



COMPETENZA NEI MATERIALI

STAMPA 3D DEL RAME DA PROTIQ

Induttori, scambiatori di calore e componenti di raffreddamento
in rame ad alta conducibilità

dal 2013

Rame nella stampa 3D

58 MS/m

conducibilità elettrica
(rame puro, 100 % IACS)

415 W/(m·K)

conducibilità termica
(rame puro)

4

materiali in rame sul
PROTIQ Marketplace

RAME: IDEALE PER CORRENTE E CALORE, IMPEGNATIVO NELLA STAMPA 3D

Il rame conduce corrente e calore meglio di quasi tutti gli altri metalli tecnici. È quindi il materiale ideale per componenti che conducono corrente o dissipano calore: induttori, dissipatori, scambiatori di calore e barre conduttrici. Con la stampa 3D vengono prodotti direttamente dai dati CAD e senza utensili – anche in geometrie difficilmente realizzabili in modo convenzionale, ad esempio con canali di raffreddamento integrati.

Allo stesso tempo, il rame è uno dei materiali più impegnativi nella stampa 3D: con parametri standard non può essere lavorato in modo affidabile. Servono esperienza nello sviluppo dei processi e padronanza del materiale – e PROTIQ ne ha come pochi altri: siamo stati il primo fornitore al mondo a lavorare il rame ad alta conducibilità con la fusione laser e oggi siamo tra gli specialisti leader nella stampa 3D del rame.

TRE MOTIVI PER CUI IL RAME È DIFFICILE

► Riflessione

Il rame riflette gran parte dell'energia laser incidente. Fondere la polvere è molto più difficile che, ad esempio, con l'acciaio inossidabile.

► Conduzione del calore

Il calore defluisce rapidamente dalla zona di fusione. Materiale, laser, conduzione del processo e geometria devono essere perfettamente coordinati.

► Purezza

Anche piccole impurità o tracce di ossigeno riducono la conducibilità. Gestione della polvere, gas inerte e controllo qualità sono decisivi.

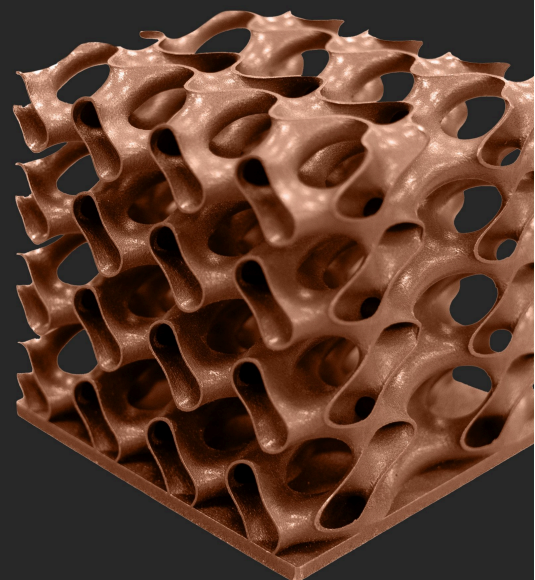
Come produciamo: fusione laser selettiva (SLM)

L'impianto stende la polvere di rame strato dopo strato su una piattaforma di costruzione. Un laser la fonde in modo mirato dove nasce il componente – direttamente dai dati CAD e in un unico pezzo.



DA «IMPOSSIBILE» A MATERIALE DI SERIE

- 2011** «Rame nella fusione laser? Impossibile.» – questa era l'opinione comune.
- 2012** Primo funzionamento del nostro impianto di fusione laser sviluppato internamente.
- 2013** Serie di prove con Fraunhofer, svolta a fine 2013: primo fornitore al mondo a lavorare il rame RS ad alta conducibilità con la fusione laser.
- 2014** Induttori in rame in serie, in qualità industriale.
- 2015** Ottimizzazione degli induttori basata sulla simulazione.
- 2018** Processo di serie per il rame puro – 100 % rame.
- 2019** Primo fornitore al mondo con rame puro ordinabile online su protiq.com.
- 2022** Valori migliori per densità e conducibilità – secondo AM Power, «Study on Additive Manufacturing of Copper».
- 2025** Rame puro low-O₂ per una purezza particolarmente elevata.



COSA DISTINGUE PROTIQ NELLA STAMPA 3D DEL RAME

► Pioniere nella stampa 3D del rame

Dalla prima svolta mondiale nel 2013 perfezioniamo costantemente qualità delle polveri, strategie di scansione e parametri di processo per il rame.

► Engineering per induttori

Dal configuratore di induttori alle forme speciali fino all'ottimizzazione basata sulla simulazione.

► Materiali e processi propri

Produciamo internamente rame puro, rame puro low-O₂ e rame RS – su misura per ogni applicazione.

► Collaudato nella pratica

In un progetto con un cliente, bobine a induzione ottimizzate e stampate in 3D sono durate da 4 a 6 volte di più.

PANORAMICA DEI MATERIALI IN RAME

Sul PROTIQ Marketplace sono disponibili quattro materiali in rame. Rame puro, rame puro low-O₂ e rame RS sono prodotti da PROTIQ internamente.

Materiale	Caratteristiche	Conducibilità elettrica	Conducibilità termica	Componenti tipici
Rame puro	100 % rame, massima conducibilità elettrica e termica	58 MS/m	415 ± 10 W/(m·K)	Induttori, dissipatori, scambiatori di calore, barre conduttrici
Rame puro low-O ₂	A bassissimo contenuto di ossigeno, per elevata purezza	su richiesta	su richiesta	Raffreddamento elettronico, induttori, basse temperature
Rame RS	In uso dal 2013, collaudato per gli induttori	51 MS/m (bordo), 32 MS/m (nucleo)	265 W/(m·K)	Induttori
CuCr1Zr	Lega con maggiore resistenza e durezza	su richiesta	su richiesta	Componenti di contatto, elettrodi

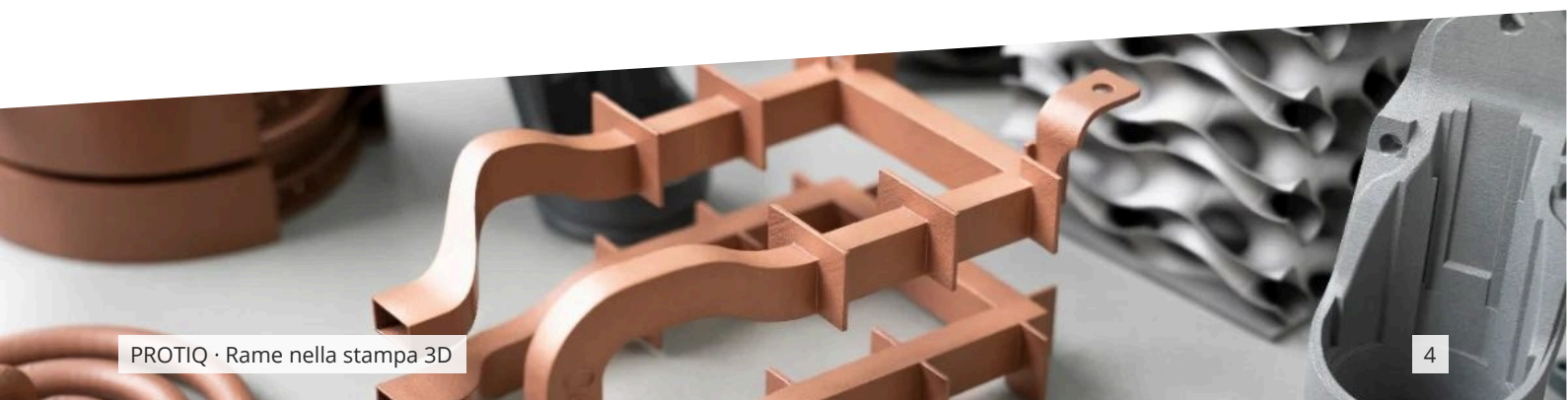
Rame puro

Conducibilità elettrica	58 MS/m
Conducibilità termica	415 ± 10 W/(m·K)
Densità	8,9 g/cm ³
Resistenza a trazione (as built)	220 ± 10 MPa
Limite di snervamento Rp0,2 (as built)	140 ± 20 MPa
Allungamento a rottura (as built)	50 ± 10 %

Rame RS

Conducibilità elettr. (bordo / nucleo)	51 / 32 MS/m
Conducibilità termica	265 W/(m·K)
Densità	8,7–8,9 g/cm ³
Spessore minimo di parete	0,6 mm
Tenuta ai fluidi da spessore	1 mm
Prova di tenuta	6 bar aria compressa

Valori secondo la scheda tecnica PROTIQ; i valori per rame puro low-O₂ e CuCr1Zr sono disponibili su richiesta. Scegli il materiale adatto al Suo componente nel configuratore – oppure ci contatti direttamente. Saremo lieti di consigliarLa.



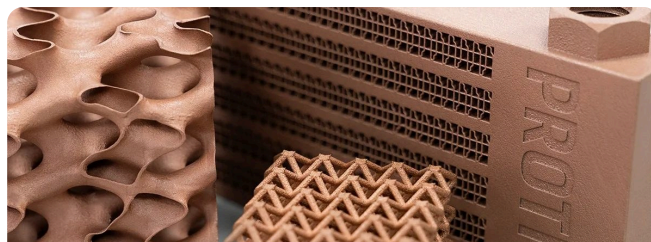
DOVE SI USA IL RAME STAMPATO IN 3D

Ovunque sia necessario condurre corrente o dissipare calore – e la geometria fa la differenza.



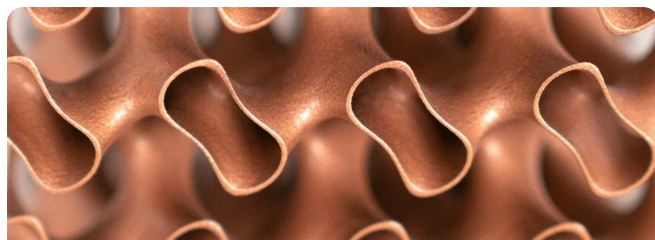
Induttori

Bobine cave in rame con canali di raffreddamento integrati per il riscaldamento a induzione – adattate esattamente al pezzo, configurabili anche online.



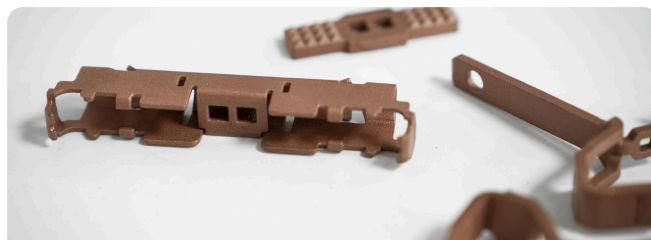
Scambiatori di calore e dissipatori

Alette curve, strutture reticolari e giroidi e canali integrati aumentano la superficie e migliorano lo scambio termico.



Data center e raffreddamento elettronico

Cold plate e componenti di raffreddamento con canali a forma libera – dal raffreddamento dei chip al raffreddamento a liquido nei data center.



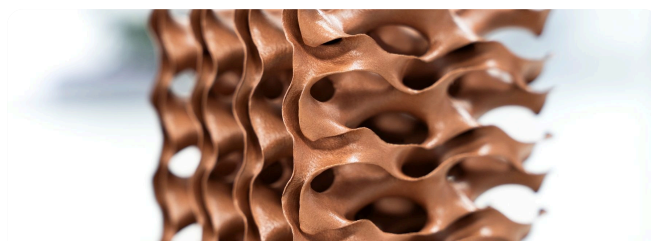
Barre conduttrici e strutture conduttive

Componenti conduttivi adattati esattamente allo spazio disponibile – in geometrie realizzabili solo in parte in modo convenzionale.



Prototipi funzionali

Componenti di contatto, connettori e strutture conduttive come avvolgimenti hairpin per elettronica e motori elettrici – rapidi e senza utensili.



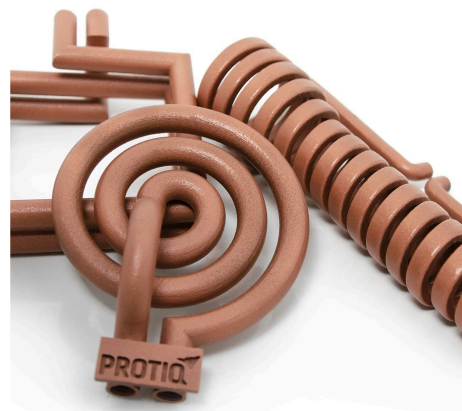
Basse temperature

Nelle applicazioni criogeniche anche piccole impurità riducono la conducibilità. Qui serve l'elevata purezza del rame puro low-O₂.

INDUTTORI IN RAME

PROTIQ produce induttori per il riscaldamento a induzione in rame al 100 % mediante fusione laser selettiva – in un unico pezzo, senza brasature o saldature e direttamente dai dati CAD.

Nel riscaldamento a induzione il calore si genera direttamente nel pezzo – dove la bobina induce correnti parassite. Quanto più l'induttore è adattato al pezzo, tanto più precisamente si può controllare il calore. Per questo ogni geometria richiede il proprio induttore.



Tempra superficiale

Componenti molto sollecitati come parti di ingranaggi vengono riscaldati localmente e temprati – per una maggiore durezza superficiale.

Brasatura a induzione

Due componenti vengono riscaldati in modo preciso e omogeneo e uniti con un materiale d'apporto.

Formatura a caldo

I componenti vengono riscaldati prima della formatura – con un induttore preciso solo nei punti necessari.

PRODUZIONE A CONFRONTO

	Piegatura e brasatura	Fresatura CNC e giunzione	Stampa 3D (SLM)
Produzione	Piegatura e brasatura manuali	Fresatura dal pieno, poi saldatura o brasatura	Direttamente dai dati CAD, in un unico pezzo
Geometria	Solo forme relativamente semplici	Forme più complesse	Adattata al pezzo, anche profili rettangolari o appiattiti
Canali di raffreddamento	–	Solo unendo singoli pezzi	Integrati direttamente
Giunzioni	Brasature	Saldature o brasature come possibili punti deboli	Nessuna
Impegno	Molto laborioso, bassa ripetibilità	Lungo e costoso	Senza utensili, alta ripetibilità, consegna in pochi giorni

VANTAGGI E PROGETTAZIONE

- ▶ Geometrie di induttori personalizzate senza costi di attrezzaggio
- ▶ Canali di raffreddamento integrati e forme molto compatte
- ▶ Maggiore durata grazie alla costruzione senza giunzioni
- ▶ Sezioni e forme di bobina libere, raggi di curvatura minimi
- ▶ Realizzazione esatta dei dati CAD, alta ripetibilità
- ▶ Riscaldamento più preciso e tempi ciclo più brevi

PROGETTARE CORRETTAMENTE GLI INDUTTORI

250 × 250 × 280 mm

Dimensione in un unico pezzo; induttori più grandi in segmenti

da 1,0 mm

Spessore di parete con tenuta garantita fino a 6 bar di pressione d'aria

da circa 3 mm

Diametro interno, affinché la polvere possa essere rimossa completamente

circa 1–2 mm

Distanza tra le spire, affinché i supporti restino rimovibili

Qualsiasi sezione

Rotonda, rettangolare, appiattita o a forma libera

Senza giunzioni

Nessuna saldatura o brasatura, anche con forme complesse

Combinare

Testa dell'induttore stampata, ganasce di collegamento convenzionali – spesso la soluzione più economica

Coordinarsi presto

Per forme delicate verifichiamo volentieri il Suo progetto in anticipo

Valori indicativi per la fase di creazione dei dati CAD; i valori effettivamente possibili dipendono dalla geometria. Pareti più sottili da circa 0,5 mm sono possibili previo accordo, ma senza garanzia di tenuta.

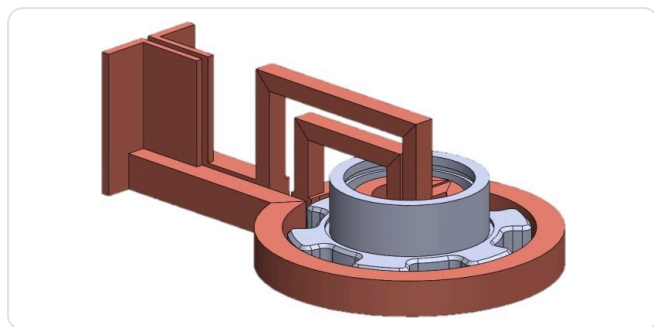


«Le aziende traggono un grande vantaggio dalla produzione additiva nella progettazione e nell'impiego di induttori in rame. Tempi di consegna brevi, maggiore libertà di design e alta ripetibilità creano vantaggi misurabili: forme di bobina ottimizzate aumentano l'efficienza del processo di riscaldamento e riducono i tempi ciclo.»

Max Wissing, Vendite tecniche, PROTIQ GmbH

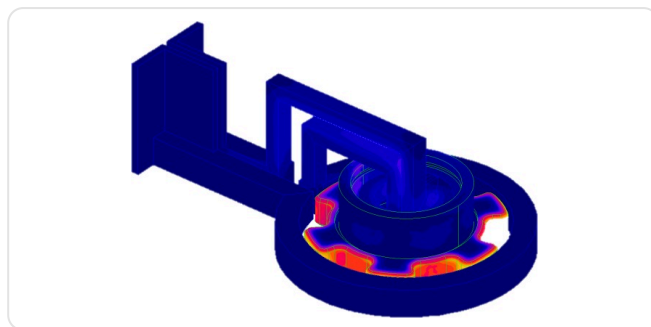
SIMULAZIONE E OTTIMIZZAZIONE

Convenzionalmente, prima di arrivare alla bobina ottimale si producono molte geometrie di prova, testate in prove di riscaldamento reali. Con una simulazione numerica rendiamo visibile il comportamento della bobina, determiniamo una geometria ottimizzata – e la produciamo poi in rame ad alta conducibilità.



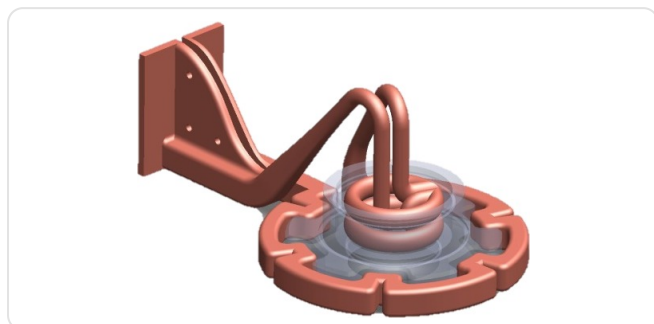
1 Situazione iniziale

Induttore piegato e brasato: la forma della bobina segue il diametro maggiore, il pezzo viene riscaldato in modo non uniforme.



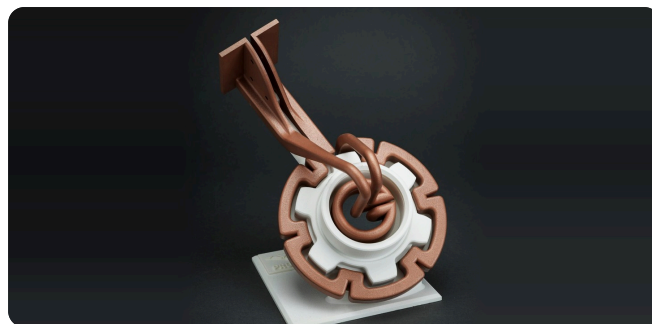
2 Simulazione

La simulazione mostra distribuzione della temperatura, densità di corrente e campo magnetico – e dove il pezzo diventa troppo caldo o troppo freddo.



3 Geometria ottimizzata

La bobina aderisce uniformemente al pezzo – per temperature omogenee. Difficilmente realizzabile in modo convenzionale.



4 Induttore stampato

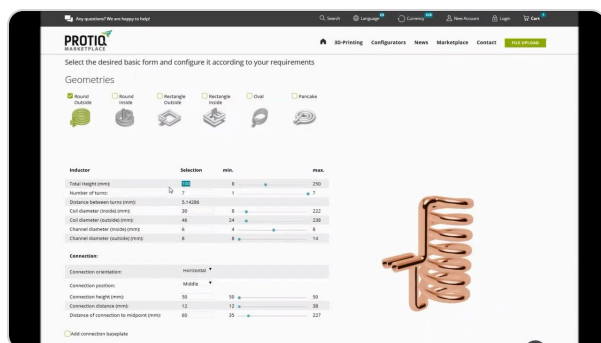
Fuso al laser in rame: qualità più costante, meno scarti e tempi ciclo più brevi.

I SUOI VANTAGGI

- ▶ Visione di influssi di processo altrimenti invisibili
- ▶ Bobine con caratteristiche ideali per il Suo processo
- ▶ Meno prove reali – risparmio di tempo e costi
- ▶ Bobine ottimizzate in rame puro in pochi giorni

IL CONFIGURATORE DI INDUTTORI

Per forme di bobina semplici non serve un programma CAD: nel configuratore gratuito adatta una delle sei forme base secondo un principio modulare. Il prezzo viene calcolato automaticamente e la produzione può iniziare subito dopo l'ordine.



- 1 **Scegliere la forma base**
Sei forme standard per induttori a campo interno ed esterno.
- 2 **Configurare l'induttore**
Altezza, sezione, diametro, spire, dimensioni di bobina e canali.
- 3 **Definire il collegamento**
Opzionalmente con supporto e piastra di base personalizzata.
- 4 **Ordinare**
Prezzo automatico online, ordinabile direttamente in rame puro o rame RS.

- ▶ Nessuna conoscenza CAD necessaria, uso intuitivo
- ▶ Più di 20 parametri, prezzo in tempo reale

- ▶ Stampabilità garantita di ogni configurazione
- ▶ Consegna pochi giorni dopo l'ordine

COME OTTENERE IL SUO INDUTTORE

FORMA DI BOBINA SEMPLICE

Configurare l'induttore online

Scegliere la forma base, adattarla e ordinare direttamente.

DESIGN ESISTENTE

Caricare i dati CAD

Scegliere il materiale in rame, ricevere l'offerta automaticamente, ordinare online.

FORMA SPECIALE E OTTIMIZZAZIONE

Discutere il progetto

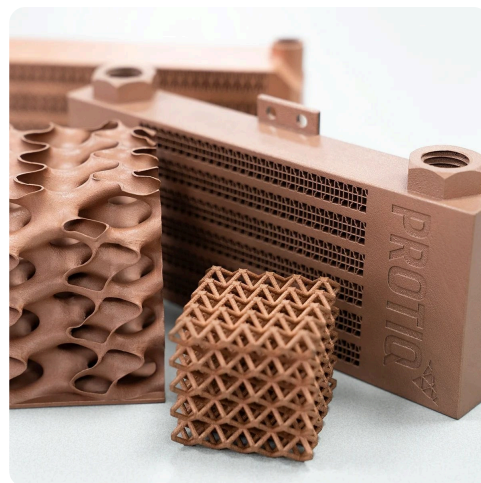
Per geometrie complesse o simulazioni. La consigliamo personalmente.

Configuri ora il Suo induttore online protiq.com/induktor-konfigurator ▶

SCAMBIATORI DI CALORE E DISSIPATORI

Con la stampa 3D nascono scambiatori di calore e dissipatori con canali interni, strutture giroidi e reticolari – più superficie per lo scambio termico in meno spazio.

Canali, superfici e spessori di parete vengono progettati in base alla funzione anziché ai limiti dell'utensile. Poiché non servono utensili, conviene già per prototipi, campioni funzionali, pezzi singoli e piccole serie.



STRUTTURE CHE FANNO LA DIFFERENZA

► Strutture giroidi

Dividono lo spazio in due sistemi di canali separati e intrecciati – ideali per far scorrere due fluidi uno accanto all'altro.

► Canali a forma libera

Seguono il contorno della fonte di calore – per uno scambio termico uniforme e basse perdite di carico.

► Strutture reticolari

Reticoli fini e aperti aumentano la superficie con poco materiale e peso ridotto.

► Alette e pin di raffreddamento

Curvi in tre dimensioni o fitti – per un migliore scambio termico con aria o liquido.

Rame o alluminio?

Materiale	Conducibilità termica	Densità	Adatto per
Rame puro	$415 \pm 10 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	$8,9 \text{ g/cm}^3$	Massimo scambio termico in poco spazio, ad es. cold plate
Alluminio (AlSi10Mg)	$103 \pm 5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	$2,67 \text{ g/cm}^3$	Scambiatori di calore leggeri, quando il peso conta

Il rame conduce il calore circa quattro volte meglio dell'AlSi10Mg; l'alluminio pesa solo circa un terzo. Anche fluido, corrosione e carico meccanico contano. Valori secondo la scheda tecnica PROTIQ, fusione laser.

Elettronica di potenza

Data center

Industria e costruzione di macchine

Azionamenti elettrici e sistemi di batterie

Tecnologia medica

DATA CENTER E BARRE CONDUTTRICI

IA e calcolo ad alte prestazioni fanno crescere le densità di potenza – il raffreddamento diventa il compito centrale. Il raffreddamento ad aria classico raggiunge i suoi limiti, quello a liquido guadagna importanza. Il rame stampato in 3D consente componenti di raffreddamento difficilmente realizzabili in modo convenzionale.



Cold Plates

I canali di raffreddamento sono integrati direttamente nella piastra e portano il fluido refrigerante sui punti caldi – con basse perdite di carico e quindi meno energia di pompaggio.

Dissipatori

Strutture reticolari, lamelle complesse e superfici ottimizzate in modo organico aumentano la superficie – particolarmente efficaci con il rame.

Scambiatori di calore

Canali di flusso per uno scambio termico uniforme e basse perdite di carico in meno spazio.

► Canali a forma libera anziché fori dritti

► Più superficie di raffreddamento nello stesso spazio

► Progettati per basse perdite di carico

► Più funzioni in un unico componente

Barre conduttrici e distributori di corrente

Cluster GPU e applicazioni di IA richiedono una distribuzione affidabile della corrente con densità di potenza crescenti e poco spazio. Con la stampa 3D nascono barre conduttrici, distributori e connettori in rame puro adattati esattamente allo spazio disponibile – ideali per geometrie complesse, prototipi e piccole serie.



IL SUO PROGETTO IN RAME CON PROTIQ

Prodotto a Blomberg, certificato ISO 9001 – e su richiesta con controllo qualità personalizzato.

Metodi di prova che offriamo

- ▶ **Conducibilità** con prova a correnti parassite
- ▶ **Precisione dimensionale** con tomografia computerizzata e proiezione di luce strutturata
- ▶ **Durezza** secondo Vickers (DIN EN ISO 6507)
- ▶ **Rugosità superficiale** con profilometro a tastatore
- ▶ **Tenuta** con prova a pressione con aria compressa fino a 6 bar
- ▶ **Densità del componente** con il metodo di Archimede
- ▶ **Resistenza** con prova di trazione (DIN EN ISO 6892)
- ▶ **Microstruttura** con analisi metallografica

Caricare un file

Caricare i dati 3D su protiq.com, scegliere il materiale in rame, vedere subito il prezzo.

Configurare l'induttore

Forme di bobina semplici nel configuratore gratuito.

Discutere il progetto

Forme speciali, simulazione o low-O₂: +49 5235 34 38 00



Questa brochure e altro da scaricare

Materiale informativo nell'area **download**, articoli tecnici su rame e induttori su protiq.com/downloads.

PROTIQ GmbH

A Phoenix Contact Company
Flachsmarktstraße 54
32825 Blomberg, Germania

Contatti

Telefono +49 5235 34 38 00
service@protiq.com
www.protiq.com

Online

Caricare un file:
protiq.com/konfigurator
Configuratore di induttori:
protiq.com/induktor-konfigurator