

GRAZIE AL CONTRIBUTO EDUCAZIONALE DI



ELETTROMAGNETISMO NELL'INDUSTRIA

TEORIA E APPLICAZIONI



REALIZZAZIONE

Meccanica
nuova

gruppo
tecniche nuove

OBIETTIVI	3
INTRODUZIONE	4
MAGNETOSTATICA	5
INTERAZIONI TRA CARICHE	5
INTERAZIONI TRA CORRENTI	5
INTERAZIONI TRA MAGNETI.....	6
MEZZI MATERIALI	7
MATERIALI MAGNETICI.....	7
MATERIALI FERROMAGNETICI.....	7
LA TECNOLOGIA ELETTO-PERMANENTE IN AMBITO INDUSTRIALE	9
BLOCCAGGIO PEZZO CON TECNOOGIA EPM.....	9
CONFRONTO CON I SISTEMI DI BLOCCAGGIO CONVENZIONALI	10
PRODOTTI SPD PER TORNITURA	11
CASE STUDY TSUBAKI NAKASHIMA - PINEROLO	12
CONCLUSIONI	15
KEYPOINT	16

STUDIARE

LE POTENZIALITÀ DELLA TECNOLOGIA
ELETTRO-PERMANENTE (EPM)
IN AMBITO INDUSTRIALE

ANALIZZARE

I VANTAGGI OFFERTI DAI SISTEMI
DI BLOCCAGGIO MAGNETICI
RISPETTO AI METODI
DI BLOCCAGGIO PEZZO
CONVENZIONALI

APPROFONDIRE

L'UTILIZZO DELL'EPM NELLE
APPLICAZIONI DI ASPORTAZIONE
TRUCIOLO

SCOPRIRE

LA LINEA DI ACCESSORI POLARI
SVILUPPATA PER TRASMETTERE
IL FLUSSO DAL MAGNETE AL PEZZO

W
+
e
o
o

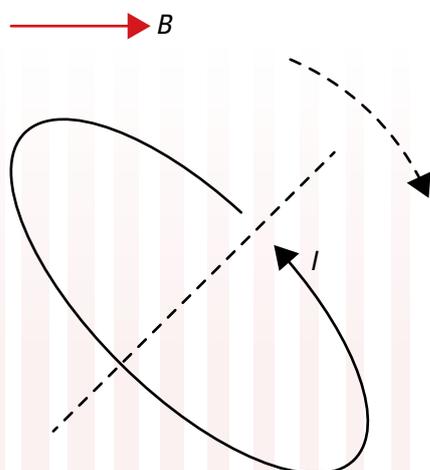


Così come un filo percorso da una corrente elettrica I_1 determina un campo magnetico descritto dall'espressione precedente, un secondo filo lungo L_2 percorso da una corrente elettrica I_2 e parallelo al primo risente di un eventuale campo magnetico esterno risultando soggetto ad una **forza detta forza** di Laplace pari a

$$F_m = I_2 L_2 B_1 = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} L$$

dove d è la mutua distanza tra i fili. La forza tra i due fili risulta attrattiva se le correnti elettriche sono equiverse, repulsiva altrimenti. In questo caso il principio di azione e reazione risulta valido: la forza che agisce su un filo risulta uguale e opposta a quella che agisce sull'altro filo.

Anziché un filo rettilineo percorso da corrente possiamo avere una **spira circolare**, o una serie di spire circolari a formare un **solenoid** lungo L . In questo caso il campo magnetico risulta sostanzialmente confinato all'interno del solenoide e diretto come l'asse del solenoide, e la sua intensità risulta determinata dal numero di spire N e modulabile per mezzo della corrente elettrica



Spira percorsa da corrente immersa in un campo magnetico esterno

I che viene fatta circolare nello stesso.

$$B = \mu_0 \frac{N}{L} I$$

Se ora poniamo una spira percorsa da corrente elettrica in un campo magnetico esterno, quest'ultimo eserciterà sui punti della spira tante piccole forze così da determinare un momento meccanico che tenderà a far ruotare la spira cercando di allinearla in modo parallelo ed equiverso al campo esterno.

INTERAZIONI TRA MAGNETI

Esiste una situazione particolare quando non siano cariche o correnti a determinare/subire il campo magnetico, ma opportuni materiali: i **magneti** o le calamite (la differenza è che i primi sono naturali, i secondi artificiali). Ogni magnete è costituito da due poli magnetici, denominati **nord** e **sud**, in grado di creare un campo magnetico nello spazio attorno a sé; diversamente dalle cariche elettriche i poli magnetici non sono separabili, per cui se si prova a spezzare un magnete in due non si ottengono due poli separati, ma due nuovi magneti ognuno con i propri poli.

Come le cariche elettriche, anche i poli magnetici interagiscono tra loro generando un'interazione detta anch'essa **forza magnetica**. Come per il caso elettrico, possiamo supporre che sia la presenza di un polo magnetico a creare un **campo magnetico** B nello spazio attorno a sé, e che l'altro polo risente della presenza di questo campo determinando tra loro una mutua interazione; anche in questo caso il ruolo dei due poli può essere invertito, per cui anche il secondo polo genererà un campo magnetico che verrà sentito dal primo polo a dare la forza agente su di esso.

MEZZI MATERIALI

**NEI MATERIALI FERROMAGNETICI
LE SPIRE DI CORRENTE ATOMICHE
TENDONO AD ALLINEARSI
AL CAMPO MAGNETICO ESTERNO
E, IN AGGIUNTA, RISULTANO
ENERGETICAMENTE FAVORITE
AD AVERE UN ALLINEAMENTO SIMILE**

MATERIALI MAGNETICI

Alla stessa stregua, quando un **materiale magnetico** risulta immerso in una zona in cui è presente un campo magnetico esterno gli elettroni degli atomi che lo costituiscono (che in una visione molto semplificata li possiamo considerare come fossero una spira percorsa da corrente che ruota attorno al nucleo) possono orientare il loro moto cercando di allineare la spira atomica al campo esterno. Complessivamente, il materiale magnetico risulta ora avere le sue "spire" non più allineate casualmente, ma preferenzialmente nella direzione del campo magnetico esterno, e tale configurazione di spire crea a sua volta un campo magnetico: tale fenomeno è detto **magnetizzazione**. Diversamente dalla polarizzazione, le spire possono o rafforzare o attenuare il

campo magnetico esterno a seconda che vengano allineate nello stesso verso o nel verso opposto di tale campo; parleremo rispettivamente di **materiali paramagnetici** o **diamagnetici**. Il fattore μ_r di cui il campo magnetico esterno risulta variato si definisce **permeabilità magnetica relativa**, ed è un valore caratteristico del materiale magnetico in questione

$$B_{tot} = \mu_r B_{ext}$$

Diversamente dalla permittività elettrica, la permeabilità magnetica non solo può essere maggiore o minore di uno, ma la differenza rispetto all'unità è solitamente di qualche parte per decina di migliaia o meno, per cui gli effetti complessivi risultano poco apprezzabili.

MATERIALI FERROMAGNETICI

Esiste poi una terza categoria di materiali magnetici, detti **ferromagnetici**, in cui il fenomeno della magnetizzazione avviene per motivi squisitamente quantistici; non solo le spire di corrente atomiche tendono ad allinearsi al campo magnetico esterno, ma in aggiunta risultano energeticamente favorite ad avere un allineamento simile, per cui il contributo al campo magnetico dato dal materiale risulta enormemente incrementato, ed il campo magnetico totale risulta centinaia/migliaia di volte maggiore del campo magnetico esterno. Se nei materiali paramagnetici o diamagnetici la magnetizzazione è proporzionale al campo

Solidi	μ_r	Liquidi	μ_r	Gas	μ_r
Argento	0.999981		Acqua	0.999992	
Bismuto	0.999834				
Rame	0.999994				
Alluminio	1.000022			Aria	1.0000004
Cromo	1.000330				
Platino	1.000265				

Valori della permeabilità magnetica relativa di alcuni materiali

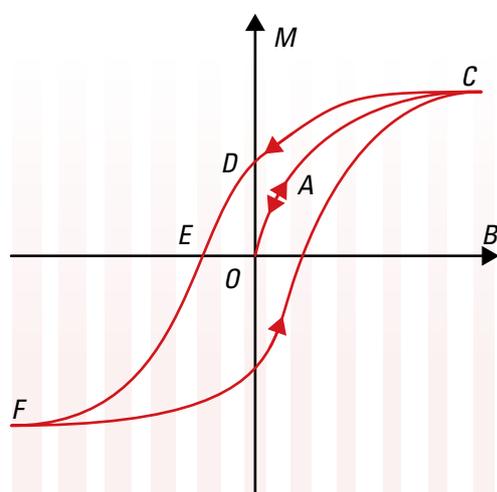
Valori della permeabilità magnetica relativa di alcuni materiali ferromagnetici

Solidi	μ_r
Acciaio	≈ 1000
Ferro (puro)	≈ 5000
μ -metal	$> 20\ 000$
Nichel	$100 \div 600$
Permalloy	≈ 8000

magnetico esterno, perché gli atomi del materiale variano di poco il loro allineamento medio, nei materiali ferromagnetici tale sostanziale proporzionalità si ha solo nella prima fase del fenomeno (**curva di prima magnetizzazione**, tratto OA della figura sotto). In tale situazione il processo è inoltre reversibile, per cui tolto il campo magnetico esterno il materiale torna ad essere non magnetico.

Continuando ad aumentare il campo magnetico esterno oltre la zona lineare la magnetizzazione aumenta e può raggiungere il suo valore massimo (**punto di saturazione**, punto C nella figura sotto) in cui si ha **magnetizzazione permanente**, ad indicare che tutte le spire magnetiche si sono allineate.

Questo intero processo di magnetizzazione è



Ciclo di isteresi di un materiale ferromagnetico

descritto da una **curva di isteresi**, perché il comportamento risulta né lineare né reversibile, e quindi differente a seconda del verso del campo magnetico esterno. Partendo ora dal materiale completamente magnetizzato (punto C in figura), se togliamo il campo magnetico esterno non torniamo nella situazione iniziale (punto O in figura), ma il materiale conserva una **magnetizzazione residua** (punto D in figura): è diventato una calamita, ed è quindi in grado di generare un campo magnetico anche in assenza di un campo magnetico esterno. Se volessimo annullare la magnetizzazione del materiale, ovvero smagnetizzarlo (punto E in figura), dovremmo applicare un campo magnetico esterno di verso opposto rispetto a quello iniziale, che se aumentato ulteriormente arriverebbe a magnetizzare il materiale nel verso opposto (punto F in figura).

Otteniamo quindi una calamita ON/OFF semplicemente agendo su un campo magnetico esterno variabile in intensità e verso, facilmente controllabile per mezzo della corrente elettrica circolante in un solenoide e con necessità di applicarla solo per cambiare lo stato di magnetizzazione e non per mantenerlo. Si ha perciò a disposizione un particolare **elettromagnete**, detto **magnete elettropermanente**, in cui

- i tempi di intervento per modificare la magnetizzazione del materiale sono minimi
- le forze di attrazione sono elevate a causa del sistema ferromagnetico in questione
- la flessibilità di azione è consentita da correnti elettriche e non da parti meccaniche
- la magnetizzazione permanente è assicurata senza necessità di ulteriore risorsa energetica.

potenza e di accessori quali le espansioni autolivellanti, con lo sviluppo dell'elettronica di comando, l'utilizzo della tecnologia di bloccaggio epm si è diffusa anche per fresatura e tornitura.

Le soluzioni epm sono la soluzione ideale per fresatura di grosse piastre, strutture saldate, grossi blocchi, stampi, ma anche pezzi di dimensioni medie e medio-piccole su centri di lavoro a 5 assi.

Tipici sono i piani magnetici a polo quadro di 2 dimensioni (50 e 70), soluzioni ideali per l'estrema versatilità, e magneti a polo parallelo, adatti a pezzi con geometrie complesse o spessori sottili. In tutti i casi i magneti sono equipaggiabili con una vasta gamma di accessori.

La polarità radiale rappresenta la miglior soluzione per il bloccaggio di pezzi assial-simmetrici. Con essa infatti è sempre garantito il perfetto bilanciamento tra poli N e S al variare dei diametri, condizione essenziale per il corretto utilizzo del sistema magnetico, al variare dei diametri del pezzo. Nell'ambito delle applicazioni di rettifica, ove il piano magnetico si è imposto da subito, la polarità parallela, nei suoi vari passi per adattare la performance del magnete alle dimensioni dei pezzi tipicamente bloccati, grazie anche ad una efficiente regolazione di potenza e alla stabilità dimensionale, rappresenta la soluzione ormai universalmente riconosciuta come ideale.

**CON LA POLARITÀ RADIALE
È SEMPRE GARANTITO IL BILANCIAMENTO
TRA POLI AL VARIARE DEI DIAMETRI,
CONDIZIONE ESSENZIALE
PER IL CORRETTO UTILIZZO
DEL SISTEMA MAGNETICO**

CONFRONTO CON SISTEMI DI BLOCCAGGIO CONVENZIONALI

La scelta del sistema di ancoraggio del pezzo da lavorare per asportazione di truciolo è spesso legata, oltre ai requisiti tecnici, alla consuetudine che porta a sistemi di tipo convenzionale, intendendo con ciò sistemi prevalentemente meccanici.

Per aprire la porta a sistemi di bloccaggio non convenzionali, come il magnetico elettro-permanente, conviene analizzare nel dettaglio i vantaggi che questi possono offrire:

1. Forza di bloccaggio uniformemente distribuita sulla superficie di bloccaggio del pezzo.

Il pezzo costituisce parte del circuito magnetico grazie al quale si genera la forza di bloccaggio: maggiore è la superficie di contatto con l'attrezzatura magnetica, maggior è la forza espressa. Il flusso sfrutta al massimo ogni cm² a sua disposizione consentendo una pressoché uniforme distribuzione della forza, limitando o eliminando le deformazioni dovute alle forze di bloccaggio dei sistemi convenzionali (morse, staffe, autocentranti etc) che invece sono concentrate nei pochi punti di bloccaggio utilizzati.

2. Velocità di ancoraggio e riduzione dei piazzamenti del pezzo

L'uso corretto del sistema epm consente l'utilizzo di una sola delle 6 superfici presenti in un pezzo, consentendo libero accesso alle altre 5 senza sbloccaggio e riposizionamento intermedio. Quindi minori posizionamenti e riduzione dei tempi di fermo macchina conseguenti. L'attivazione del sistema epm tipicamente

TSUBAKI NAKASHIMA CO. LTD PINEROLO

LA TSUBAKI NAKASHIMA CO. LTD,
GLOBAL BALLS DIVISION, DI PINEROLO
SI OCCUPA DELLA PRODUZIONE
DI COMPONENTI DI PRECISIONE
PER CUSCINETTI AD ELEMENTI VOLVENTI,
IN PARTICOLARE DI SFERE IN ACCIAIO
DI VARIE DIMENSIONI



20 IMPIANTI
DI PRODUZIONE



12
NAZIONI



3000
DIPENDENTI



500 ML
DI FATTURATO

3. Possibilità di mantenere asportazioni simili a quelle utilizzate con attrezzatura meccanica

Date le superficie di bloccaggio disponibili con tasche di alleggerimento che ne riducono l'ampiezza, la riduzione di permeabilità magnetica della ghisa componente i pezzi

e la presenza di taglio interrotto nel caso delle placche, il compito non appare banale. Grazie al corretto dimensionamento dell'attrezzatura magnetica in rapporto alle aree disponibili, è stato possibile ottenere valori di asportazione vicini a quelli originali, per avere i quali è possibile applicare una forza di serraggio meccanica aggiuntiva nettamente inferiore all'originale (fig. sotto) con grande riduzione delle deformazioni di bloccaggio sui pezzi, con planarità e parallelismo finali nettamente migliori.

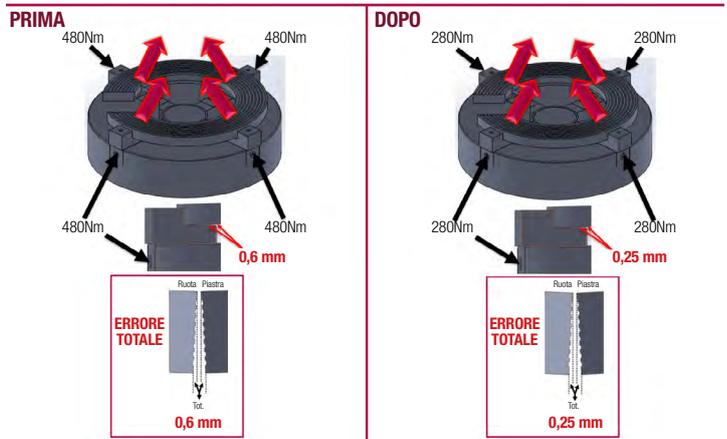
4. Controllo del residuo magnetico su dischi e placche, per evitare il trasferimento dello stesso agli elementi volventi processati successivamente.

Gli elementi volventi finiti con questi utensili sono soggetti a controllo qualitativo finale di tipo magnetoscopico; quindi, ogni residuo magnetico negli stessi elementi potrebbe falsare l'esito del test. Si tratta in questo caso di un

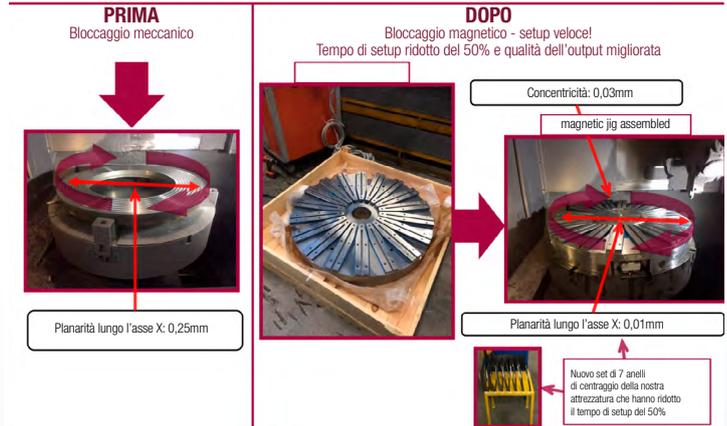
aspetto non presente con attrezzature convenzionali di tipo meccanico, da considerare in taluni casi con bloccaggio magnetico.

Pur essendo gli elementi volventi sottoposti a demagnetizzazione curata prima del controllo finale, Il mandrino

AREA DI TORNITURA E FRESATURA PARALLELISMO (primo step)



AREA DI TORNITURA E FRESATURA TORNIO IMT VL5 – POSTAZIONE DI LAVORO ERGONOMICA – SETUP VELOCE (Secondo step)

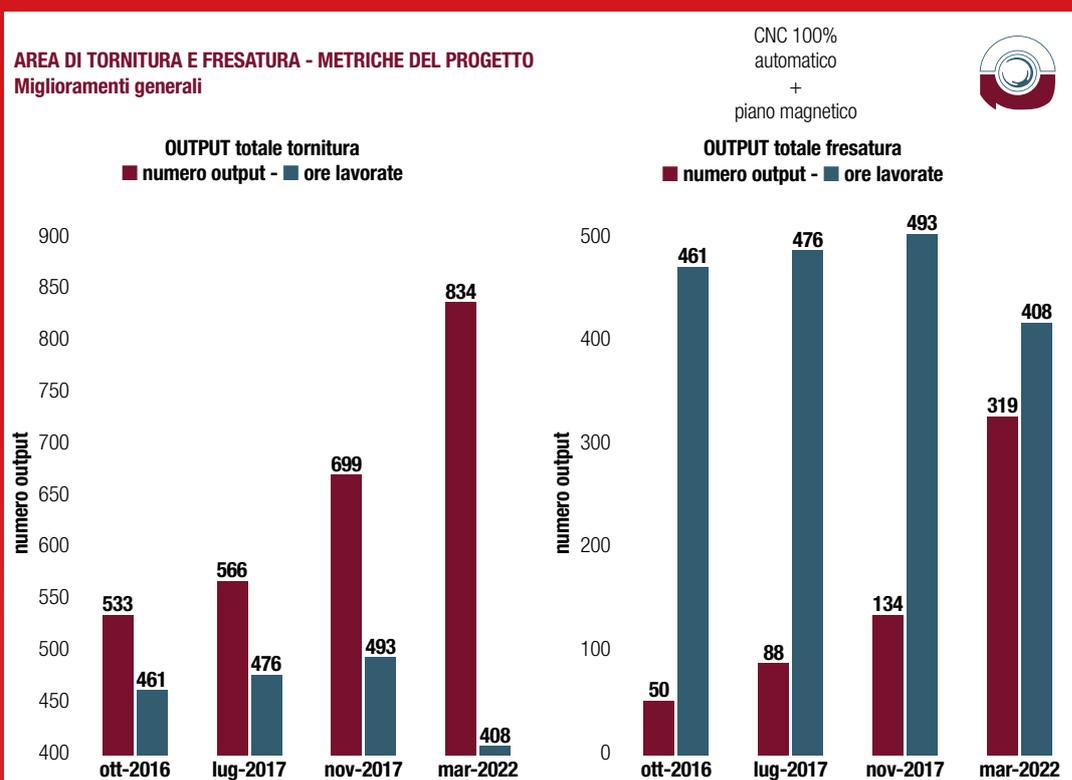


magnetico epm utilizzato in questo caso è dotato di ciclo di rilascio a zero residuo per eliminare tracce di magnetismo da dischi e placche, evitando così il trasferimento dello stesso alle sfere lavorate durante il lungo tempo di contatto della finitura.

La sostituzione dell'attrezzatura meccanica precedente con un magnete radiale elettro-permanente consente l'ottenimento dei seguenti vantaggi:

- **Bloccaggio di tutti i dischi e placche con unico magnete, con grande riduzione delle quantità di componenti d'attrezzatura.**
- **Riduzione dei tempi di set-up by 50%**
- **Errori di planarità su superficie finale da 0,25 a 0,01 mm**
- **Deformazione dovute alle forze di bloccaggio da 0,6 a 0,25 mm**
- **Riduzione del consumo utensili del 30%, grazie alle minori vibrazioni durante la lavorazione**
- **Miglioramento qualitativo degli elementi volventi (sfere) finali, grazie alle tolleranze più strette ottenute su dischi e placche.**
- **Incremento di sicurezza ed ergonomia del processo, grazie al segnale di output sullo stato magnete, che consente l'avvio della lavorazione solo a magnete attivato.**

La sostituzione dell'attrezzatura in questione rientra all'interno di un progetto di ottimizzazione del processo di rigenerazione di dischi e placche che, includendo la sostituzione di macchine e una diversa organizzazione del lavoro ha consentito, dal 2017 anno dell'installazione della prima attrezzatura magnetica, al 2022 i miglioramenti visibile nell'immagine a seguire.



**LA TECNOLOGIA EPM SVOLGE
UN RUOLO IMPORTANTE
IN APPLICAZIONI
DI ANCORAGGIO, SOLLEVAMENTO
E MANIPOLAZIONE, COME
ALTERNATIVA A SOLUZIONI
MECCANICHE PIÙ CONVENZIONALI**

**NELL'AMBITO DELLE
APPLICAZIONI DI RETTIFICA
LA POLARITÀ PARALLELA
RAPPRESENTA LA SOLUZIONE
ORMAI UNIVERSALMENTE
RICONOSCIUTA COME IDEALE**

**IL SISTEMA EPM
CONIUGA I VANTAGGI
DELL'ELETTROMAGNETE,
OSSIA L'ATTIVAZIONE TRAMITE
CORRENTE ELETTRICA,
CON QUELLI DEL MAGNETE
PERMANENTE, OSSIA
LA PERMANENZA DELLA FORZA
DI BLOCCAGGIO UNA VOLTA
RAGGIUNTO LO STATO VOLUTO**

REALIZZAZIONE

Meccanica

NEWS

Gruppo Editoriale Tecniche Nuove SpA
via Eritrea, 21 - 20157 Milano - tel. +39 02.39090.1
www.meccanicaneuws.com
www.tecnichenuove.com

GRAZIE AL CONTRIBUTO EDUCAZIONALE DI

Prof. Maurizio Zani

Ricercatore in Fisica al Politecnico di Milano

Ing. Dario Milani

Senior Sales Application Engineer presso SPD S.p.A.
Magnetic Solutions



S.P.D. Spa
via G. Galilei 2/4 - 24043 - Caravaggio (BG)
tel.+39 0363 546511
info@spd.it
www.spd.it