qi = 84 x \left(\frac{0,05}{0,05 + 8,27} \right)$$

$$qi = 0,50\%$$

Si consideri ad esempio una **caldaia a propano** la cui analisi di combustione ha mostrato:

- › CO = 500 ppm
- › CO₂ = 8,27%

Le perdite ammontano allo **0,50%** quindi l'attuale rendimento di combustione in questa caldaia è:
 $100\% - 0,50\% = 99,50\%$.

Una volta presi gli opportuni accorgimenti dal servizio tecnico della caldaia per poter contare su una corretta combustione, l'eliminazione del monossido di carbonio nei prodotti della combustione porterà all'incremento delle prestazioni, con esso, il corrispondente risparmio di combustibile. Nella questione in esame: $(100\% - 99,50\%) / 99,5\% = 0,50\%$.

QUAL È IL RENDIMENTO DELLA MIA CALDAIA?

$$100\% - (qA + qi)$$

Dopo la corretta regolazione dell'eccesso di aria e gli opportuni accorgimenti per evitare la presenza di CO nella combustione, le perdite sia per qA che per qi sarebbero ridotte e di conseguenza le prestazioni aumenterebbero.

Il calcolo per il risparmio di carburante sarebbe:

$$(Prestazione\ finale - Prestazione\ originale) / Prestazione\ finale) \times 100$$

Infine, è importante sottolineare che piccole perdite di calore vengono prodotte attraverso il corpo della caldaia e queste sarebbero maggiori quanto maggiore è la differenza di temperatura tra il corpo della caldaia e l'ambiente circostante. È quindi importante che ci sia un corretto isolamento termico sia attorno alla caldaia che ai suoi condotti di vapore o acqua mediante l'applicazione di apposite cavità o coperte termiche. Tali isolamenti, fabbricati con materiali come lana di roccia, lana di vetro o gomma sintetica, hanno un costo relativamente basso e un alto grado di efficacia.

MIGLIORAMENTO DELLE PRESTAZIONI DI COMBUSTIONE: PRERISCALDAMENTO DELL'ARIA COMBURENTE IN INGRESSO

Come abbiamo visto sopra, i fumi della combustione vengono espulsi ad alte temperature verso l'esterno attraverso il camino della caldaia.

Il recupero di questo calore per preriscaldare l'aria di alimentazione per la combustione è una misura interessante di risparmio energetico che ci permette di risparmiare combustibile perché, a maggior calore disponibile nell'aria in ingresso alla combustione, il bruciatore necessita di un minor funzionamento per raggiungere la temperatura di esercizio (il salto termico richiesto è inferiore).

Tuttavia, l'aria dei prodotti della combustione non può essere "iniettata" direttamente come aria in ingresso nella caldaia per una nuova combustione perché potrebbero essere generati prodotti tossici.

Viene quindi utilizzato uno scambiatore aria-aria per sfruttare il calore contenuto nei prodotti della combustione che garantisce uno scambio termico senza contatto tra i fumi della combustione e una nuova aria "pulita" che verrà riscaldata per essere immessa in caldaia.

Tuttavia, come in ogni scambio di energia, il trasferimento di calore non è perfetto e parte del contenuto di calore esistente nei prodotti della combustione non può essere sfruttato. Gli scambiatori di calore aria-aria possono ragionevolmente assicurare un'efficienza compresa tra il 55% e il 70%.

RECUPERO DEL CALORE SENSIBILE DAI FUMI DELLA CALDAIA

Come descritto nel paragrafo precedente, la misura si basa sul recupero del calore dalla combustione della caldaia che viene espulso in atmosfera attraverso la sua canna fumaria. Utilizzando economizzatori, recuperatori di calore, rigeneratori o caldaie a recupero, l'energia contenuta in questo calore di scarto può essere sfruttata per l'utilizzo in molteplici applicazioni e processi che richiedono l'uso di calore come il riscaldamento di stanze o uffici.

Economizzatori, recuperatori di calore, rigeneratori o caldaie a recupero, sono apparecchiature che prendono il calore dei gas di combustione e lo utilizzano per riscaldare un fluido. Questo fluido può essere l'aria in ingresso per la combustione, acqua (ad esempio per acqua calda sanitaria) o altro.

L'elevato investimento richiesto per le tecnologie di recupero del calore è interessante solo nei casi in cui:

- › Il calore è richiesto continuamente per il processo.
- › Le ore giornaliere di funzionamento della caldaia sono sufficientemente elevate da fornire calore in modo continuativo.

PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

La produzione di acqua calda può essere effettuata da diversi combustibili, con differenti prezzi per kWh.

Per valutare se sia interessante sostituire le apparecchiature per la produzione di acqua calda sanitaria con altre apparecchiature alimentate da un diverso approvvigionamento energetico (es. Sostituire un termos elettrico con una stufa istantanea a butano o gas naturale) dobbiamo prima quantificare il nostro consumo energetico.

Prendiamo, ad esempio, un impianto in cui vengono consumati 1.000 litri di acqua calda sanitaria al mese, a una temperatura di setpoint di 60 °C, mentre la temperatura dell'acqua di alimentazione che arriva all'impianto è di circa 15 °C. Il calcolo del consumo di energia necessario per aumentare la temperatura di un volume d'acqua di 1.000 litri da 15°C a 60°C è il seguente:

$$Q = m \times Ce \times (T2 - T1)$$

Essendo:

Q = Consumo energetico (kcal / h)

m = massa del volume d'acqua da riscaldare (kg). Ai fini del calcolo prenderemo in considerazione 1 l x 1 kg

Ce = Calore specifico dell'acqua - 1 kcal / kg °C

$T1$ = temperatura dell'acqua di rete (°C)

$T2$ = Temperatura finale dell'acqua (°C)

Il consumo energetico sarebbe quindi:

$$Q = m \times Ce \times (T2 - T1)$$

$$Q = 1.000 \times 1 \times (60 - 15)$$

$$Q = 45.000 \text{ kcal}$$

$$45.000 \text{ kcal} / 860 = 52,3 \text{ kWh}$$

Questo consumo di 52,3 kWh è il consumo di energia necessario per aumentare la temperatura di 1.000 litri di acqua di 45°C durante il mese che abbiamo considerato ma, va notato che la temperatura dell'acqua della rete di alimentazione varia durante l'anno quindi il calcolo dovrebbe essere realizzato per ogni mese dell'anno. Il consumo energetico annuo sarebbe il risultato della somma dei 12 risultati ottenuti.

La temperatura dell'acqua della rete di alimentazione è un parametro importante per un gran numero di calcoli (come quello presente o anche per calcoli di dimensionamento di impianti solari termici) per cui esistono tabelle con valori locali facilmente accessibili da internet.

Con i dati di consumo ottenuti, sarebbe solo necessario studiare i prezzi dell'energia a livello nazionale per i diversi combustibili. Il risparmio ottenuto dalla differenza di prezzo dei combustibili

deve essere sufficiente ad ammortizzare entro il suo ragionevole periodo di anni l'investimento relativo alla sostituzione delle apparecchiature per la produzione di acqua calda sanitaria.

- › **Risparmio economico annuale (€ / anno)** = (Consumo energetico (kWh / anno) x costo effettivo del carburante (€ / kWh)) - (Consumo energetico (kWh / anno) x nuovo costo del carburante (- / kWh))
- › **Periodo di ritorno dell'investimento (anni)** = Investimento (€) / Risparmio economico (€ / anno)

Il costo di alcuni combustibili può essere indicato in unità di consumo (come litri o chilogrammi). Per effettuare la conversione in kWh, è necessario il Potere Calorifico dei combustibili, che si allega nella tabella sottostante:

Carburante	Potere calorifico inferiore (LHV)
Carbone	9,08 kWh/kg
Diesel	10,28 kWh/l
Gas butano	12,73 kWh/kg
Gas propano	12,86 kWh/kg
Gas naturale	10,83 kWh/Nm ³

Fonte: Guía técnica – IDAE (IDAE, 2010)

La quantità di carburante necessaria in kg, litri o Nm³ sarebbe:

$$\text{Consumo energetico previsto (kWh)} / \text{Potere calorifico inferiore (LHV)} = \text{Combustibile necessario (kg; l; Nm}^3\text{)}$$



8. ISOLAMENTO

TEORIA DEL TRASFERIMENTO DI CALORE

Calore è il processo di trasferimento di energia tra differenti corpi o le zone dello stesso corpo che si trovano a differenti temperature, fino alla produzione di un equilibrio termico.

Unità di misura del calore. La unità di misura di calore (usata anche per la misurazione dell'energia e lavoro) nel Sistema Internazionale di unità di misura è Joule.

Sono necessari 4,186 J per elevare la temperatura di un grammo di acqua alla pressione di 1 atm di un grado da 14,5°C a 15,5°C, ciò significa che per riscaldare di un grado 1 kg d'acqua sono necessari 4.186 J o meglio 1 kilocaloria.

Altre unità di misura del calore comunemente usate sono caloria e BTU.

Una caloria è la quantità della energia necessaria per innalzare la temperatura di 1 °C di un grammo di acqua a pressione atmosferica, mentre BTU (British Thermal Unit – Unità Termica Britannica) rappresenta la quantità di energia necessaria perché innalzare di un grado Fahrenheit la temperatura di una libbra d'acqua. BTU viene comunemente usata come unità di misura negli Stati Uniti e corrisponde a 252 calorie.

Equilibrio Termico: Qualsiasi sostanza ad una temperatura superiore a 0° Kelvin (-273,150 Celsius) inizia a emettere calore e scaldare altre sostanze vicine utilizzando meccanismi come conduzione, convezione e irraggiamento fino a quando la temperatura di entrambi è uguale, arrivando ad un equilibrio termico. L'equilibrio termico viene raggiunto quando sostanze emettono e ricevono la stessa quantità di calore.

Conduzione Termica: è il processo che avviene per contatto termico tra due o più corpi, dovuto al contatto diretto tra le loro particelle. La conduzione pura si presenta solo nei materiali solidi e dipende in gran parte dalla natura del materiale, dalla sua sezione della sua lunghezza.

Convezione termica: È il processo di trasmissione del calore che riguarda essenzialmente i fluidi (liquidi o gas) che avviene a causa del loro movimento.

Irraggiamento termica: Questo è il processo mediante il quale l'energia viene trasmessa attraverso le onde elettromagnetiche. Comporta una doppia trasformazione di energia per raggiungere il corpo al quale si propagherà prima da energia termica a energia radiante e poi viceversa.

Temperatura secca: è la temperatura dell'aria, esclusa la temperatura prodotta dalla radiazione che possono emettere gli oggetti che si trovano in prossimità di quell'ambiente. Inoltre, non vengono presi in considerazione nemmeno gli effetti della relative umidità e dei movimenti d'aria. La misurazione della temperatura secca viene eseguita con un termometro a mercurio, considerando che il bulbo non assorbe le radiazioni.

Temperatura radiante: tiene conto del calore emesso per irraggiamento dagli elementi dell'ambiente. Per la sua misurazione viene utilizzato un termometro a bulbo il cui serbatoio di mercurio è installato all'interno di una sfera nera per produrre il maggior assorbimento di radiazioni possibile.

Temperatura del bulbo umido: è la temperatura segnata da un termometro posto in una zona ombreggiata e con il bulbo avvolto in uno stoppino di cotone umido e sottoposto ad un flusso d'aria. L'evaporazione dell'acqua provoca una diminuzione della temperatura indicata dal termometro.

Gradi Celsius: scala stabilita nel 1742 considerando le temperature di congelamento ed evaporazione dell'acqua, a cui furono dati i valori di 0 e 100°C.

Gradi Fahrenheit: proposta nel 1724, questa scala è stabilita tra le temperature di congelamento ed evaporazione dell'acqua, che sono 32° F e 212° F. La sua equivalenza con la scala Celsius è stabilita dall'espressione:

$$C=(F-32) / 1,8$$

Gradi Kelvin: l'aumento di un grado Celsius coincide con quello di un Kelvin, la sua importanza risiede nel punto zero della scala: la temperatura di 0 K è detta 'zero assoluto' e corrisponde al punto in cui le molecole e gli atomi di un sistema hanno la minima energia termica possibile.

$$K = ^\circ C + 273,15$$

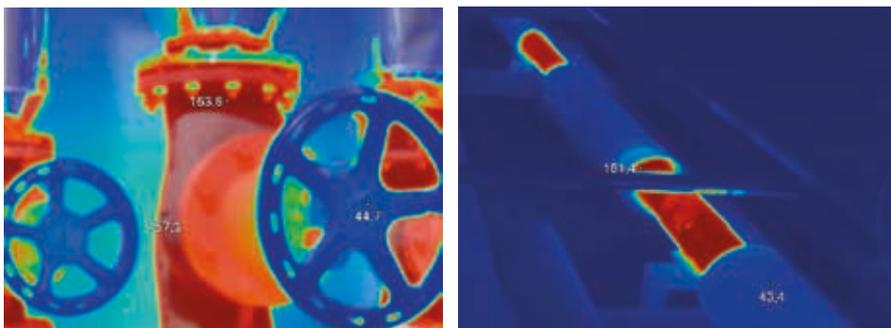
Altre scale: la maggior parte sono in disuso, sono Newton, Réaumur, Roemer, Leiden and Delisle.

SISTEMI DI ISOLAMENTO

PERDITE DA DIFETTOSO ISOLAMENTO IN TUBI E CONDUTTURE

Un isolamento difettoso o una cattiva manutenzione possono provocare perdite di energia molto elevate. Quanto più grande è l'area priva di isolamento, maggiore risulta la differenza di temperatura tra la superficie di conduzione e l'area dei locali.

L'uso di una tecnica come la termografia consente di rilevare facilmente e con precisione i punti in cui si verificano perdite di calore.



Fonte: SGS

L'isolamento per tubazioni normalmente è costituito da un rivestimento realizzato con materiali come lana minerale o polietilene, che hanno una bassa conducibilità termica, con la quale è possibile impedire la trasmissione del calore all'ambiente.

L'installazione dell'isolamento su condutture di riscaldamento o raffreddamento rappresenta una misura di risparmio energetico efficace, economica e di facile implementazione, in modo che l'investimento si recuperi rapidamente.

LE PERDITE PER LO SCARSO ISOLAMENTO DEGLI INFISSI E DELLE VETRATE

Lo scarso isolamento degli infissi e delle vetrate dell'edificio (muri, porte e finestre) comporta pure una perdita di energia nella climatizzazione e nel comfort termico.

Le misure di azione più comuni sulle caratteristiche costruttive sono:

- Miglioramento del livello di isolamento.

Consiste fondamentalmente nel fare in modo che quelle parti della struttura che sono a contatto con l'esterno aumentino la loro resistenza al calore aggiungendo elementi e strati isolanti nelle pareti esterne e nei tetti dell'edificio.

- Eliminazione dei ponti termici.

I ponti termici sono le aree dell'involucro di un edificio dove c'è una variazione nell'uniformità della costruzione. Questi punti hanno una resistenza termica inferiore, quindi rappresentano le zone in cui avvengono i maggiori scambi di temperatura con l'esterno. In queste aree conviene migliorare l'isolamento termico se presenta delle carenze. I ponti termici più comuni sono:

- › Pilastri integrati nell'involucro edilizio
- › Contorni dei fori e dei lucernari
- › Cassonetti delle tende
- › Fronte delle lastre delle facciate
- › Intersezioni delle partizioni interne con la facciata

- Migliorare sigillatura di porte e delle cavità

Questa azione impedisce le infiltrazioni termiche non desiderate. Idealmente le porte dovrebbero essere realizzate con materiali come legno o agglomerati che incorporano del materiale isolante nella parte centrale, oltre ad avere dei nastri o sigillanti di altro tipo su tutto il perimetro del telaio. Per le finestre, l'uso di vetro camera, struttura di doppi vetri con camera d'aria tra le lastre, è considerato una soluzione ottimale. Nonostante il costo sia superiore al semplice vetro, è possibile dimezzare le perdite termiche. Attualmente, nei nuovi edifici rappresenta il tipo di finestra più diffuso.

- Trattamento speciale dei vetri

Con il trattamento speciale del vetro si ottiene il miglioramento del suo comportamento termico inverno/estate.

Sul mercato ci sono vari tipi di vetro

- › Vetro stratificato. Composto da diversi strati che aumentano la capacità di isolamento.
- › Vetro basso-emissivo. Sulla sua superficie è stata posta una pellicola di uno specifico materiale come ossidi di metallo, che ne migliora notevolmente le prestazioni di isolamento termico.
- › Vetro a controllo solare. Si tratta dei vetri colorati o con alcuni strati aggiuntivi che permettono una grande varietà di isolamento termico.

- Installazione degli elementi addizionali.

Generalmente, per le strutture orientate verso sud sono preferibili le protezioni solari fisse. Per la orientazione ovest o nordest viene raccomandato l'uso dei sistemi di protezione solare mobile con ad esempio le lame retraibili.

Molto interessante è la creazione degli elementi di ombra con alberi caducifoglie, che permettono il passaggio della luce solare solo nel periodo invernale.

PERDITE DI TEMPERATURE ATTRAVERSO PUNTI DI ACCESSO

Risulta comune avere accesso di vario genere tra locali climatizzati e non climatizzati, che risultano aperti quasi permanentemente quando si verifica una movimentazione importante tra le diverse aree dell'edificio. Ciò comporta una significativa perdita di condizionamento della temperatura dell'aria e di conseguenza rappresenta un notevole costo energetico, quindi l'installazione di porte a chiusura automatica o di dispositivi di barriere d'aria rappresenta un modo efficace per ridurre le perdite di energia attraverso le vie di accesso.

L'installazione di una barriera d'aria alla porta crea una lama d'aria che separa efficacemente l'ambiente interno dall'esterno, riducendo notevolmente le perdite di energia attraverso la porta, fornendo anche ulteriori vantaggi come impossibilità di accesso agli insetti o mancata formazione della nebbia che si forma da miscele di aria. Il potenziale risparmio energetico dipende dall'altezza della porta, i migliori risultati si ottengono negli accessi fino a 3,5 metri di altezza, in cui la riduzione delle dispersioni energetiche raggiunge percentuali intorno all'80-90%.

Di seguito il calcolo che ci permetterà di conoscere il costo energetico perso attraverso le vie di accesso. Innanzitutto, il calcolo dell'infiltrazione viene eseguito come segue:

$$V = 0,7 \times W \times H \times \left(H \times \left(\frac{1 - (T_{in} + 273,15)}{T_{out} + 273,15} \right) \right)^{0,5}$$

Legenda:

V - Infiltrazione (m³/s)

W - Larghezza di accesso (m)

H - Altezza di accesso (m)

T_{in} - Temperatura interiore (°C)

T_{out} - Temperatura esteriore (°C)

Una volta ottenuto il dato corrispondente alla infiltrazione, può essere stabilito anche il valore della carica energetica che implica la perdita di climatizzazione attraverso i punti di accesso:

$$Q = V \times D_{ext} \times \left((E_{ext} \times 4,19) - (E_{in} \times 4,19) \right)$$

Legenda:

Q = Carica (kW)

V = Infiltrazione (m³/s)

D_{ext} = Densità dell'aria esterna (kg/m³)

E_{ext} = Entalpia dell'aria esterna (kcal/kg)

E_{in} = Entalpia dell'aria interna (kcal/kg)

I valori dell'entalpia e della densità dell'aria sono legati alla temperatura. Questi dati possono essere trovati nella tabella "Proprietà dell'aria secca a pressione atmosferica" riportata nelle pagine seguenti.

Il carico energetico annuo totale (kWh) è determinato dal valore risultante dal calcolo del carico Q per il numero di ore annuali in cui si verifica la situazione di infiltrazione tra i locali.

PROPRIETA' DELL'ARIA SECCA A PRESSIONE ATMOSFERICA

Temperatura (°C)	Densità (kg/m ³)	Entalpia (kcal/kg)	Temperatura (°C)	Densità (kg/m ³)	Entalpia (kcal/kg)
-15	1,3691	0,6722	18	1,213	8,6372
-14	1,3638	0,9123	19	1,2086	8,8772
-13	1,3581	1,1523	20	1,2044	9,1228
-12	1,353	1,3923	21	1,2006	9,3628
-11	1,3473	1,6323	22	1,1961	9,6028
-10	1,3416	1,8779	23	1,192	9,8484
-9	1,3369	2,1179	24	1,188	10,0706
-8	1,3313	2,3579	25	1,1839	10,3284
-7	1,3266	2,598	26	1,18	10,574

Temperatura (°C)	Densità (kg/m³)	Entalpia (kcal/kg)	Temperatura (°C)	Densità (kg/m³)	Entalpia (kcal/kg)
-6	1,3222	2,839	27	1,1763	10,764
-5	1,3173	3,0835	28	1,1725	11,054
-4	1,3125	3,3235	29	1,1687	11,2996
-3	1,3072	3,5636	30	1,165	11,5396
-2	1,3024	3,8036	31	1,1611	11,7796
-1	1,2977	4,0447	32	1,1567	12,0252
0	1,2928	4,2892	33	1,1531	12,2652
1	1,2893	4,5292	34	1,1494	12,5052
2	1,2837	4,7692	35	1,1458	12,7564
3	1,2784	5,0148	36	1,142	12,9908
4	1,2739	5,2547	37	1,1382	13,2308
5	1,2693	5,4948	38	1,1343	13,4764
6	1,2645	5,7404	39	1,1308	13,7164
7	1,2605	5,9803	40	1,1273	13,962
8	1,2562	6,2204	41	1,1236	14,202
9	1,2518	6,4615	42	1,1196	14,442
10	1,2476	6,706	43	1,1164	14,682
11	1,2431	6,946	44	1,1127	14,9276
12	1,2381	7,186	45	1,1093	15,1676
13	1,2339	7,3983	46	1,1059	15,4132
14	1,2297	7,6716	47	1,1021	15,6532
15	1,2256	7,9116	48	1,0988	15,8955
16	1,2213	8,1183	49	1,0954	16,14
17	1,2168	8,3972	50	1,0919	16,39



9. TECNOLOGIE RINNOVABILI

CONCETTI BASE: FOTOVOLTAICO, SOLARE TERMICO, IDRAULICO, EOLICO

Radiazione solare: è l'energia radiante emessa dal sole per unità di superficie piana data in W/m^2 .

Irraggiamento solare: Energia incidente per unità di superficie su un dato piano, ottenuta come integrazione dell'irraggiamento in un dato intervallo di tempo, normalmente un'ora o un giorno. Espresso in MJ / m^2 o kWh / m^2 .

Radiazione diretta: rappresenta l'energia incidente sopra una superficie direttamente, senza integrare con niente e senza subire cambi di direzione.

Radiazione diffusa: è il riflesso della radiazione solare quando viene assorbita dall'aria o particelle di polvere (tipica delle giornate nuvolose).

Radiazione riflessa: parte della radiazione riflessa dal terreno o dagli altri elementi della superficie e che può essere riassorbita da altri oggetti.

Per definire la posizione del sole in un dato momento vengono usate le seguenti coordinate:

- › **Azimut solare:** Angolo di rotazione del sole rispetto al sud geografico. Il valore di 0° gradi si verifica quando il sole sta esattamente sopra il sud.
- › **Altezza Solare:** angolo che formano i raggi solari sulla superficie orizzontale. Varia durante il giorno e durante l'anno.

Per determinare la posizione di un oggetto sulla terra vengono usati seguenti parametri:

- › **Latitudine:** è la distanza angolare di un punto di superficie della terra dall'equatore. Viene considerato positivo nell'emisfero nord e negativo nell'emisfero sud.
- › **Longitudine:** è la distanza dal meridiano fondamentale di Greenwich, misurata lungo l'arco del parallelo passante per quel luogo.

ENERGIA SOLARE TERMICA: TIPOLOGIE DI PANNELLI E ELEMENTI DI INSTALLAZIONE

Pannelli solari termici piani: sono dispositivi realizzati per assorbire l'energia termica solare e trasmetterla ad un fluido vettore, normalmente liquido che circola all'interno. Più comuni sono i collettori con piano vetrato e l'uso più frequente è la produzione dell'acqua calda.

Il sistema di assorbimento solare è basato sul principio di funzionamento di una serra: la radiazione solare, sotto forma di onde corte, attraversa la superficie trasparente e viene catturata da un assorbitore aumentandone la temperatura. L'assorbitore scaldandosi emette radiazioni a onda lunga ma il vetro nei confronti di queste radiazioni è opaco. In tal modo si produce un accumulo di calore che si trasmette al fluido vettore.

I principali elementi di un collettore piano vetrato sono:

- Copertura trasparente: viene costruita da un materiale trasparente alla radiazione solare (vetro o plastica non colorata) e deve trattenere il calore e isolare l'assorbitore dalle condizioni ambientali esterne. Il materiale con cui è realizzata la copertura deve avere inoltre le seguenti caratteristiche:
 - › Buona trasmissione della radiazione nella banda di onde corte e opacità alla radiazione in onda lunga per evitare le perdite di calore.
 - › Stabilità nel tempo.
 - › Coefficiente basso della conduttività termica per diminuire le perdite termiche.

- › Bassa aderenza allo sporco.
 - › Basso coefficiente di dilatazione del collettore nelle temperature operative.
- Assorbitore: rappresenta l'elemento fondamentale nei pannelli piatti, attraverso il quale si produce la conversione della radiazione solare in energia termica e che fa circolare il fluido vettore.
 - Alloggiamento: elemento esteriore che protegge e supporta gli elementi di cui è composto il sistema.
 - Isolamento: materiale isolante (lana di vetro, polistirolo, poliuretano espanso) che protegge l'assorbitore dai lati o da dietro dalle eventuali perdite di conduzione.



Collettori solari a tubi sottovuoto: Si tratta di dispositivi formati da una a diverse decine di tubi di vetro all'interno dei quali è stato realizzato il vuoto. All'interno di ogni tubo, una piastra rettangolare assorbe la radiazione solare trasferendo calore al fluido vettore attraverso un tubo di rame a cui è saldata. Anche il suo funzionamento si basa sull'effetto serra prodotto quando la radiazione solare attraversa un vetro.

La differenza fondamentale dai pannelli piatti sta nella mancata necessità di materiale isolante, in quanto il vuoto stesso dei tubi elimina le perdite termiche all'esterno del vetro. Per questa ragione le sue prestazioni sono più elevate.

I collettori a tubi sottovuoto funzionano meglio e forniscono temperature più elevate rispetto ai collettori a pannelli solari piatti, poiché possono raggiungere temperature di esercizio vicine ai 100° C. Il loro campo di applicazione più comune è il riscaldamento dell'acqua per i processi industriali. Sono più costosi, meno robusti e il loro montaggio è più delicato e laborioso.

Panelli scoperti: il loro unico componente è l'assorbitore, che abbassa il prezzo e facilita il montaggio rispetto ad altri sistemi solari.

Questi sistemi hanno un rendimento inferiore rispetto ai collettori solari piani, quindi necessitano

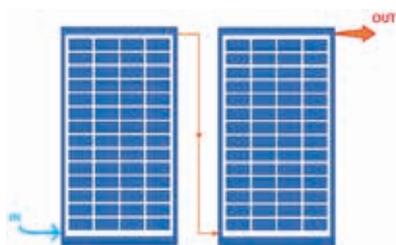
di una superficie di cattura della luce più ampia. Hanno anche l'inconveniente di soffrire di piccoli salti termici, quindi il loro utilizzo più diffuso è il riscaldamento delle piscine esterne.

Normalmente sono realizzati in polipropilene, essendo più modellabili quando si tratta di adattarli ai tetti.

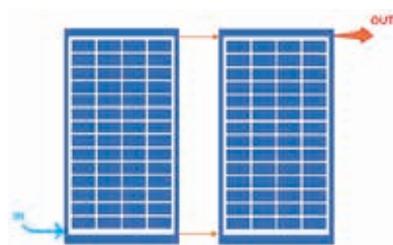
Collegamento dei pannelli: i diversi collettori che fanno parte di un impianto solare termico possono interconnettersi tra loro in serie o in parallelo.

La connessione in serie permette di raggiungere una temperatura più alta poiché lo stesso flusso d'acqua attraversa tutti i collettori durante il suo viaggio, ma si sacrifica l'efficienza poiché l'aumento della temperatura (differenza di temperatura tra il punto di entrata e di uscita dell'acqua al collettore) è sempre più lento.

La disposizione parallela permette di avere portate totali maggiori, tenendo conto della somma delle singole portate che passano per ogni ramo di collettori. Le perdite di portata devono essere valutate e corrette (utilizzando regolatori di flusso o sistemi di ritorno inverso) per garantire che siano le stesse nei diversi percorsi dell'acqua, in modo che l'installazione sia bilanciata.

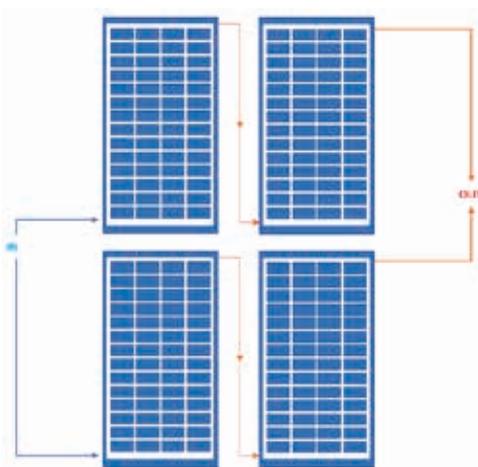


Connessione dei pannelli in serie



Connessione dei pannelli in parallelo

Esiste anche la possibilità di una connessione mista serie-parallela dei pannelli che permette di ottenere i vantaggi di entrambi sistemi.



Connessione mista dei pannelli

Serbatoio di accumulo: immagazzina l'acqua calda dai collettori per un uso successivo.

La sua funzione principale è quella di mantenere l'energia termica dell'acqua con minori perdite e il più a lungo possibile, è logico supporre che la sua caratteristica principale sia il suo livello di isolamento. Si consiglia, per quanto possibile, di evitare la sua installazione in aree esterne, per contribuire il più possibile ad un minor scambio di calore con l'ambiente.

Come regola generale, dovrebbe essere scelto un serbatoio con un volume di accumulo in litri simile al consumo giornaliero stimato di acqua calda. È anche possibile collegare tra loro più serbatoi, ottenendo così una maggiore capacità.

Sebbene sia necessario calcolare le esigenze di ogni installazione, un valore medio di 70 litri per metro quadrato di collettore solare è generalmente considerato come un volume di accumulo ottimale. In ogni caso, a titolo indicativo, spesso si consigliano volumi di immagazzinamento differenti in base al maggiore o minore tempo tra il momento del consumo e il momento dell'acquisizione:

- › In caso di coincidenza tra il tempo di generazione e il tempo di consumo = da 35 a 50 l / m² di collettori solari. Questo tipo di divergenza è tipico in ambienti industriali, uffici, scuole...
- › Per divergenze inferiori a 24 ore = da 60 a 90 l / m² di collettori solari. Questa è la tipica situazione che si può trovare nelle case o negli hotel.
- › Per divergenze maggiori di 24 ore e inferiori a 72 ore = da 75 a 100 l / m² di collettori solari.

Scambiatore di calore: consente il trasferimento del calore tra fluidi separati senza contatto tra di loro. Ciò consente ai collettori solari di utilizzare fluidi diversi dall'acqua, come ad esempio liquidi con componente anticongelante, evitando problemi di congelamento o di ebollizione.

Questo sistema suppone una diminuzione delle prestazioni generali, derivanti da perdite nel processo di scambio termico (quanto più efficiente è lo scambiatore minori risultano le perdite) e un maggiore costo di installazione.

Per ottenere un calcolo approssimativo della potenza minima di uno scambiatore di calore indipendente, è necessario considerare le sue condizioni operative nelle ore centrali della giornata, la superficie di assorbimento esistente e una resa di conversione dell'energia solare in calore del 50%.

$$P = I \times 0,5 \times SC$$

Essendo:

P = Minima potenza dello scambiatore (W)

I = Valore massimo di irraggiamento solare diario (W/m²)

SC = Superficie di assorbimento solare (m²)

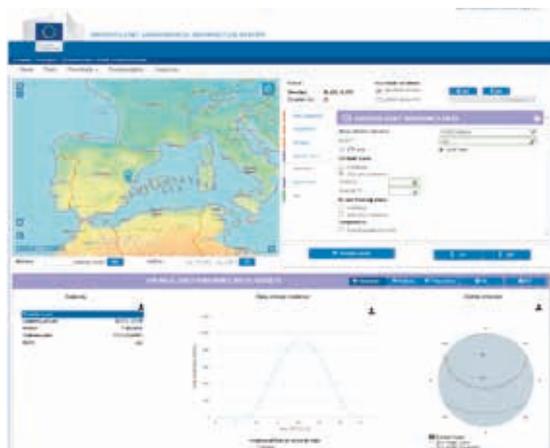
Così ad esempio, prendendo come esempio un valore di irraggiamento solare pari a 900 W/m² presente alle ore 12:00 di mezzogiorno (mese di luglio) in una città soleggiata come Valencia (Spagna) con una superficie di assorbimento di 50 m², la potenza minima ideale per lo scambiatore sarebbe di:

$$P = I \times 0,5 \times SC$$

$$P = 900 \times 0,5 \times 50$$

$$P = 22,5 \text{ kW}$$

I valori medi di irraggiamento solare sono stati ottenuti usando lo strumento online "Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)" della Commissione Europea, che offre numerosi dati e simulazioni valide per la progettazione e rendimento delle installazioni di energia solare in qualsiasi luogo di Europa. (Joint Research Centre (JRC), European Commission, 2020)



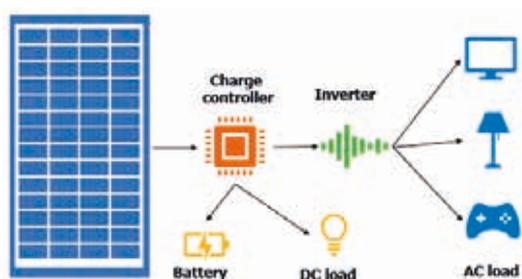
Fonte: (Joint Research Centre (JRC), European Commission, 2020)

ENERGIA SOLARE FOTOVOLTAICA. ELEMENTI DI UNA INSTALLAZIONE

I componenti principali di un impianto solare fotovoltaico sono:

- › **Generatore fotovoltaico:** trasforma l'energia solare in energia elettrica.
- › **Regolatore:** controlla i processi di caricamento e scaricamento della batteria.
- › **Batteria:** accumula l'energia generata dal sistema FV per adattarla alla domanda.
- › **Inverter:** converte l'energia generata in corrente continua nell'energia corrente alternata.

Il pannello fotovoltaico riceve la luce solare e la trasforma, per effetto fotoelettrico, in energia elettrica continua. L'energia elettrica viene convogliata al regolatore, che decide se inviarla direttamente a consumo continuo, immagazzinarla nelle batterie o inviarla a consumi alternati dopo aver attraversato l'inverter.



Un impianto fotovoltaico può essere collegato alla rete o funzionare isolato.

Un sistema fotovoltaico isolato o autonomo è un sistema di autoalimentazione che sfrutta l'irraggiamento solare per generare l'energia elettrica necessaria nella fornitura di una struttura.

Alcuni dei suoi usi più comuni sono:

- › Apparecchiature di telecomunicazione in zone difficilmente raggiungibili dalla rete elettrica
- › Segnaletica marittima e terrestre (segnaletica stradale, portuale...). Alimentazione di strutture isolate
- › Alimentazione per il pompaggio dell'acqua nei pozzi lontani dalla rete fognaria
- › Elettificazione delle case isolate
- › Illuminazione stradale

Un sistema fotovoltaico connesso alla rete: Un generatore fotovoltaico accoppiato ad un inverter che opera in parallelo alla rete elettrica convenzionale, riversandovi l'energia generata. Questo sistema per funzionare oltre al generatore fotovoltaico e all'inverter richiede altri componenti aggiuntivi:

- › **Quadro di protezione:** Serve affinché l'energia elettrica immessa in rete abbia tutte le caratteristiche da essa richieste, secondo le condizioni di qualità imposte dal gestore. Inoltre, in caso di un guasto, impedisce all'impianto fotovoltaico di interferire con la rete.
- › **Contatore dell'energia bidirezionale:** In grado di misurare il flusso di energia in entrambi i modi, quando l'impianto genera energia e quando consuma. Fornisce dati sia sull'energia consumata che sull'energia disponibile per la vendita al mercato elettrico.

Alcuni altri concetti e definizioni da menzionare, relativi alla generazione solare fotovoltaica sono:

Cella solare: un dispositivo che trasforma l'energia solare in energia elettrica. Un insieme di celle solari interconnesse e incapsulate per la protezione dagli agenti atmosferici forma un modulo fotovoltaico.

Potenza di picco: potenza massima che un modulo fotovoltaico può fornire in **condizioni di misurazione standard** (irraggiamento 1000 W / m²; distribuzione spettrale AM 1,5 G; cella ta 25°C; incidenza normale).

(IDAE, 2009)

PROGETTAZIONE DI BASE DEI SISTEMI

ENERGIA SOLARE TERMICA, CALCOLO DEL FABBISOGNO ENERGETICO

Il primo passo necessario per la progettazione di un impianto di energia solare termica è, logicamente, conoscere il fabbisogno energetico che deve essere soddisfatto dall'installazione.

Il fabbisogno energetico è determinato sia dal consumo di acqua sia dalla temperatura dell'acqua che si vuole raggiungere, a seconda della specie o della fase di crescita in cui si trova. È inoltre importante tenere in considerazione la temperatura in ingresso dell'acqua fredda, in quanto determinerà il salto termico necessario e quindi il preciso apporto energetico.

Il calcolo verrà effettuato per ogni mese dell'anno sia per la diversa che per l'eventuale differenza di temperatura dell'acqua in ingresso.

$$Q = C_e \times m \times (t^{a\text{out}} - t^{a\text{in}}) \times n$$

Essendo:

Q = Consumo energetico (kcal/month) Nota: kcal / 860 = kWh

m – Massa di volume di acqua da scaldare (kg). Per effetto di calcolo si considera 1 l x 1 kg

C_e = Calore specifico dell'acqua = 1 kcal/kg °C

T^{a in} = Temperatura di acqua in entrata (°C)

T^{a out} = Temperatura di acqua in uscita (°C)

n = Numero dei giorni del mese studiato

T^{out} = temperatura finale dell'acqua (°C)

ENERGIA SOLARE FOTOVOLTAICA. CALCOLO DEL FABBISOGNO ENERGETICO E DIMENSIONAMENTO

Nel dimensionamento di un impianto fotovoltaico si deve tener conto della natura e dell'entità del consumo di energia elettrica. I fattori principali per la valutazione sono:

Potenza (W): Ottenuta dalle caratteristiche di ogni elemento di consumo. È importante anche sapere se il carico consuma continuamente o alternativamente, poiché ciò dipenderà dal fatto che si disponga o meno di un inverter.

Ore di funzionamento giornaliere (h): Moltiplicando questi dati per la potenza si ottengono i wat-tora richiesti dal carico totale nel corso di una giornata.

Autonomia prevista: Si riferisce ai giorni in cui si prevede un decremento o non ci sarà alcuna generazione da parte dell'impianto, e che devono essere presi in considerazione nel dimensionamento delle batterie. Il fattore determinante nel processo di generazione di energia è il volume delle perdite di sistema. Le principali perdite sono:

- › **Perdite dovute al mancato rispetto della potenza nominale:** La potenza nominale dei moduli è riferita a condizioni standard quindi esiste un certo grado di variabilità. La scheda tecnica del produttore dei moduli fotovoltaici ci informerà della percentuale di variazione (in generale è solitamente inferiore a $P \pm 3\%$).
- › **Perdite di connessione:** causate dal collegamento di moduli fotovoltaici di potenze leggermente diverse.
- › **Perdita di polvere / sporco:** la presenza di sporco uniforme determina una diminuzione della corrente e della tensione erogate dal generatore fotovoltaico, mentre lo sporco localizzato (come escrementi di uccelli) può produrre lo stesso effetto delle perdite di connessione e, inoltre, produrre ciò che sono chiamati "punti caldi" in cui le celle ombreggiate consumano parte della potenza generata da altre celle, provocando un riscaldamento indesiderato e possono rompersi per surriscaldamento, se mancano di diodi protettivi.
- › **Perdite angolari e spettrali:** Durante il normale funzionamento dell'impianto né l'incidenza della radiazione né lo spettro sono stabili, né vengono mantenuti nelle condizioni standard valori presi in considerazione per la fabbricazione dei pannelli. La variazione dello spettro solare in un dato momento dallo spettro normalizzato può influenzare la risposta delle celle fotovoltaiche con conseguenti guadagni o perdite di energia.
- › **Perdite di cablaggio:** perdite per caduta di tensione. Sono ridotti al minimo con un corretto dimensionamento del conduttore.
- › **Perdite di temperatura:** circa il 4% per 10°C di aumento della temperatura di esercizio.
- › **Perdite dovute alle prestazioni dell'inverter:** per la potenza di esercizio è necessario selezionare apparecchiature con buone prestazioni.
- › **Perdite di prestazioni della batteria:** perdite di energia (principalmente calore) durante i processi di carico / scarico di sostanze chimiche.
- › **Perdite per orientamento, inclinazione e ombre:** (vedere nelle sezioni successive)

La somma totale delle perdite implica il non sfruttamento di un'alta percentuale di energia generata. Tipici valori di prestazione energetica dell'impianto o "performance ratio" (PR) sono, nei sistemi con inverter $PR = 0,7$, nei sistemi con inverter $PR=0.7$ e nei sistemi con inverter e batteria $PR=0.6$. (IDAE, 2009)

Per le **dimensioni del generatore**, si può procedere nel seguente modo:

La **potenza picco** può essere calcolata così:

$$P_{mp, min} = \left(\frac{E_D \times G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \times PR} \right)$$

Essendo:

$P_{mp, min}$ = Potenza picco minima del generatore

E_D = Consumo espresso kWh/giorno

G_{CEM} = 1 kW/m²

$G_{dm}(\alpha, \beta)$ = Energia incidente kWh/m² (vedere sezioni successive)

PR = Perdite "performance ratio"

In ogni modo, si deve tener presente che:

$$P_{mp, min} = 1,2 \times P_{mp, min}$$

Per il calcolo del numero di pannelli, a seconda delle ore di punta solare (HPS) possiamo.

$$N = \frac{E}{\eta_{comb} \times W_p \times HPS}$$

Essendo:

E = Consumo elettrico stimato.

η_{comb} = Performance della installazione fotovoltaica considerato tutte le perdite. Come si è visto nella sezione delle perdite, questo valore potrà variare da 70% a 75%

W_p = Potenza picco dei pannelli considerati

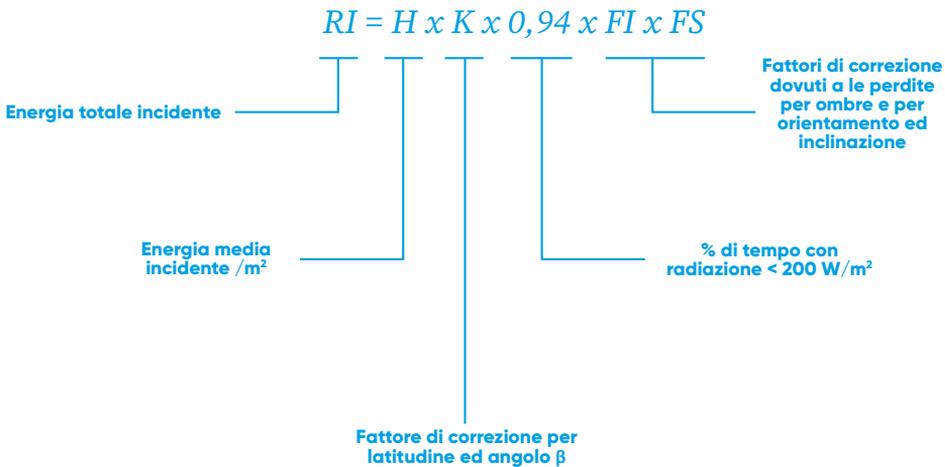
HPS = Ore picco solari. Questo valore si ottiene a partire dalla relazione:

$$HPS = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta)}{G_{CEM}}$$

ENERGIA SOLARE TERMICA E FOTOVOLTAICA, ENERGIA INCIDENTE SU UNA SUPERFICIE

L'apporto di energia solare all'impianto varia a seconda del periodo dell'anno, del luogo di collocazione dell'impianto (latitudine) e dell'angolo di inclinazione dei pannelli captatori. Dovrebbe essere presa in considerazione anche una serie di correzioni delle perdite.

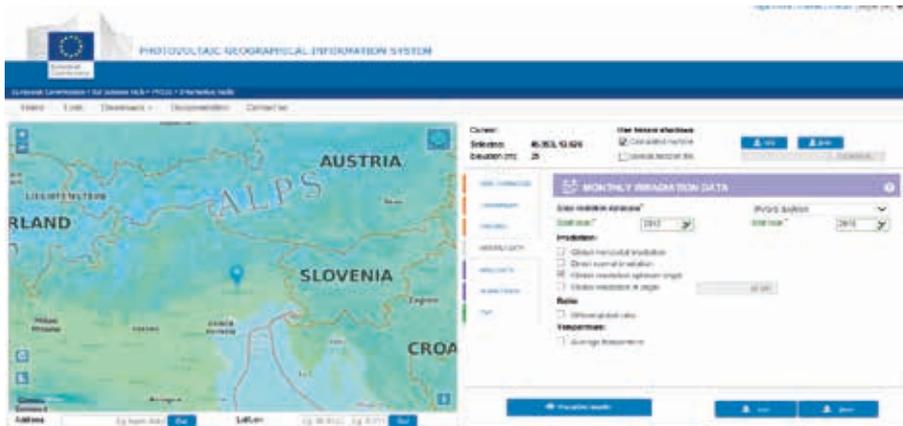
Tradizionalmente viene considerato che:



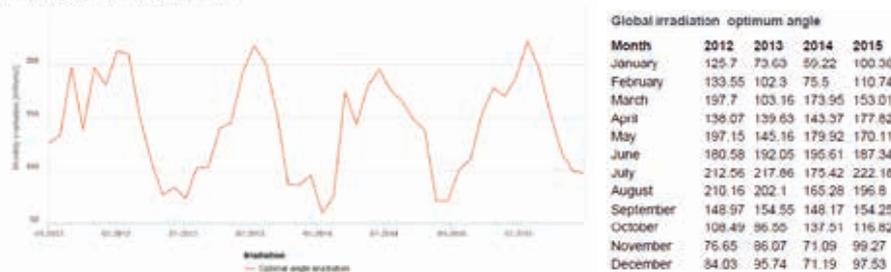
Nella formula i dati relativi all'Energia media incidente per superficie sono stati ottenuti da tabelle specifiche per ogni mese e zona, nonché il valore del fattore di correzione K che può essere ottenuto per ogni mese dell'anno dalla tabella corrispondente alla latitudine alla quale si trova l'impianto.

Tuttavia, gli attuali strumenti online come il "Photovoltaic Geographical Information System (PV-GIS)" annotato dalla Commissione europea ci consentono di ottenere dati di irraggiamento kWh / m² dall'area geografica europea necessari con registrazioni per lunghi interventi temporali.

Abbiamo anche la possibilità di selezionare sia il grado di inclinazione considerato, sia il grado di inclinazione ottimale per il posizionamento dei ricevitori. Nelle immagini riportate di seguito a titolo di esempio, è possibile vedere i dati relativi all'energia incidente per un periodo di tempo che va dal 2012 al 2015, in una località della Regione italiana del Friuli-Venezia Giulia.



Monthly solar irradiation estimates



Fonte: (Joint Research Centre (JRC), European Commission, 2020)

ENERGIA SOLARE TERMICA E FOTOVOLTAICA: ORIENTAMENTO, INCLINAZIONE E OMBRE

Orientazione ed inclinazione: In generale, si considera che l'orientamento o l'azimut ottimale per i collettori solari che non dispongono di un sistema di inseguimento solare automatico corrisponda all'orientamento rivolto a sud ($\alpha 0^\circ$).

L'inclinazione, però, dipende sia dall'ubicazione geografica dell'impianto che dal profilo del suo utilizzo durante l'anno. È generalmente accettato che per l'installazione durante tutto l'anno, l'inclinazione deve corrispondere alla latitudine geografica del luogo in cui è installato.

- › Uso di installazioni annuali costanti: Collettori inclinabili = latitudine geografica
 $b = \text{latitudine}$
- › Uso preferito dell'installazione in estate: collettori inclinabili = latitudine $- 10^\circ$
 $b = \text{latitudine} - 10$
- › Uso preferito dell'installazione in inverno: collettori inclinabili = latitudine $+ 10^\circ$
 $b = \text{latitudine} + 10$

La percentuale delle perdite che un collettore ha a causa del suo orientamento e inclinazione può essere stimato dalla seguente espressione:

Perdite (%) for $15^\circ < \beta < 90^\circ$

$$100 \times [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \alpha^2]$$

Perdite (%) for $\beta < 15^\circ$

$$100 \times [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{opt})^2]$$

Essendo:

a Orientamento o azimut dei collettori

β = Inclinazione dei collettori

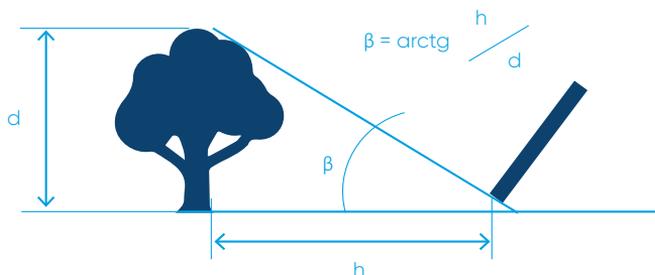
β_{opt} - Inclinazione ottimale dei collettori, in base alla latitudine e al profilo di utilizzo

L'esistenza di qualsiasi tipo di ombra sulla superficie del collettore causa una significativa perdita di efficienza del sistema. In generale, si dovrebbe garantire che, sia la distanza dagli edifici e dagli oggetti, sia la separazione tra i collettori stessi, siano sufficienti per impedire che l'ombra proiettata raggiunga l'inizio di qualsiasi fila di collettori, a mezzogiorno solare nel giorno più sfavorevole (il giorno con l'altezza solare minima): l'ombra proiettata non deve raggiungere l'inizio di nessuna fila di collettori o porzione degli stessi.

La procedura che permette di calcolare la percentuale di perdite dovute alle ombre, parte di un diagramma delle traiettorie del sole (specifiche per ogni area geografica) sopra il quale si disegnano gli oggetti, edifici, ecc. che si trovano di fronte ai collettori e che possono impedire il passaggio della radiazione solare in un dato momento.

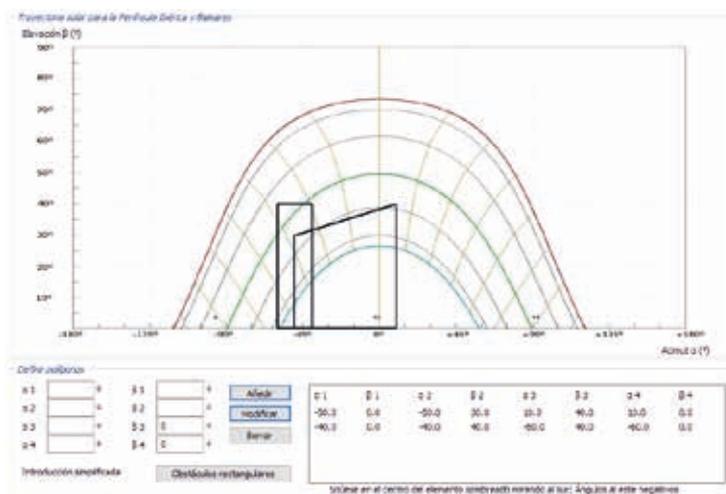
L'elevazione (β) corrisponde all'angolo di inclinazione rispetto al piano orizzontale mentre l'azimut (α) indica l'angolo di deviazione dalla direzione sud, indicato come 0° (gli angoli ad est corrispondono a valori negativi).

Per conoscere l'angolo di elevazione dei volumi da disegnare sul diagramma del percorso del sole è necessario conoscere sia la distanza in linea retta dall'oggetto da rappresentare, sia la differenza di altezze tra ogni punto rappresentato ed il piano di installazione dei collettori. L'elevazione (β) corrisponde all'angolo del triangolo formato:



Una volta noti l'angolo di elevazione e la deviazione da sud (azimut), l'oggetto che può creare ombra sulla superficie dei collettori può essere rappresentato punto per punto nel diagramma del percorso del sole.

Come si può vedere nell'immagine risultante mostrata di seguito, i volumi degli ostacoli riflessi sul diagramma interessano solo alcuni quadranti in tutto o in parte. Ciascuno di questi quadranti rappresenta il percorso del sole in un dato periodo di tempo, quindi ognuno di essi ha un grado di influenza o "peso" sulla perdita totale.



Fonte: Software CE3X Certificado energetico per edifici esistenti v2.3 (Ministero per la transizione ecologica e la sfida demografica, Gobierno de España, 2020)

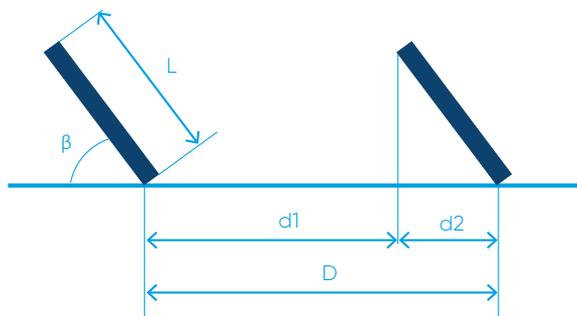
Le tabelle di riferimento (specifiche per l'angolo di inclinazione e l'orientamento in cui si trovano i nostri pannelli captatori) vengono utilizzate per determinare questo peso, con la somma di tutti quei pesi che è la percentuale di perdite dovute all'ombra. D'altra parte, la presenza di oggetti o l'installazione di pannelli in file parallele può provocare la proiezione di ombre sul bacino di raccolta, con conseguente perdita delle prestazioni di installazione. Per evitare ciò, i raccoglitori devono essere sufficientemente separati l'uno dall'altro, nonché separati dagli oggetti vicini che possono proiettare ombre su di loro. Il calcolo per conoscere **la distanza minima di separazione tra le file dei collettori** è la seguente:

$$d1 = \frac{L \times \sin\beta}{\operatorname{tg}(H_{\min})}$$

$$d1 = L \times \cos\beta$$

$$D = d1 + d2$$

H_{\min} = altezza minima solare



Source: (IDAE, 2009)

Dati per il calcolo:

- > - Altezza del collettore (L) in metri
- > - Inclinazione dei collettori in gradi (β)
- > - Profilo di utilizzo delle strutture (estate, inverno o tutto l'anno):

a) Strutture annuali o invernali, il giorno più sfavorevole è il 21 dicembre e l'altezza solare minima a mezzogiorno solare è:

$$H_{\min} = 90^{\circ} - \text{latitudine del luogo} - 23^{\circ}27'$$

b) Strutture estive, i giorni più sfavorevoli sono il 21 marzo e il 21 settembre e l'altezza solare minima a mezzogiorno solare è:

$$H_{\min} = 90^{\circ} - \text{latitudine del luogo}$$

MINI-IDROELETTRICA

L'approvvigionamento continuo di acqua corrente di qualità rappresenta un'esigenza fondamentale in vari tipi di impianti di acquacoltura. Così, ad esempio, per lo sviluppo di specie come la trota è necessario avere un flusso continuo di acqua di qualità, il che implica avere una risorsa continua che può essere utilizzata per la produzione di energia idraulica nello stesso impianto di acquacoltura.

L'energia mini-idraulica sfrutta l'energia potenziale di un salto d'acqua per generare elettricità attraverso una piccola turbina. È possibile realizzare un canale artificiale per la deviazione di una parte del flusso e la realizzazione di un piccolo salto in grado di fornire le condizioni di lavoro necessarie alla turbina.

Stramazzo: Barriera muro sul corso del fiume che causa un piccolo ristagno d'acqua.

Salto lordo: altezza tra il punto di presa dell'acqua dello stramazzo e il punto di scarico nel fiume.

Salto utile: dislivello tra la superficie priva di acqua nella camera di carico e il livello di scarico nella turbina.

Salto netto: il salto netto è definito come la differenza tra il salto utile e le perdite di carico causate da attrito, turbolenza, cambi di sterzata.

Tipologie di turbine: Esistono diversi tipi di turbine la cui scelta dipenderà dalla portata e dal salto d'acqua disponibile, a seconda della curva di prestazione di ogni modello. Alcuni dei più comuni sono i seguenti:

- › Turbine Kaplan: sono tra i tipi di turbina più efficienti. Sono adatti per piccole cascate e portate variabili.
- › Turbine Francis: utilizzate con salti di media altezza e discrete variazioni di flusso.
- › Turbine Pelton: adatte per salti alti. Il design delle lame o dei cucchiai si basa sul funzionamento dei vecchi mulini ad acqua.



Barriere nei fiumi europei

Nonostante l'innegabile utilità delle barriere artificiali ai corsi dei fiumi nel corso della storia (esistono ancora e sono funzionali giacimenti romani come Proserpine a Merida, Spagna), l'elevato numero di barriere attualmente nei fiumi europei (stimato in oltre un milione) ha un grave impatto sugli ecosistemi e sulle specie come il salmone atlantico, lo storione o l'anguilla. In conformità alla direttiva quadro sulle acque (direttiva 2000/60 / CE) sono attualmente in corso sforzi significativi per il ripristino dei fiumi. (MITECO, 2016) Progetti europei come AMBER (Adaptative Management of Barriers in European Rivers) permetteranno di conoscere e valutare migliaia di questi ostacoli generalmente in disuso e che, in molti casi, non sono inclusi negli inventari o nei registri ufficiali. (Commissione europea, 2019)



Tra i vantaggi dell'utilizzo di mini-energia idraulica ci sono i seguenti:

- › È una risorsa rinnovabile.
- › È costantemente disponibile, fintanto che la portata rimane stabile.
- › Basso impatto ambientale

I suoi svantaggi includono:

- › Costi di investimento e opere civili
- › Procedure amministrative e burocratiche
- › Aspetti normativi e condizioni di accesso alla rete

Stima della potenza installata

I parametri principali per impostare la potenza disponibile sono la portata d'acqua e il salto esistente. La potenza installata può essere impostata dalla seguente espressione:

$$P = 9,81 \times Q \times H_n \times e$$

Essendo :

P - Potenza in kW

Q - Portata in m^3/s

H_n - Salto netto esistente in metri.

e - Fattore di efficienza dell'impianto. Questo fattore è ottenuto dal prodotto dei rendimenti delle apparecchiature coinvolte nella produzione di energia (turbina, generatore e trasformatore di uscita). Un valore di circa 0,85 può essere considerato per le apparecchiature attuali. La produzione di energia in kWh, a condizione che venga mantenuta la portata costante, si ottiene semplicemente moltiplicando la potenza installata per il tempo di funzionamento.

(IDAE, 2006)

Per il completamento del calcolo di cui sopra, il valore della portata d'acqua è l'elemento che presenta la maggiore difficoltà in termini di quantificazione.

Da un tratto di distanza noto c'è un riferimento che galleggia nell'acqua e calcola il tempo impiegato dall'oggetto per percorrere quella distanza, che ci dà la velocità alla quale scorre il flusso d'acqua.

Dai dati ottenuti dalla velocità e dalla stima della sezione trasversale, si ricava il valore corrispondente alla portata dall'espressione: $Q (m^3 / s) = \text{Sezione} (m^2) \times \text{Velocità} (m / s)$.

ENERGIA EOLICA

Una turbina eolica è un meccanismo che trasforma l'energia cinetica del vento in energia meccanica di rotazione attraverso le sue pale e viene utilizzata per la produzione di energia elettrica tramite un generatore.

Una turbina eolica richiede una velocità minima del vento per attivarsi e funzionare e si ferma per motivi di sicurezza quando tale velocità supera una determinata soglia. Gli intervalli di utilizzo abituale delle turbine eoliche sono compresi tra $5 m / s$ e $25 m / s$, essendo in grado di fornire la loro potenza nominale con velocità del vento intorno a $12 m / s$.

Sebbene esistano diversi tipi di turbine eoliche, la maggior parte sono attualmente apparecchiature orizzontali a tre pale, le apparecchiature multipala possano essere trovate in piccoli impianti di produzione.

In generale, gli impianti domestici o di microgenerazione hanno potenze installate inferiori a 20 kW mentre gli impianti di potenza superiore a 200 kW si trovano principalmente nei parchi eolici. L'intera gamma di potenze intermedie (tra 20 kW e 200 kW) è costituita dai cosiddetti impianti di mini generazione, destinati sia all'autoconsumo che alla produzione e vendita di energia elettrica.

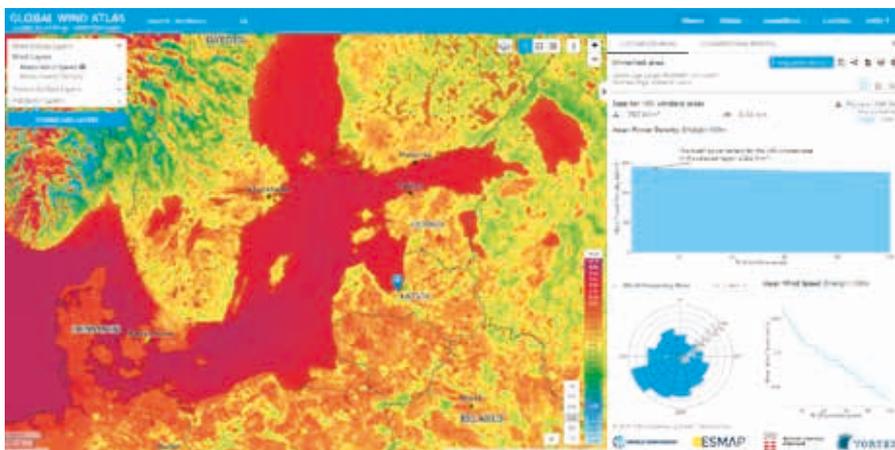
Alcune delle condizioni di rendimento di un impianto eolico includono:

Altezza e posizione geografica dell'aerogeneratore: Considerando che la velocità del vento aumenta con l'altezza e che la sua distribuzione varia notevolmente da una zona all'altra.

Limite di Betz: prestazioni massime di trasformazione dell'energia eolica in meccanica che possono essere raggiunte, indipendentemente dalla tipologia della turbina. È fissato al 59%.

Distribuzione Weibull: distribuzione statistica della frequenza delle velocità del vento per una data posizione. È rappresentato come un istogramma che mostra la probabilità di avere una velocità del vento in una data posizione.

Attualmente esistono gli strumenti come ad esempio la piattaforma online "Global Wind Atlas" capaci di offrirci dati e fornire simulazioni di produzione della energia eolica per diversi scenari geografici, come ad esempio le variazioni di altezza e differenti caratteristiche di turbine.



Fonte: (Global Wind Atlas, 2020) "Global Wind Atlas 3.0, un'applicazione gratuita basata sul web sviluppata, posseduta e gestita dalla Technical University of Denmark (DTU). Il Global Wind Atlas 3.0 viene rilasciato in collaborazione con il World Bank Group, utilizzando i dati forniti da Vortex, utilizzando i finanziamenti forniti dal Programma di assistenza per la gestione del settore energetico (ESMAP). Per ulteriori informazioni: <https://globalwindatlas.info>".



10. FATTIBILITÀ DI UN PROGETTO E RITORNO DELL'INVESTIMENTO

ROI (Ritorno dell'investimento): è un indicatore ottenuto dal rapporto tra investimento e risparmio ottenuto. Permette di conoscere in modo semplice il periodo di tempo necessario per recuperare in toto un investimento.

NPV (Valore attuale netto): rappresenta il valore dei profitti guadagnati in tutte le fasi del progetto. In modo semplice, rappresenta la quantità di denaro che un potenziale investitore guadagnerebbe oggi se decidesse di intraprendere il progetto.

IRR (Tasso interno di rendimento): questo indicatore fornisce informazioni percentuali sul rendimento di un investimento.

ESEMPIO DI CALCOLO. STUDIO DI FATTIBILITÀ ECONOMICA

I principali dati di partenza sono:

- › Il costo economico della misura di risparmio energetico da implementare.
- › Risparmio energetico annuo previsto.
- › Risparmio economico annuo atteso, basato sul prezzo dell'energia.
- › L'aumento annuo stimato del prezzo dell'energia.
- › I tassi di sconto.

Supponiamo, a titolo di esempio, la seguente situazione:

si intende sostituire l'illuminazione di un laboratorio, attualmente composta da un totale di 10 apparecchi a vapori di mercurio da 250 W con apparecchi di tipo LED da 80 W di potenza. In laboratorio l'illuminazione è in funzione per circa 2.000 ore all'anno. Il costo unitario delle nuove cappe di illuminazione a LED è di 100 euro e il prezzo dell'energia elettrica kWh è di 0,12 s/kWh.

N.B. i costi energetici utilizzati negli esempi sono riferiti al periodo precedente l'anno 2020, come pure le stime degli incrementi degli stessi costi energetici.

Con questi dati determiniamo il risparmio energetico ed economico che potremmo ottenere implementando la misura del risparmio:

Situazione attuale:

10 apparecchi x 0,250 kW x 2.000 ore di funzionamento = 5.000 kWh all'anno
5.000 kWh / anno x 0,12 s / kWh x 600 s/anno

Situazione prevista:

10 apparecchi x 0,080 kW x 2.000 ore di funzionamento = 1.600 kWh all'anno
1.600 kWh / anno x 0,12 s / kWh s 192 s / anno

Il risparmio energetico è quindi di 3.400 kWh all'anno che si traduce in 408 euro all'anno.

Poiché l'investimento da fare è di 100 x 10 x 1.000 euro, una semplice divisione ci offre il semplice periodo di ritorno del nostro investimento che è di circa due anni e mezzo.

PRS= 1.000 euro di investimento / 408 euro all'anno di risparmio - 2,45 anni.

Sebbene questo calcolo possa servire come approssimazione, è eccessivamente semplice quando si tratta di eseguire azioni più elevate. Per un calcolo leggermente più dettagliato, che daremo come esempio su un orizzonte di 10 anni, avremo bisogno anche dei seguenti dati:

- › **Aumento annuo stimato del prezzo dell'energia.** Per conoscere questi dati, dovremo ricorrere alle previsioni esistenti dei prezzi energetici nel futuro. Ad esempio, ipotizzeremo un aumento annuo dell'1% del prezzo dell'elettricità.
- › **Tasso di sconto.** Rappresenta il valore corrente di un pagamento futuro. Potrebbe essere definito come il costo delle risorse finanziarie che l'investimento comporta. Cioè, nel caso

di finanziamento dell'investimento tramite un finanziamento bancario, il valore che assegneremo al tasso di sconto dovrà essere il tasso di interesse di quel prestito mentre, se il finanziamento viene effettuato con risorse proprie, il valore che dovremo assegnare a esso sarà - almeno - quello del ritorno che avremmo ottenuto facendo quell'investimento in un altro prodotto in un lasso di tempo simile. Nel nostro esempio prenderemo un valore del 4%.

Dati iniziali:

Concetto	Valore
Costo di investimento	1.000,00 €
Risparmio energetico	3.400,00 kWh/anno
Risparmio economico	408,00 €/anno
ROI	2,45 anni
Aumento annuo di energia	1 %
Tasso di sconto	4 %

Anche i **costi di installazione e di manutenzione** dovrebbero essere presi in considerazione nella sezione dei costi. Per il nostro esempio considereremo un unico costo di installazione iniziale pari al 10% del costo totale dell'investimento totale e costi di manutenzione (preventivi, correttivi, pulizie...) del 5% dell'investimento totale annuo ogni due anni. I costi sono quindi suddivisi come segue

Anno	Investimento (€)	Costi di installazione (€)	Costi di manutenzione (€)	Costi totali (€)
0	1000	100		1.100
1			50	50
2				
3			50	50
4				
5			50	50
6				
7			50	50
8				
9			50	50
10				

Il calcolo dei **ricavi realizzati** mette in relazione i risparmi economici attesi all'aumento annuo del prezzo dell'energia e al tasso di sconto per un dato anno, come segue:

$$I = A \times \left(\frac{(E)^{n-1}}{(Td)^n} \right)$$

Essendo:

A = Risparmio economico annuale

E = aumento annuale del prezzo dell'energia = (1 + aumento%)

Esempio: 1,05 significa un aumento del prezzo dell'elettricità del 5%

Td = Tasso di sconto

n = anno calcolato

Anno	Investimento (€)	Costi di installazione (€)	Costi di manutenzione (€)	Costi totali (€)	Entrata(€)	Bilancio (€)
0	1000	100		1.100	0	-1.100
1			50	50	392	342
2					381	381
3			50	50	370	320
4					359	359
5			50	50	349	299
6					339	339
7			50	50	329	279
8					320	320
9			50	50	310	260
10					301	301

Pertanto, il calcolo corrispondente per la colonna reddito per il quarto anno sarebbe il seguente:

$$I = A x \left(\frac{(E)^{n-1}}{(Td)^n} \right)$$

$$I = 408 x \left(\frac{(1,01)^3}{(1,04)^4} \right)$$

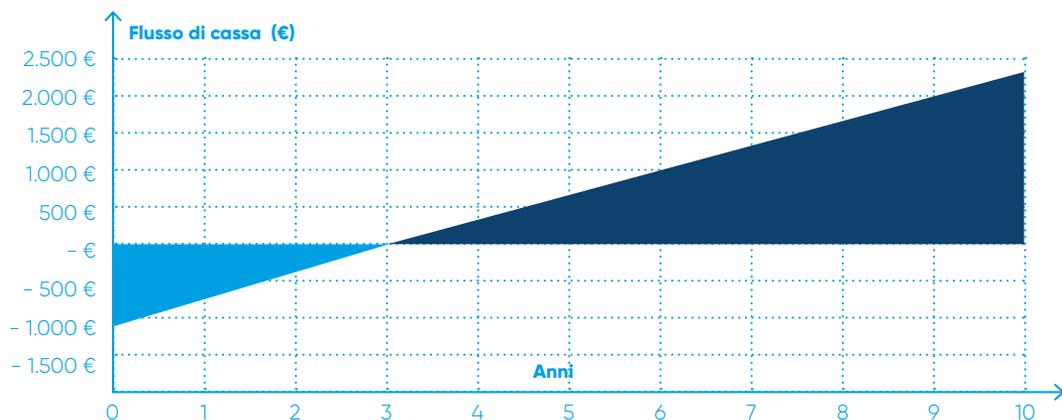
$$I = 359,32$$

Il **bilancio**, invece, si ottiene dalla semplice sottrazione tra costi e ricavi. Infine, il flusso di cassa accumulato sarà ottenuto dalla somma del valore del flusso di cassa dell'anno precedente e del valore di bilancio dell'anno in corso. Il valore NPV corrisponderà all'ultimo valore del flusso di cassa

Anno	Investimento (€)	Costi di installazione (€)	Costi di manutenzione (€)	Costi totali (€)	Reddito (€)	Bilancio (€)	Flusso di cassa accumulato (€)
0	1000	100		1.100	0	-1.100	-1.100
1			50	50	392	342	-758
2					381	381	-377
3			50	50	370	320	-57
4					359	359	303
5			50	50	349	299	602
6					339	339	940
7			50	50	329	279	1.220
8					320	320	1.539
9			50	50	310	260	1.800
10					301	301	2.101

NPV

Come si può vedere nell'esempio di calcolo, l'investimento iniziale più il resto dei costi considerati verrà recuperato a partire dal terzo anno e, dopo 10 anni, l'investimento avrà generato complessivamente 2.101 euro.



CRITERI DECISIONALI. CALCOLO DELL'IRR (TASSO INTERNO DI RENDIMENTO)

Sia l'IRR che il NPV sono indicatori che ci permetteranno di valutare il ritorno su un investimento, ma mentre il NPV ci fornisce un dato netto assoluto, l'IRR ci offre un valore percentuale. Sarà auspicabile avere un valore elevato dell'NPV che, ovviamente, deve essere sempre sopra lo zero affinché ci sia una redditività del progetto. Il tasso di rendimento interno (IRR) può essere inteso come l'interesse massimo sul debito ammissibile al finanziamento di un progetto. In generale, il valore dell'IRR dovrebbe essere maggiore del valore del tasso di sconto. Il valore dell'IRR è complesso da calcolare, quindi viene comunemente utilizzato l'uso di fogli di calcolo. Considerando che l'IRR è definito come "il tasso di sconto che eguaglia il NPV a zero" e che conosciamo il valore dell'NPV, il calcolo diventa un processo iterativo.

Per determinare quel valore per l'esempio precedente, il calcolo con l'ausilio di un foglio di calcolo sarebbe il seguente:

Anno	Costi totali (€)	Risparmio economico(€/anno)	Riduzione dei costi
0	1.100	0	-1100
1	50	408 €	358
2		408 €	408
3	50	408 €	358
4		408 €	408
5	50	408 €	358
6		408 €	408
7	50	408 €	358
8		408 €	408
9	50	408 €	358
10		408 €	408

**IRR
(valore1:
valore10)
= 32,4%**





BIBLIOGRAFIA

- › Cheol Young Choi, e. a. (2017). [ResearchGate](https://www.researchgate.net/publication/320578909_Effects_of_various_wavelengths_of_light_on_physiological_stress_and_non-specific_immune_responses_in_black_rockfish_Sebastes_schlegelii_subjected_to_water_temperature_change). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/320578909_Effects_of_various_wavelengths_of_light_on_physiological_stress_and_non-specific_immune_responses_in_black_rockfish_Sebastes_schlegelii_subjected_to_water_temperature_change
- › European Commission. (2019, 12). [Cordis. EU research results](https://cordis.europa.eu/project/id/689682/es). Retrieved from [Adaptative Management of Barriers in European Rivers: https://cordis.europa.eu/project/id/689682/es](https://cordis.europa.eu/project/id/689682/es)
- › EUROSTAT. (2019). [Electricity price statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics#Electricity_prices_for_non-household_consumers). Retrieved from https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics#Electricity_prices_for_non-household_consumers
- › FAO. (2018). [FAO. 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.](#)
- › FAO. (2020, 02). [2018 The state of the world fisheries and aquaculture](http://www.fao.org/state-of-fisheries-aquaculture/en/). Retrieved from <http://www.fao.org/state-of-fisheries-aquaculture/en/>
- › FAO. (2020, 02 15). [Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura](http://www.fao.org/news/story/es/item/471772/icode/). Retrieved from <http://www.fao.org/news/story/es/item/471772/icode/>
- › FEMEVAL y SGS. (n.d.). [La Eficiencia energética en el sector metalmecánico. Guía de buenas prácticas. FEMEVAL.](#)
- › [Global Wind Atlas](https://globalwindatlas.info/). (2020). Retrieved from <https://globalwindatlas.info/>
- › IDAE. (2006). [Minicentrales hidroeléctricas](#). Madrid: IDAE.
- › IDAE. (2007). [Guía Técnica. Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética en calderas](#). Madrid: IDAE.
- › IDAE. (2009). [Pliego de condiciones técnicas de instalaciones aisladas de red](#). Madrid.
- › IDAE. (2009). [Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura](#). Madrid.
- › IDAE. (2010). [Guía técnica – Diseño de centrales de calor eficientes](#). Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- › Joint Research Centre (JRC), European Commission. (2020). [Photovoltaic Geographical Information System \(PVGIS\)](https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis). Retrieved from <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- › Marcet, E. C. (n.d.). [UNA APROXIMACIÓN A LA PROBLEMÁTICA DE LAS PÉRDIDAS DE AGUA EN REDES URBANAS](#).
- › Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, Gobierno de España. (2020). [Energía y desarrollo sostenible](https://energia.gob.es/development/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx). Retrieved from <https://energia.gob.es/development/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx>
- › MITECO. (2016, 12). [Centro Nacional de Educación Ambiental \(CENEAM\)](https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/carpeta-informativa-del-ceneam/novedades/barreras-rios-europeos.aspx). Retrieved from [Más de 1 millón de barreras en los ríos europeos, más de 25.000 en España: https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/carpeta-informativa-del-ceneam/novedades/barreras-rios-europeos.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/carpeta-informativa-del-ceneam/novedades/barreras-rios-europeos.aspx)
- › TESTO. (2020, 03). [Academia online Testo](http://www.academiatesto.com.ar). Retrieved from <http://www.academiatesto.com.ar>

Finito di stampare nel novembre 2022
da Cierre Grafica
via Ciro Ferrari 5, Caselle di Sommacampagna, Verona
www.cierrenet.it



www.eweasproject.eu



www.acquacoltura.org



www.politicheagricole.it



Il sostegno della Commissione europea alla produzione di questa pubblicazione non costituisce un'approvazione del contenuto, che riflette esclusivamente il punto di vista degli autori, e la Commissione non può essere ritenuta responsabile per l'uso che può essere fatto delle informazioni ivi contenute.

Cofinanziato dal
programma Erasmus+
dell'Unione europea

