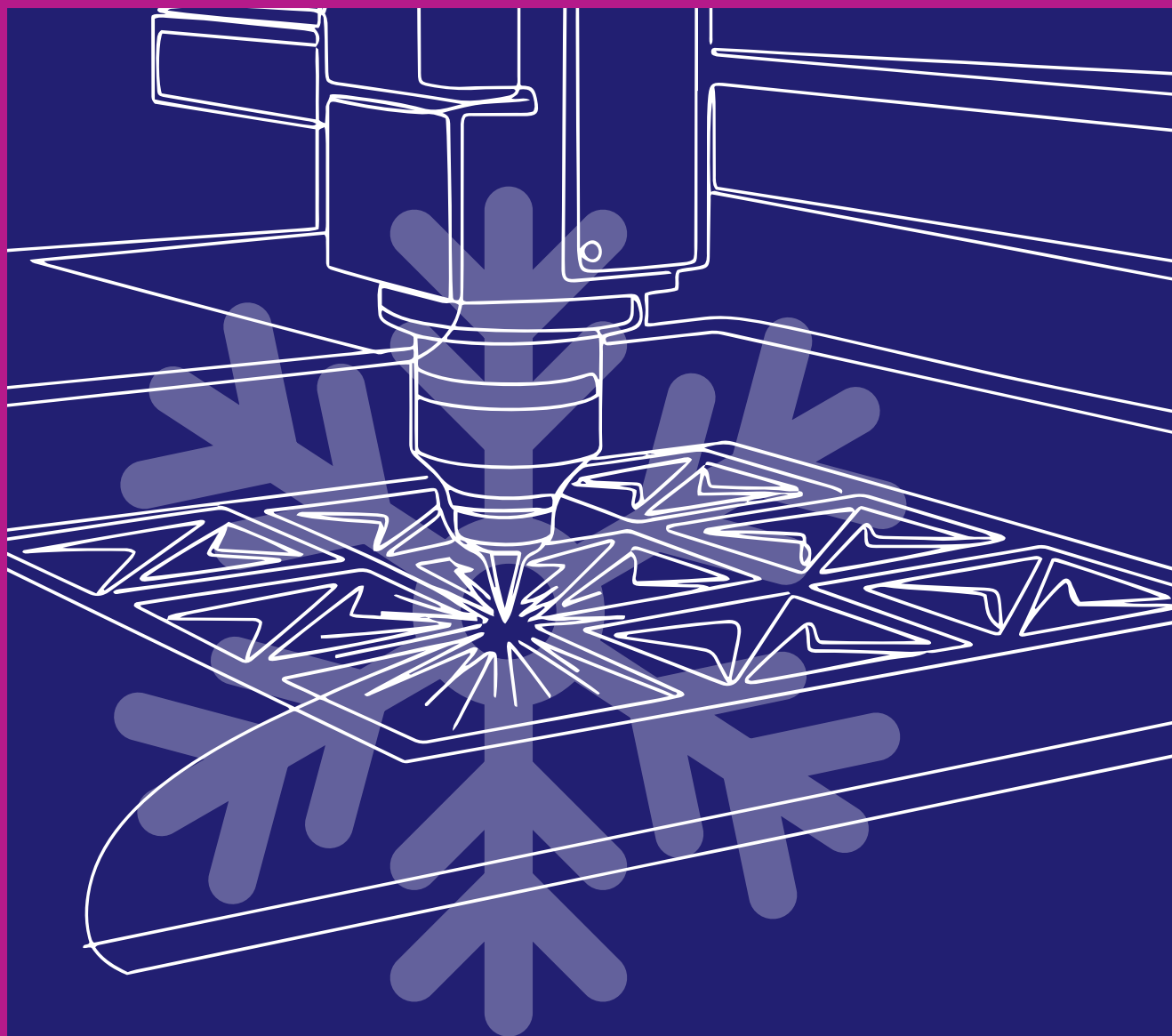




Il raffreddamento nel taglio laser: sfide tecnologiche e soluzioni avanzate

REALIZZAZIONE

LAMIERA

 **tecniche nuove**

GRAZIE AL CONTRIBUTO EDUCAZIONALE DI

FRIULAIR


Introduzione

Il white paper analizza il ruolo strategico del raffreddamento nei sistemi di taglio laser industriale, prendendo avvio da come il controllo termico sia determinante per qualità di processo, stabilità operativa e affidabilità delle macchine.

La **prima parte** del documento, realizzato con un approccio problem-solving, descrive le principali sfide tecnologiche legate alla gestione dei carichi termici - dalla sorgente laser alle ottiche, dal materiale lavorato alla struttura macchina - e presenta soluzioni avanzate di raffreddamento progettate per garantire stabilità, continuità produttiva e funzionalità.

Nella **seconda parte** viene illustrato l'approccio tecnologico di Friulair, con sistemi di raffreddamento a doppio circuito indipendente progettati per applicazioni laser ad alta potenza, supportato da un caso applicativo che dimostra i benefici operativi in termini di uptime, qualità e prevedibilità produttiva.

Premessa

Il controllo termico

Il taglio laser rappresenta oggi una delle tecnologie di lavorazione più diffuse e strategiche nell'industria manifatturiera. La sua capacità di combinare elevata precisione, flessibilità applicativa e produttività lo rende indispensabile in settori come la carpenteria metallica, l'automotive, l'aerospazio e la produzione di componenti ad alta complessità: contesti in cui si richiedono prestazioni ad elevato controllo e precisione. Alla base di queste performance vi è un elemento spesso sottovalutato ma critico e di alto valore strategico: **il controllo termico**.

Keypoints



Ruolo del controllo termico

- Raffreddamento come elemento strategico per qualità del taglio, stabilità della macchina e affidabilità nel lungo periodo
- Il taglio laser genera carichi termici elevati e dinamici che richiedono gestione precisa e continua
- La stabilità della temperatura è più critica del suo semplice abbassamento



Sfide tecnologiche del taglio laser

- Elevata concentrazione di energia nel punto di taglio e diffusione del calore nelle strutture
- Deformazioni del materiale e alterazioni delle proprietà meccaniche
- Sensibilità termica di sorgente e componenti ottici
- Rischi di deriva delle prestazioni e disallineamenti strutturali nel tempo
- Necessità di funzionamento continuo con elevata affidabilità



Requisiti del sistema di raffreddamento

- Stabilità termica estremamente precisa
- Risposta dinamica a carichi termici variabili
- Gestione separata delle temperature di sorgente e ottiche
- Controllo della condensa e prevenzione della contaminazione
- Efficienza energetica e sostenibilità

Keypoints



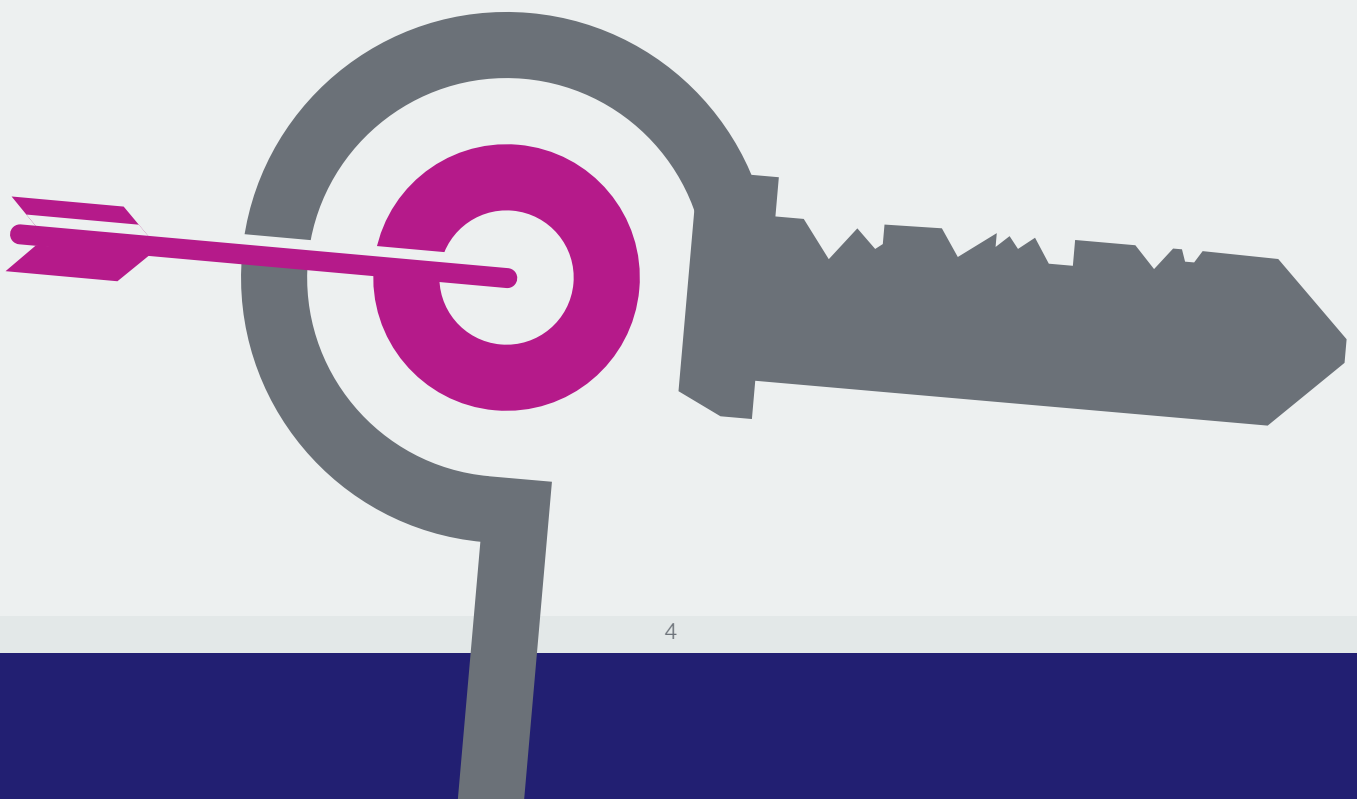
Soluzioni tecnologiche avanzate

- Sistemi con doppio circuito idraulico indipendente
- Controllo preciso della temperatura e stabilità operativa
- Componenti progettati per funzionamento continuo e carichi variabili
- Controllo elettronico integrato e gestione intelligente dei processi
- Uso di refrigeranti a basso impatto ambientale



Benefici operativi dimostrati (case study)

- Eliminazione dei tempi di attesa dovuti alla stabilizzazione termica
- Maggiore continuità produttiva e uptime
- Riduzione della ricalibrazione delle ottiche
- Maggiore prevedibilità dei tempi di produzione
- Miglior competitività operativa



Obiettivi



Dimostrare il ruolo strategico del raffreddamento
nei sistemi di taglio laser industriale



Analizzare le principali sfide termiche
nei processi di taglio laser ad alta potenza



Illustrare i requisiti tecnici
per una gestione termica efficace e stabile



Presentare soluzioni tecnologiche avanzate
per il controllo termico



Mostrare benefici concreti e applicativi
attraverso un caso industriale reale



Promuovere un approccio progettuale integrato
alla gestione termica



Evidenziare opportunità di miglioramento di efficienza e produttività per i sistemi laser

Un **elemento** centrale per qualità e affidabilità



Il **controllo termico** è nelle operazioni di taglio laser una funzione fondamentale, poiché il processo concentra enormi densità di energia in aree estremamente ridotte. Tale peculiarità operativa, se da un lato consente di ottenere tagli rapidi e precisi, dall'altro genera carichi termici elevati e concentrati che devono essere gestiti e, appunto, controllati in modo accurato, senza lasciare nulla al caso o all'improvvisazione. Il raffreddamento non è infatti un semplice sistema ausiliario, ma un fattore determinante per la qualità del processo, la stabilità della macchina e l'affidabilità nel lungo periodo.

Dati termici chiave nei moderni sistemi di taglio laser

Range di potenza laser: i moderni sistemi laser a fibra operano tipicamente tra 3 e 30 kW, con soluzioni di fascia alta che raggiungono fino a 60 kW.

Stabilità termica richiesta: la temperatura del circuito di raffreddamento deve essere controllata con una precisione di $\pm 0,5$ K, anche in presenza di carichi termici altamente dinamici.

Dinamiche termiche: i carichi di calore variano in modo significativo in base al tipo di materiale, allo spessore e ai cicli produttivi, richiedendo una risposta termica rapida e accurata.

Funzionamento 24/7: le linee di taglio laser operano sempre più spesso in modalità continua, rendendo l'affidabilità del sistema di raffreddamento un fattore critico.

Requisiti termici delle ottiche: i componenti ottici devono operare a temperature superiori al setpoint del chiller (tipicamente 21°C). Lavorano generalmente intorno ai 30°C o più, rimanendo così al di sopra del punto di rugiada, prevenendo la formazione di condensa e proteggendo i gruppi ottici sensibili.

Valori numerici presenti nel documento:

DATI DI PROCESSO

Range potenza laser:

3–30 kW,
fino a 60 kW

Setpoint tipico chiller:

21°C

Temperatura ottiche:

circa 30°C
o più

Stabilità richiesta:

$\pm 0,5$ K

DATI DI PRODOTTO

Potenza frigorifera sistemi QBE TOTEM: 12–120 kW

A ogni sfida, una soluzione

Questo white paper **analizza le principali sfide legate al raffreddamento nel taglio laser** e presenta le soluzioni tecnologiche più avanzate progettate specificamente per applicazioni laser e le prospettive di innovazione nel prossimo futuro. Perché ogni sfida, anche la più complessa, ha una sua soluzione...



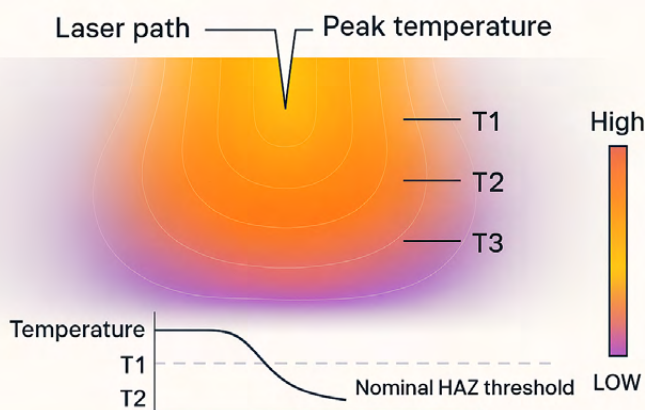
Il taglio laser come processo termico

Il taglio laser rappresenta - come sappiamo - un processo termico. Il fascio interagisce con il materiale trasferendo energia che provoca la fusione o la vaporizzazione localizzata del metallo o del materiale lavorato. Il materiale fuso viene poi espulso grazie all'azione combinata del fascio e del gas di assistenza.

Concentrazione e diffusione

Durante questo processo si verificano due fenomeni principali: il primo è una concentrazione estrema di calore nel punto di interazione; il secondo una diffusione del calore residuo nel pezzo e nelle strutture circostanti.

Questa successione di fenomeni rende indispensabile un controllo accurato della temperatura non solo nel punto di taglio, ma anche nei componenti-chiave della macchina.



THERMAL GRADIENT MAP

Gestione del calore nel materiale

Nel materiale lavorato, il calore generato dal laser può causare diversi effetti indesiderati, come deformazioni termiche (imbarcamenti e tensioni residue), la presenza di un'ampia zona termicamente alterata (HAZ), che può compromettere le proprietà meccaniche, e la perdita di precisione nei tagli più fini e complessi. In questo caso il raffreddamento è prevalentemente indiretto. Non si interviene direttamente con circuiti di raffreddamento, ma attraverso l'ottimizzazione dei parametri di processo, la scelta del gas di assistenza e la definizione della sequenza di taglio.

Raffreddamento della sorgente laser

La sorgente laser, sia essa a fibra, a CO₂, è uno dei componenti più sensibili alla temperatura e uno dei due punti (insieme alle ottiche) che necessitano di accurato controllo della temperatura, perché anche variazioni minime possono avere effetti significativi sulle prestazioni.

Come vedremo, è importante che la sorgente e le ottiche mantengano due temperature distinte ed autonome.

Cosa comporta un raffreddamento non adeguato?

Sono diversi i problemi legati a un raffreddamento non adeguato della sorgente, e includono: dalle variazioni della lunghezza d'onda alla riduzione dell'efficienza di conversione, dall'obsolescenza accelerata dei componenti, che "invecchiano" più rapidamente, all'incremento del rischio di guasti improvvisi.

Non solo abbassare la temperatura, ma stabilizzarla

In questa fase la sfida non è semplicemente mantenere la sorgente "fredda", ma garantire una temperatura stabile nel tempo, evitando gradienti termici e fluttuazioni. Per questo motivo i chiller dedicati alle applicazioni laser devono offrire precisione, affidabilità H24 e sistemi di controllo avanzati.

Ottiche e testa di taglio

Le ottiche rappresentano un altro punto critico del sistema laser. Lenti, specchi e finestre protettive assorbono inevitabilmente una parte dell'energia del fascio.

Qui i rischi principali sono: riscaldamento delle lenti con conseguente variazione del punto di fuoco; degrado della qualità del taglio; rotture improvvise dovute alla combinazione di calore e contaminazione.

Per questo si rendono necessarie soluzioni di raffreddamento efficienti ma compatte, capaci di operare in spazi ridotti e senza introdurre vibrazioni o fenomeni di condensa. Inoltre, il carico termico sulle ottiche è spesso variabile: il che richiede un controllo dinamico della temperatura.

Gas di assistenza e contributo al raffreddamento

I gas di assistenza svolgono un duplice ruolo: facilitano l'espulsione del materiale fuso; contribuiscono alla rimozione del calore dal punto di taglio. Una gestione non ottimale dei gas può portare a flussi non uniformi e instabilità del processo, consumi energetici elevati e difficoltà nel controllo fine di pressione e temperatura.

Stabilità della macchina nel tempo

Va aggiunto che il calore non agisce esclusivamente sul punto di taglio o sui componenti immediatamente coinvolti nel processo. Nel lungo periodo, può influenzare l'intera struttura della macchina. Tra gli effetti più comuni si riscontrano dilatazioni strutturali, disallineamenti ottici, deriva delle prestazioni e necessità di frequenti ricalibramenti.



La vera sfida è far convivere elevate potenze laser, precisione micrometrica e cicli produttivi prolungati senza compromettere la stabilità della macchina.

MATRICE RISCHIO / IMPATTO - Sistemi di Raffreddamento Laser

RISCHIO / CONDIZIONE	CAUSA PRINCIPALE	IMPATTO TECNICO	IMPATTO OPERATIVO	IMPATTO ECONOMICO	LIVELLO DI RISCHIO	NOTE STRATEGICHE
Surriscaldamento sorgente	Raffreddamento lento / insufficiente	Riduzione efficienza di conversione, degradazione componenti laser	Fermi macchina, downtime	Elevato (guasti costosi + sostituzioni)	Alto	Circuito 1 dedicato al laser nel QBE TOTEM riduce rischio
Condensa sulle ottiche	Temperatura < punto di rugiada, fluttuazioni	Danni ottiche, instabilità punto fuoco	Stop improvvisi, manutenzione straordinaria	Molto elevato (sostituzioni lenti)	Alto	Stabilità $\pm 0,5$ K evita formazione condensa
Deriva ottica / disallineamento	Stabilità temperatura > $\pm 0,5$ K, singolo circuito	Perdita precisione micrometrica	Ricalibrizioni frequenti, scarti	Medio-Alto (riduzione produttività)	Medio-Alto	Doppio circuito separa sorgente/ottiche → riduce deriva
Perdita qualità del taglio	Instabilità termica, surriscaldamento, deriva ottica	Bordo taglio irregolare, HAZ estesa	Scarti produzione	Medio-Alto	Medio-Alto	Monitoraggio ΔT e stabilità critico
Ricalibrizioni frequenti	Deriva ottica, temperature instabili	Necessità riallineamenti	Interruzioni brevi ma ripetute	Medio	Medio	Doppio circuito e controllo $\pm 0,5$ K minimizzano riallineamenti
Guasti alla sorgente	Surriscaldamento, stress termico prolungato	Perdita totale funzione laser	Fermata completa linea	Molto elevato	Alto	Circuito dedicato + pre-riscaldamento → riduzione guasti

Efficienza energetica e sostenibilità

Oggi è sempre più importante adottare soluzioni che combinino prestazioni elevate e funzionalità, includendo: sistemi di controllo intelligenti; funzionamento efficiente a carico parziale; possibilità di recupero del calore.

In sintesi, il raffreddamento nel taglio laser non consiste semplicemente nel rimuovere calore, ma nel controllarlo in modo preciso, stabile e prevedibile. Solo un approccio integrato consente di proteggere simultaneamente sorgente laser, ottiche, pezzo e macchina.



La risposta di Friulair

A proposito di soluzioni avanzate: Friulair progetta e fornisce **chiller** industriali di liquido pensati per applicazioni che richiedono controllo preciso della temperatura e affidabilità in funzionamento continuo. Le soluzioni dedicate al segmento del laser sono il risultato di un'esperienza consolidata e di una progettazione orientata alle esigenze reali delle macchine utensili.

QBE TOTEM

Refrigeratori di liquido con doppio circuito idraulico indipendente

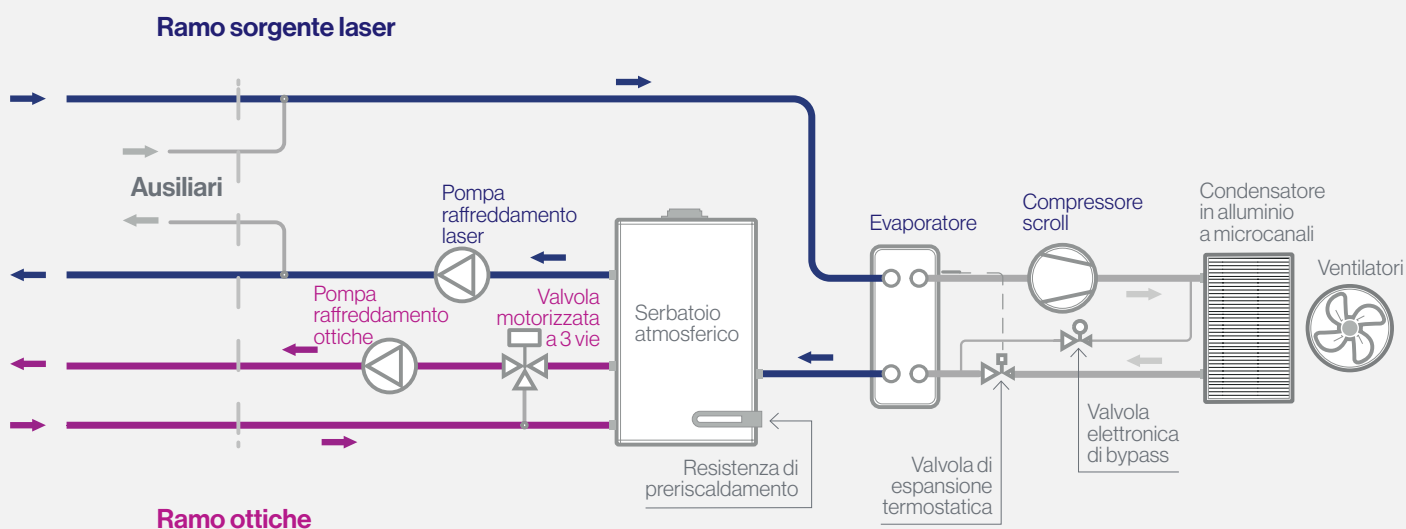


La risposta di **Friulair**

La gamma include il **chiller** standard FQBE per applicazioni di piccola e media potenza, oltre a soluzioni più avanzate e personalizzabili. La risposta più specifica alle esigenze del taglio laser è rappresentata dalla serie QBE TOTEM. La serie QBE TOTEM è stata progettata specificamente per soddisfare i requisiti delle lavorazioni laser. Il suo elemento distintivo è il **doppio circuito idraulico indipendente**, in grado di gestire due temperature differenti e autonome: un circuito dedicato alla sorgente laser e uno dedicato alle ottiche e alla testa di taglio, con portate e prevalenze differenti.

Schema tecnico di processo

Il white paper descrive in modo molto dettagliato l'**architettura del sistema di raffreddamento** e le **interazioni tra i componenti**:



La risposta di **Friulair**

Una configurazione ottimale

Questa configurazione consente di rispondere in modo ottimale alle diverse esigenze termiche dei componenti, evitando interferenze e garantendo la massima stabilità del processo. Le unità QBE TOTEM coprono una gamma di potenze frigorifere tra 12 e 120kW, il che le rende adatte sia a sistemi laser di media potenza sia ad applicazioni ad alta potenza.

Circuito idraulico: precisione e stabilità

Il **circuito idraulico** è il collegamento diretto tra il **chiller** e le utenze laser. Nei sistemi QBE TOTEM è realizzato interamente con materiali non ferrosi, come PVC, EPDM, ottone e acciaio inox, per garantire compatibilità con acqua demineralizzata con l'aggiunta di liquidi anticorrosivi e massima affidabilità nel tempo. Gli elementi principali includono: serbatoio atmosferico con sensore di livello e indicatore visivo; due pompe dedicate, una per la sorgente laser e una per le ottiche; by-pass calibrati per la regolazione di pressione e portata; valvola a tre vie motorizzata per il controllo fine della temperatura del ramo ottiche; resistenza di preriscaldamento immersa nel serbatoio.

DATI DI PRODOTTO

Potenza frigorifera
sistemi QBE TOTEM:

12–120 kW

Cooling capacity

12–120 kW

La risposta di **Friulair**

Sezioni tecniche / viste dei componenti



1
Compressori scroll

2
Evaporatore

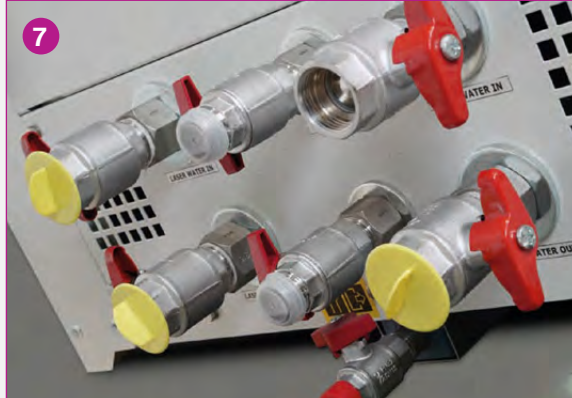
3
Ventilatore

4
Valvola gas caldo

5
Pompa

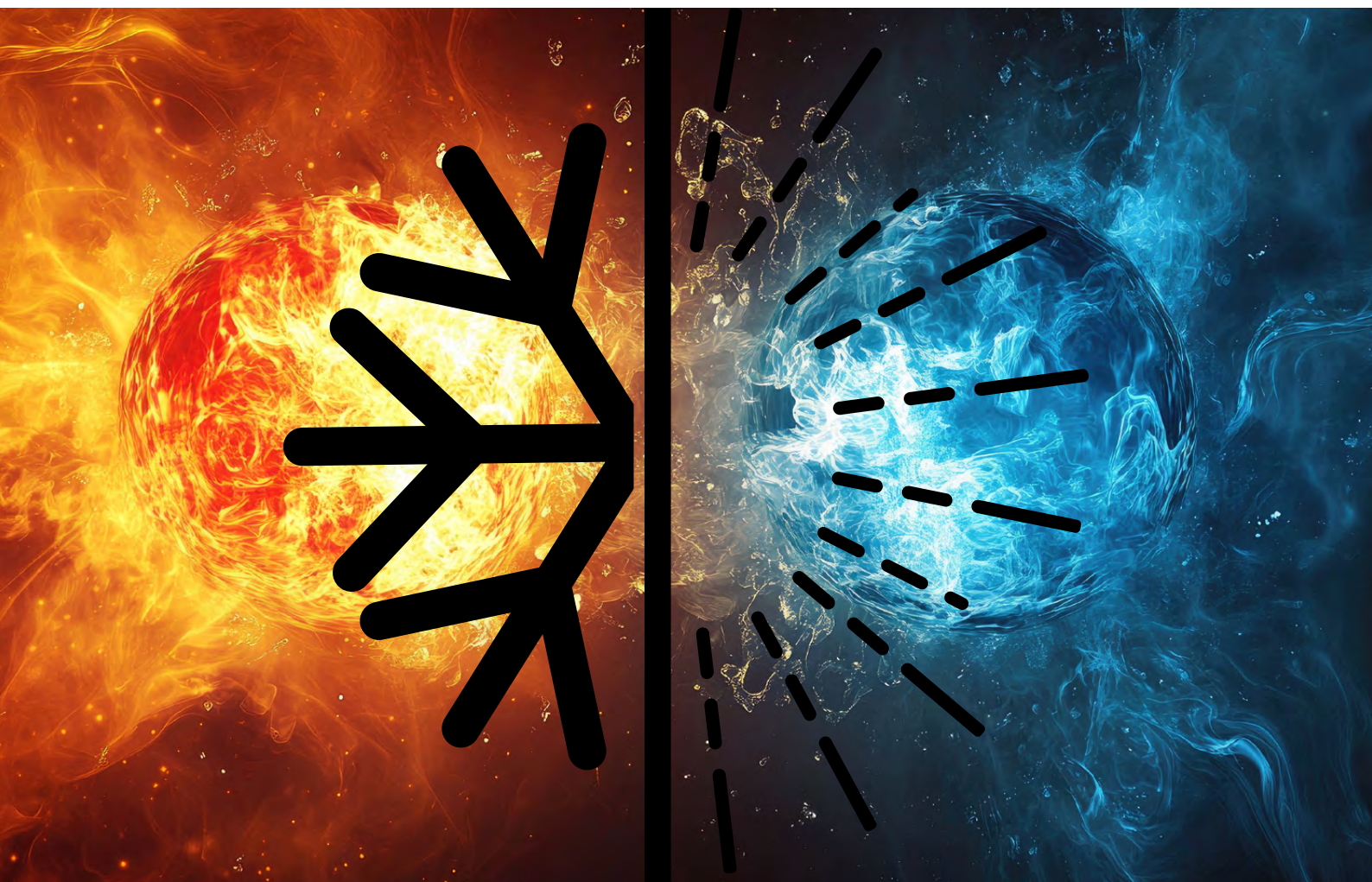
6
Valvola a 3 vie

7
Conessioni acqua



Grande stabilità termica

Come abbiamo visto, la funzione-chiave del circuito idraulico non è semplicemente il raffreddamento, ma la stabilità termica. In un sistema laser è molto più importante mantenere una temperatura costante piuttosto che raggiungere temperature estremamente basse.

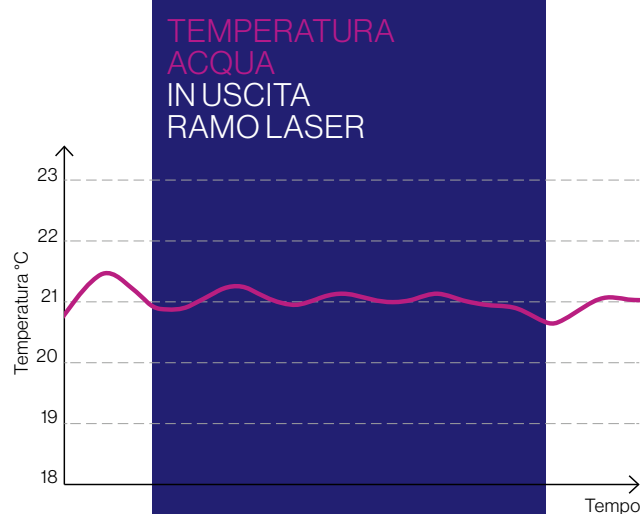
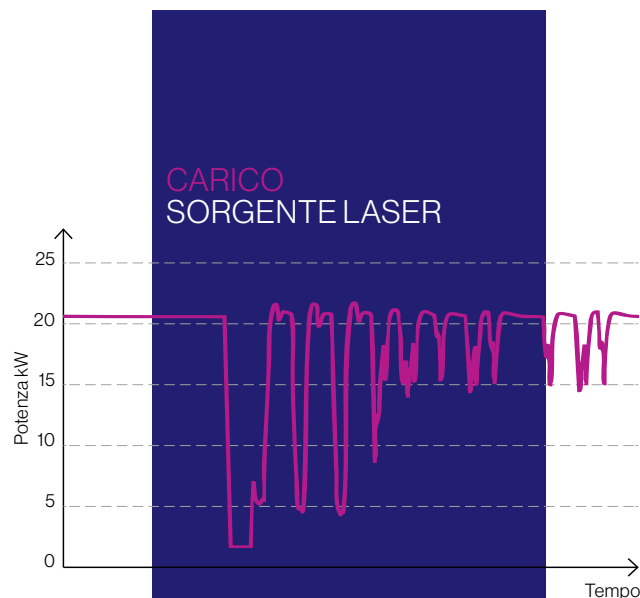


Il circuito refrigerante: potenza ed efficienza

Il circuito refrigerante è responsabile dello smaltimento del calore verso l'ambiente. Nelle unità è progettato per garantire elevata efficienza e funzionamento continuo anche a carichi parziali.

Tra i componenti principali: compressori scroll, silenziosi e a basse vibrazioni; evaporatore a piastre saldobrasate in acciaio inox; condensatore a microcanali in alluminio con trattamento anticorrosione; ventilatori a velocità variabile; valvola di espansione termostatica; valvola elettronica di by-pass gas caldo.

Quest'ultima rappresenta il cuore del controllo di precisione, permettendo di mantenere la temperatura dell'acqua in uscita dal ramo sorgente con una stabilità di $\pm 0,5$ K anche in presenza di carichi termici fortemente variabili.

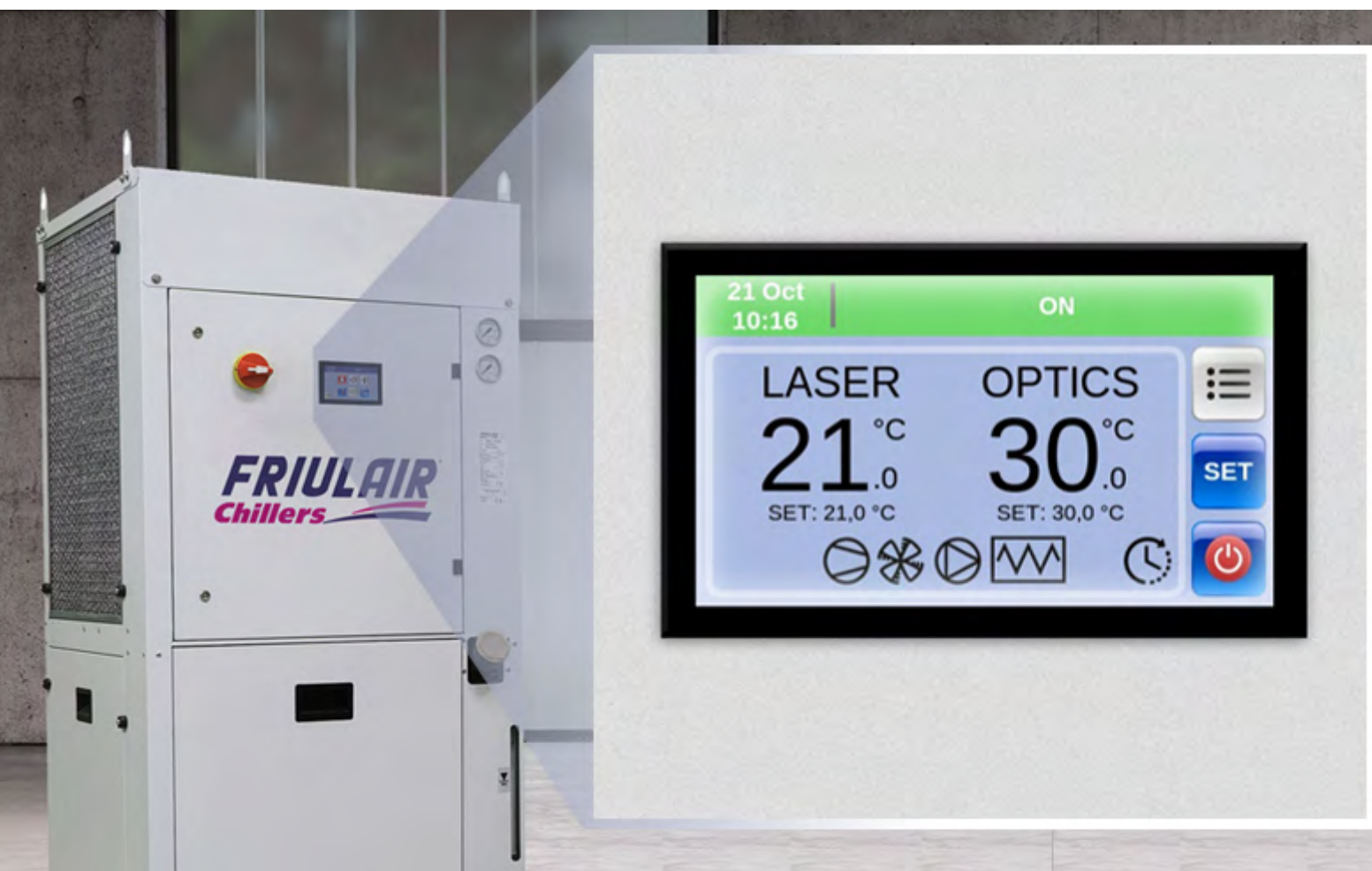


Valvola elettronica di by-pass gas caldo
controllo di precisione
con una stabilità di $\pm 0,5$ K

Integrazione e controllo elettronico

Importante anche l'immediatezza di impiego. A questo proposito, le unità sono dotate di un unico controllore elettronico a microprocessore con interfaccia **touch screen**.

Il sistema gestisce in modo integrato: cicli di funzionamento del compressore; pompe dei circuiti idraulici; ventilatori a velocità variabile; resistenza di pre-riscaldamento; valvole di regolazione; allarmi e segnalazioni; gestione dello sfiato pompe, con semplicità di primo avviamento e successive manutenzioni.

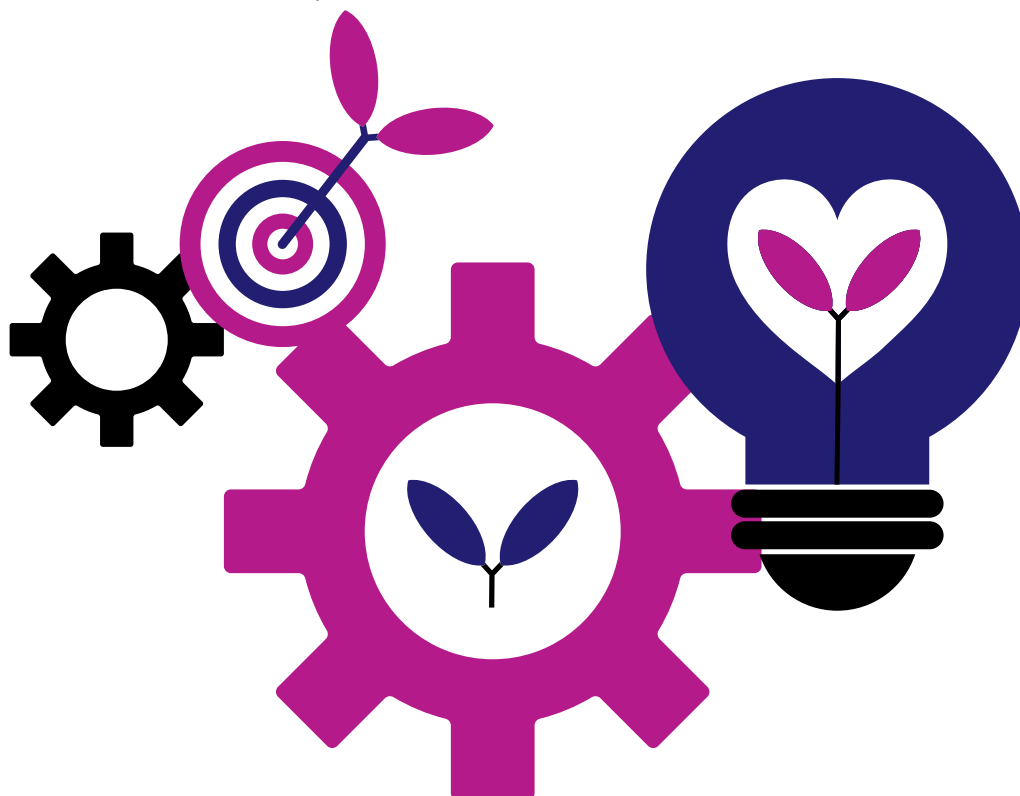


Affidabilità, test e qualità

Ogni unità viene sottoposta a test completi a pieno carico che includono: verifica dell'assemblaggio dei componenti; prove di tenuta dei circuiti frigorifero e idraulico; test elettrici; verifica dei dispositivi di sicurezza; misurazione delle prestazioni termiche ed elettriche. Questo approccio garantisce elevati standard di qualità e affidabilità nel lungo periodo.

Strategia della sostenibilità

L'azienda adotta una strategia orientata alla sostenibilità mediante l'utilizzo di refrigeranti a basso GWP in linea con il Regolamento F-Gas e con gli obiettivi europei di riduzione delle emissioni climalteranti. In tema di refrigeranti, si prevede una conversione da refrigeranti in **phase-out** con il refrigerante R513A, l'unico gas >12 kW utilizzabile indoor senza rischi e senza valutazioni aggiuntive perché non infiammabile e a basso impatto ambientale.



Il raffreddamento nel taglio laser: sfide tecnologiche e soluzioni avanzate

LAMIERA

Case study

Gestione del
raffreddamento
nei sistemi
laser ad alta
potenza



Contesto industriale

Un noto costruttore europeo di sistemi avanzati per la lavorazione dei metalli, specializzato in macchine laser ad alte prestazioni per taglio di tubi, profili e lamiera, ha implementato soluzioni laser con potenze che superano i 20 kW, destinate a settori ad alta precisione e alta produttività.

Queste macchine vengono utilizzate da produttori di componenti strutturali, fornitori di settore automotive e applicazioni industriali dove la produttività continua e l'affidabilità delle prestazioni sono criteri decisivi.

La sfida tecnica

Nel taglio laser di metallo ad alta potenza, il carico termico non è costante: durante un ciclo di lavorazione, le variazioni di richiesta di potenza possono essere rapide e profonde, passando da fasi di pieno carico a fermi macchina legati al processo produttivo (come cambio lamiera o set-up).

Queste dinamiche mettono sotto stress i sottosistemi di raffreddamento, che devono:

- mantenere stabilità termica anche in presenza di carichi altamente variabili;
- evitare che la risposta del sistema di raffreddamento introduca latency nei cicli produttivi;
- preservare la qualità del punto di fuoco laser e dell'ottica senza aumentare la frequenza di ricalibrazione.

Il cliente aveva identificato come requisito imprescindibile che **il raffreddamento non diventasse mai il vincolo che condiziona la ripartenza della macchina dopo un fermo produttivo.**

La **soluzione** implementata

Per rispondere a queste esigenze, è stato adottato un sistema di raffreddamento avanzato con architettura a **doppi circuiti idraulici separati**, dedicati rispettivamente alla sorgente laser e alle ottiche di taglio.

Questa configurazione consente di:

- **seguire dinamicamente le variazioni di carico termico**, senza che un circuito influenzi l'altro;
- **mantenere profili termici stabili** anche quando la macchina varia rapidamente le condizioni operative;
- **garantire che la ripartenza della macchina avvenga immediatamente** al termine delle operazioni di fermo, indipendentemente dallo stato termico precedente.

In applicazioni dove la produttività e la qualità sono direttamente correlate alla continuità di ciclo, questo approccio ha dimostrato di essere determinante.

Risultati e **impatto operativo**

Dal punto di vista del cliente:

- **Eliminazione dei tempi di attesa legati alla stabilizzazione del raffreddamento** nelle transizioni di ciclo;
- **Migliore continuità operativa** anche in uso intensivo, con impatto positivo su uptime complessivo;
- **Minor frequenza di ricalibrazione delle ottiche** dovuta a minore deriva termica;
- **Maggiore prevedibilità dei tempi di produzione**, elemento critico nei contesti di supply chain integrata e produzione just-in-time.

Un responsabile tecnico del costruttore ha sottolineato:



Nel nostro ambiente produttivo la capacità di separare dinamiche termiche dal ritmo del processo macchina è ciò che distingue una soluzione funzionante da una affidabile nel lungo periodo.

Perché questo **conta**

In applicazioni industriali avanzate, dove macchine laser ad alta potenza si integrano in linee di produzione complesse, **la gestione termica non è più un problema secondario**, ma una variabile progettuale primaria.

Sistemi di raffreddamento che non riescono a reagire alle rapide variazioni di carico termico rischiano di diventare un vincolo, impattando produttività, qualità e costi di manutenzione.

Questo case dimostra come una progettazione mirata del raffreddamento, pensata per **seguire il processo invece che contrastarlo**, possa avere un impatto concreto sulla competitività operativa di un produttore di macchine laser.

**Analizza il tuo sistema di raffreddamento
e identifica nuove opportunità di efficienza produttiva.
Inizia ora a investire in competitività!**



REALIZZAZIONE

LAMIERA

Gruppo Editoriale Tecniche Nuove S.p.A.

Divisione Manufacturing

Via Eritrea, 21 – 20157 Milano

Tel. +39 02.39090.1

www.meccanicaneuws.com

www.tecnichenuove.com

GRAZIE AL CONTRIBUTO EDUCAZIONALE DI

FRIULAIR[®]

Via Cisis, 3633052 Cervignano del Friuli (UD)

Tel. +39 0431 939416

www.friulair.com

friulair@friulair.com

 **tecniche nuove**