# GUIDA all'ASSICURAZIONE QUALITÁ dei COMPONENTI SINTERIZZATI



TUTTI I DIRITTI SONO RISERVATI. QUESTA PUBBLICAZIONE, NÉ QUALUNQUE PARTE DELLA STESSA, PUÒ ESSERE RIPRODOTTA IN NESSUNA FORMA SENZA L'AUTORIZZAZIONE SCRITTA DELL'ASSOCIAZIONE ITALIANA DI METALLURGIA.

**Copyright © 2018 Associazione Italiana di Metallurgia**

Proprietà letteraria riservata

**ASSOCIAZIONE ITALIANA DI METALLURGIA**

Via Filippo Turati 8
20121 Milano
Tel. +39 02 76397770
info@aimnet.it
www.aimnet.it

## ASSOCIAZIONE ITALIANA DI METALLURGIA ASSINTER

Nel corso degli anni 90 l'ASSINTER ha pubblicato quattro guide sulla Metallurgia delle Polveri, ora disponibili sul sito dell'ASSOCIAZIONE ITALIANA DI METALLURGIA.

In quegli anni era forte la necessità di disporre di materiale divulgativo sulla Metallurgia delle Polveri data la mancanza, anche a livello internazionale, di letteratura specifica e mirata agli obiettivi che si poneva l'Associazione.

Gli argomenti trattati nelle guide fanno parte di un unico percorso formativo che comincia dalla presentazione generale della tecnologia, fino ad arrivare al controllo di qualità dei prodotti finiti, passando attraverso un confronto con le tecnologie concorrenti e le tecniche di progettazione dei componenti sinterizzati.

Avendo l'ASSINTER cessato la propria attività e tenuto conto del patrimonio culturale rappresentato dalle guide, gli autori delle stesse hanno deciso di renderle disponibili al pubblico grazie al coinvolgimento e l'interessamento della ASSOCIAZIONE ITALIANA DI METALLURGIA.

## GUIDA ALL'ASSICURAZIONE QUALITÁ DEI COMPONENTI SINTERIZZATI

Questa guida, pubblicata da **ASSINTER** e ora distribuita da **Associazione Italiana di Metallurgia**, si propone di offrire a coloro che utilizzano i componenti sinterizzati nei loro prodotti una sintesi delle procedure atte ad assicurare la qualità delle forniture, indicando anche le modalità per instaurare un corretto rapporto tra fornitore e consumatore.
In essa vengono indicati i criteri ed i limiti con cui, tenendo conto della porosità residua, vanno accertati non solo i livelli delle caratteristiche oggetto di specifiche ma anche la loro relazione con le proprietà d'impiego, e quindi i metodi con cui la si può stabilire correttamente e nella forma più diretta possibile.
Analogamente alle altre tre pubblicazioni
GUIDA ALL'UTILIZZO DEI COMPONENTI SINTERIZZATI
COMPETITIVITÁ DEI COMPONENTI SINTERIZZATI
GUIDA ALLA PROGETTAZIONE DEI COMPONENTI SINTERIZZATI
questa guida vuole offrire agli utilizzatori, in particolare agli acquisitori e agli addetti ai collaudi dei componenti, un panorama organico sugli elementi da considerare nel momento in cui si definisce il capitolato di fornitura e si mettono a disegno le specifiche che saranno poi oggetto di collaudo.
Poichè l'affidabilità di ogni specifico componente dipende soprattutto da quanta cura è stata posta nella conduzione della produzione, vengono qui evidenziati i principali parametri di governo di ciascun processo e le modalità del loro controllo.

## INDICE


INTRODUZIONE ALL'ASSICURAZIONE QUALITA' ..... 3
TECNOLOGIE DI FORMATURA NELLA METALLURGIA DELLE POLVERI ..... 4
CICLO DI PRODUZIONE DEI COMPONENTI SINTERIZZATI ..... 5
LAVORAZIONI SECONDARIE SPECIFICHE ..... 5
LAVORAZIONI SECONDARIE GENERICHE ..... 7
QUALITA' E RAPPORTI TRA UTILIZZATORI E PRODUTTORI ..... 10
QUALITÀ NELLA PROGETTAZIONE ..... 10
QUALITÀ NELLO SVILUPPO ..... 10
COMPONENTI PROTOTIPALI ..... 11
QUALITÀ NELLA PRODUZIONE ..... 11
ASSICURAZIONE QUALITÀ E SUE ESIGENZE ..... 12
RAPPORTI TRA PRODUTTORI E UTILIZZATORI ..... 12
METALLURGIA DELLE POLVERI E SISTEMI DI QUALITA' ..... 14
RUOLO DEI MATERIALI ..... 14
RUOLO DELLA POROSITÀ E DELLA STRUTTURA ..... 15
RUOLO DELLE FORME ..... 16
CARATTERISTICHE FUNZIONALI: USO PROGETTUALE E INDICAZIONE A DISEGNO ..... 18
ASSICURAZIONE QUALITA' NELLA METALLURGIA DELLE POLVERI ..... 26
CAMPIONAMENTO ..... 26
ASSICURAZIONE QUALITÀ IN PRODUZIONE ..... 26
*Materie prime e miscelazione* ..... 27
*Pressatura* ..... 28
*Sinterizzazione* ..... 29
*Calibratura e ricompressione* ..... 30
*Lavorazioni d'utensile* ..... 31
*Processi di giunzione* ..... 32
*Ossidazione in vapore dei sinterizzati a base ferro* ..... 32
*Infiltrazione* ..... 33
*Trattamenti termici - cementazione e tempra dei sinterizzati a base ferro* ..... 34
*Trattamenti termici - leghe non ferrose, materiali magnetici* ..... 35
*Impregnazione con olio* ..... 35
*Impregnazione con resine* ..... 35
*Rivestimenti superficiali* ..... 35
CONTROLLO E COLLAUDO DEI COMPONENTI ..... 36
PROVE FISICO MECCANICHE SUI COMPONENTI STRUTTURALI ..... 36
*Densità* ..... 36
*Durezza apparente* ..... 38
*Durezza vera e profondità di indurimento* ..... 40
*Caratteristiche meccaniche statiche e dinamiche* ..... 41
*Struttura metallografica* ..... 42
*Rugosità* ..... 42
*Caratteristiche fisiche e chimiche* ..... 43
*Composizione chimica* ..... 43
PROVE SUI COMPONENTI PER IMPIEGHI MAGNETICI ..... 44
*Caratteristiche fisico meccaniche* ..... 44
*Caratteristiche dei magneti dolci* ..... 44
*Caratteristiche dei magneti duri* ..... 44
PROVE SULLE BOCCOLE ..... 45
*Densità, porosità aperta, contenuto di olio e sua natura* ..... 45
*Caratteristiche fisico meccaniche* ..... 45
*Composizione chimica e struttura metallografica* ..... 45
PROVE SU FILTRI ..... 46
*Proprietà filtranti* ..... 46
CONTROLLO INTEGRITA' STRUTTURALE ..... 48
BAVE, SGRETOLAMENTO SPIGOLI ..... 48
CRICCHE ..... 48
CARATTERISTICHE DI ASPETTO ..... 49
APPENDICE: NORME NELL'ASSICURAZIONE QUALITÀ ..... 50
BIBLIOGRAFIA ..... 53

# INTRODUZIONE ALL'ASSICURAZIONE QUALITÁ

L'acquisto di un prodotto da parte dell'utilizzatore finale è la conclusione di un processo di scelta tra le proposte del mercato; in esso l'analisi più o meno conscia del rapporto prestazioni/costo, le considerazioni funzionali ed estetiche, si accompagnano sempre alla percezione del livello di qualità in termini di affidabilità, conformità alle specifiche d'uso, assistibilità per manutenzione, durata in rapporto ai termini di garanzia. Il miglior convincimento si origina però dalla sensazione di quanto soddisfatti siano gli utenti con esperienza diretta: questo comune giudizio costituisce la base della reputazione dell'offerente. Qualità e modi per assicurarla sono oggi una componente essenziale della nostra cultura industriale: non c'è attività che non sia impostata seguendo indicazioni e schemi ormai consacrati dall'uso e soggetta a procedure atte a garantirla, qualunque sia il tipo di prodotto o di servizio che viene fornito. Le norme raccolte nella serie ISO 9000 ed ulteriormente elaborate nella QS 9000 e VDA 6.1 rappresentano la sintesi del sistema globale di qualità che tutte le aziende devono applicare, e ciò qualunque sia la loro posizione nella catena dei trasferimenti delle forniture, dalla produzione delle materie prime alla consegna del prodotto finale.
Regole e strumenti per assicurare la qualità sono pertanto comuni a tutti i settori dell'industria e indipendenti come filosofia dal tipo di componente che viene fabbricato. Nel caso specifico dei sinterizzati ed in particolare quando questi sono prodotti mediante pressatura in stampi rigidi, l'applicazione di questi metodi presenta ovviamente alcune particolarità, legate sia alla natura porosa dei pezzi sia alle modalità con cui il ciclo produttivo si svolge: la puntualizzazione di questi aspetti e gli insegnamenti che ne derivano dettano una serie di norme di comportamento su cui deve esserci pieno accordo tra tra le parti.

Il punto d'incontro sui temi della qualità è rappresentato dalla comune interpretazione delle modalità e dei parametri con cui si definiscono:

- **funzionalità del componente all'atto della progettazione**: scelta tra i materiali proponibili, col rispettivo livello e campo di tolleranza delle caratteristiche ritenute essenziali ai fini dell'impiego, le forme possibili, le tolleranze dimensionali;
- **risposta alle sollecitazioni in opera**: prove su pezzi prototipali con conferma delle proprietà da mettere a specifica;
- **producibilità del componente**: adattamento di un ciclo di produzione standard o sviluppo di un ciclo ad hoc, con verifica della capacità dei processi;
- **collaudo delle forniture**: piani di campionamento, criteri di controllo e suoi strumenti.

Per quanto riguarda i produttori le azioni da compiere sono raccolte nei loro manuali della qualità, mentre nel caso degli utilizzatori le norme rappresentano il compendio delle loro esigenze di garantire in modo non episodico e adeguatamente documentato l'affidabilità delle forniture.

Quando l'utilizzatore acquista il prodotto da aziende che, come i membri ASSINTER, hanno ottenuto la certificazione dei loro sistemi di qualità e dimostrano in sede di audit di saperla mantenere, ha la garanzia che è stato fatto quanto industrialmente possibile per soddisfare le sue esigenze.

# TECNOLOGIE DI FORMATURA NELLA METALLURGIA DELLE POLVERI

Se la metallurgia delle polveri ha rappresentato la scelta vincente tra le possibilità offerte dalle varie tecnologie di formatura atte a produrre un dato componente, ciò vuol significare che si sono soddisfatte non solo le specifiche economiche e tecniche ma anche il livello di qualità richiesto dall'applicazione. I processi di una certa rilevanza per la componentistica meccanica sono:

**Stampaggio polveri ad iniezione**: componenti di forma estremamente complessa e di piccole dimensioni;

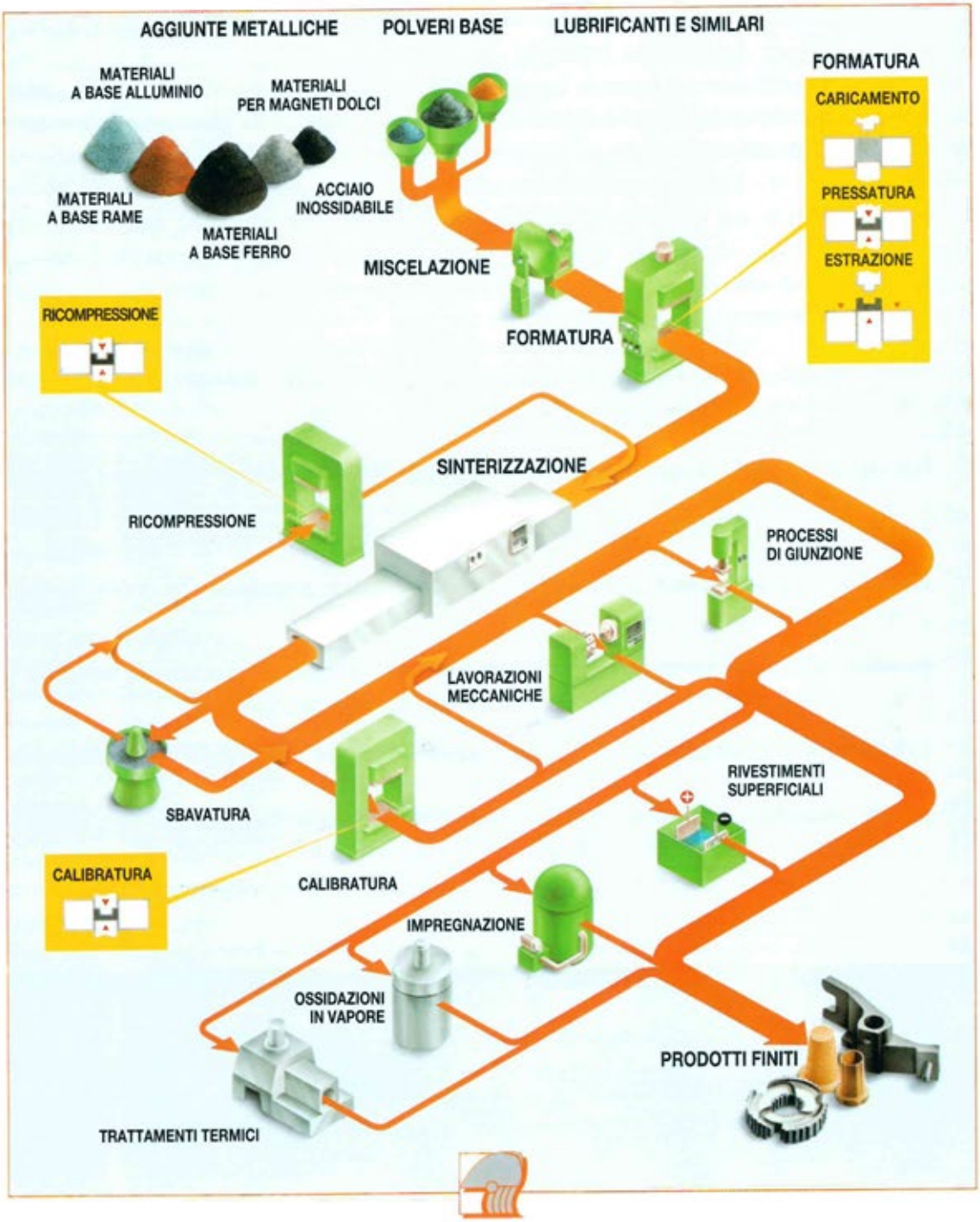
**Forgiatura di sbozzati sinterizzati**: bielle per motori di autoveicoli, anelli sincronizzatori;

**Pressatura isostatica a caldo**: dischi ed alberi per turbine in superleghe, parti di grandi dimensioni;

**Pressatura isostatica a freddo**: utensili quali frese, maschi, creatori, camicie per cilindri, parti di grandi dimensioni;

**Pressatura polveri in stampi rigidi**: è di gran lunga il processo più usato (oltre il 90% dei componenti viene prodotto per questa via) e permette di ottenere forme complesse con relativa facilità, in genere senza ulteriori lavorazioni e con costi contenuti.

Il suo ciclo di produzione è presentato nello schema sottostante.



Lo schema del ciclo presentato nella pagina precedente illustra le tre fasi fondamentali: le polveri vengono opportunamente miscelate e poi pressate a freddo in stampi rigidi; col parco presse in dotazione alle nostre aziende si possono produrre componenti il cui peso unitario va dal grammo al chilogrammo, con cadenze produttive che, nel caso di parti di media complessità, vanno di solito dal centinaio al migliaio di pezzi ora.
I pezzi così formati sono quindi sinterizzati in forni speciali ad atmosfera controllata ed assumono a questo punto una struttura monolitica grazie alla formazione di legami metallurgici tra i granuli, che si erano compenetrati durante la pressatura, acquistando le proprietà d'impiego.
Se è verificato che forma, tolleranze e proprietà fisico meccaniche corrispondono a quanto previsto a disegno, i pezzi sinterizzati sono avviabili direttamente al montaggio, in quanto non sono richieste operazioni di ripresa.
Se necessario, i sinterizzati sono assoggettabili senza particolari difficoltà a lavorazioni secondarie per impartire loro determinate proprietà, non ottenibili col ciclo prima descritto.
Le lavorazioni generiche sono effettuate nella maggioranza dei casi dallo stesso produttore, ma le può eseguire anche l'utilizzatore, cui verranno consigliati i parametri operativi adatti; le lavorazioni specifiche sono praticate quasi esclusivamente dal sinterizzatore.

*L'introduzione di lavorazioni secondarie arrichisce le possibilità del ciclo produttivo, però fa crescere il costo dei componenti. Tenendo presente che il più delle volte è indispensabile eseguire lavorazioni analoghe sulle parti prodotte cogli altri processi di formatura, i costi relativi hanno praticamente la stessa incidenza e il sinterizzato mantiene i vantaggi acquisiti col ciclo fondamentale di pressatura e sinterizzazione.*

## LAVORAZIONI SECONDARIE SPECIFICHE

La presenza della porosità residua permette l'esecuzione di lavorazioni che risultano peculiari dei sinterizzati; alcune di esse impartiscono caratteristiche innovative rispetto alle tecnologie tradizionali.
Nella maggioranza dei casi queste operazioni sono praticate dal fornitore stesso e richiedono cicli appropriati.

### CALIBRATURA

E' da richiedere nel caso in cui le tolleranze dopo sinterizzazione non soddisfano le prescrizioni a disegno. Il pezzo sinterizzato viene rimesso in uno stampo, specifico per questa operazione (e quindi diverso da quello di pressatura) e, mediante l'azione dei punzoni, sottoposto a deformazione plastica, con lieve riduzione della porosità residua. Con questa operazione si ricuperano eventuali deformazioni originatesi nella fase di sinterizzazione, si correggono profili esterni (p. es. di camme, ingranaggi) e interni (fori sagomati), si impartiscono tolleranze più ristrette e una migliore finitura superficiale.

## OSSIDAZIONE IN VAPORE

Il trattamento, limitato ai sinterizzati ferrosi, consiste nel far agire il vapor d'acqua sui pezzi portati ad un opportuna temperatura, con formazione di una pellicola sottile di $Fe_3O_4$ in superficie e dentro la porosità interconnessa, eventualmente sigillandola (p. es. nel caso di componenti per compressori frigoriferi).
Questa operazione, che induce variazioni dimensionali limitate, dà origine a un incremento assai sensibile di resistenza alla compressione e quindi di durezza (a spese però della tenacità), migliora la resistenza alla corrosione e, se è presente un lubrificante, garantisce una buona resistenza a usura.

## RICOMPRESSIONE

Dopo sinterizzazione il componente viene di nuovo sottoposto a pressatura a freddo (si riduce sensibilmente la porosità) e sinterizzato nuovamente.
Questa operazione permette di ottenere densità relative superiori al 90% ($\rho = 7{,}2 \div 7{,}5$ g/cm$^3$ nel caso degli acciai) con un sensibile incremento di proprietà e può essere richiesto per componenti strutturali dinamicamente molto sollecitati e per nuclei magnetici.

## IMPREGNAZIONE CON OLI

Questa operazione satura con oli lubrificanti la porosità interconnessa e si può raccomandare non solo per le boccole ma anche per componenti strutturali tipo camme o ingranaggi (densità relativa 90%) funzionanti in meccanismi soggetti a strisciamento: l'usura viene evitata grazie al fatto che i pori conservano una riserva di olio, che sopperisce ad una eventuale carenza di lubrificazione esterna.

## IMPREGNAZIONE CON RESINE

Ha lo scopo di rendere impermeabile il componente ed è da prescrivere su parti a contatto con fluidi in pressione o corrosivi. E' anche impiegata come trattamento preparatorio ai rivestimenti superficiali, per migliorare la lavorabilità all'utensile e ancora per conferire un effetto di lubrificazione.

## INFILTRAZIONE

La porosità interconnessa è saturata con leghe a temperatura di fusione non superiore a quella di sinterizzazione del metallo base del componente: i sinterizzati ferrosi si possono infiltrare con rame, di solito nella fase di sinterizzazione. L'infiltrazione rende impermeabili i pezzi (che possono così essere brasati) e c'è un certo aumento di proprietà meccaniche, ma a spese della precisione dimensionale. Il comportamento nel trattamento termico (p. es. nella cementazione o nella tempra a induzione) diventa simile a quello degli acciai compatti, a causa della sigillatura della porosità superficiale.

## LAVORAZIONI SECONDARIE GENERICHE

La prescrizione è ovvia, in quanto si eseguono con finalità uguali a quelle di pezzi analoghi in materiale compatto, ma con modalità che tengono conto della porosità residua.

## TRATTAMENTI TERMICI

Le trasformazioni strutturali dipendono dalla composizione e dall'omogeneità della lega e non dalla porosità: tutti i sinterizzati si possono ricuocere, le leghe di alluminio si possono solubilizzare e poi invecchiare e, nel caso degli acciai e tenendo conto del tenore di carbonio e degli elementi leganti presenti, si possono prescrivere la tempra, la cementazione (carburazione, carbonitrurazione, nitrurazione al plasma, ecc.), la tempra a induzione; segue di solito un rinvenimento, in aria oppure olio.
La profondità di indurimento superficiale presenta una dispersione maggiore (p. es. 0,4 mm per = 6,8 g/cm$^3$) se paragonata a quella dei compatti corrispondenti, a parità di condizioni di trattamento.
Sia i fornitori che gli utilizzatori possono praticare queste operazioni purchè gli impianti siano adeguati e i cicli di trattamento correttamente formulati: la porosità interconnessa richiede un controllo accurato dell'atmosfera dei forni e i trattamenti in bagno di sale devono essere se possibile evitati, a causa dei residui di sale che rimangono nei pori.
E' anche necessario ricordare che gli oli utilizzati negli spegnimenti e nei rinvenimenti hanno uno scarso potere lubrificante e devono essere estratti per sgrassatura e sostituiti da prodotti più efficienti in applicazioni dove l'usura può diventare un problema.

## LAVORAZIONI DI UTENSILE

Forme complesse e buone tolleranze sono due punti essenziali a favore dei sinterizzati, ma i pezzi possono includere particolarità di forma che non si riescono ad ottenere direttamente di stampo o rendono l'operazione economicamente sfavorita. In questi casi può essere necessario ricorrere a operazioni quali fresatura, foratura (p. es. fori perpendicolari alla direzione di pressatura) filettatura, lavorazione di gole.
In generale i sinterizzati sono meno facilmente lavorabili delle leghe compatte di uguale composizione e struttura, perciò i parametri di taglio e gli utensili stessi vanno adattati al processo per ottimizzarne il rendimento. Altri punti sono l'azione del tagliente dell'utensile sulla porosità superficiale che diventa occlusa (può essere dannoso agli effetti dell'autolubrificazione), l'assorbimento dei fluidi da taglio nella porosità aperta, l'intrappolamento di particelle di abrasivo a seguito di rettificatura (problemi di usura successiva). Questi problemi sono ben noti ai fornitori di sinterizzati: gli utilizzatori hanno bisogno della loro consulenza se devono fare da se queste lavorazioni.
Sia la lavorabilità che la finitura superficiale possono essere migliorate includendo nella miscela di polveri di partenza opportuni additivi, p. es MnS negli acciai o Pb nelle leghe di rame; dopo sinterizzazione rimangono efficacemente distribuiti nella struttura e le proprietà meccaniche sono influenzate solo marginalmente.

## OPERAZIONI DI GIUNZIONE

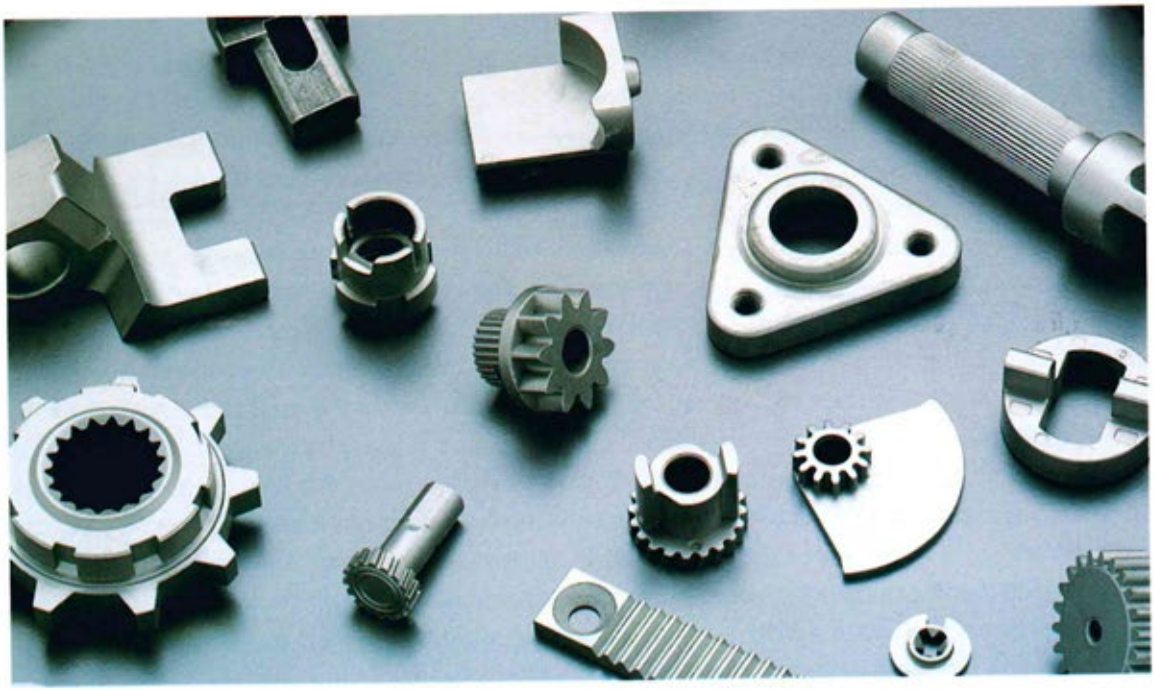
Sono oggi in uso diversi processi che permettono di unire sia sinterizzati fra loro che con parti in materiali compatti e persino ceramici, in modo da creare forme estremamente complesse e di assiemare materiali notevolmente diversi dal punto di vista delle caratteristiche e del costo. Una combinazione particolarmente brillante si può realizzare usando i sinterizzati come inserti in uno stampaggio a iniezione di materie plastiche.
La giunzione per interferenza e/o diffusione è una tecnica affermata da lungo tempo: i pezzi sono pressati separatamente, assemblati al verde e poi sinterizzati; le coppie di materiali sono scelte in modo da bilanciare le variazioni dimensionali nella sinterizzazione perché uno si dilata e l'altro si restringe, creando giunzioni sicure.
La saldatura elettrica a proiezione o quella a laser sono applicate di solito solo ai sinterizzati ferrosi: è richiesta una corretta progettazione delle proiezioni e una scelta oculata delle condizioni operative; ancora una volta si consiglia agli utilizzatori di consultare i fornitori se decidono di eseguire in casa queste lavorazioni.
La porosità interconnessa rende problematici i processi tipo brasatura o incollaggio con adesivi; in quest'ultimo caso si possono impiegare adesivi ad alta viscosità.

## RIVESTIMENTI SUPERFICIALI

Se necessario la resistenza alla corrosione si può realizzare con rivestimenti adatti. I processi sono caratterizzati da cicli di pre e post-trattamento sviluppati apposta per i sinterizzati: p. es. l'intrappolamento delle soluzioni chimiche nei pori può diventare un problema e, se il costo lo consente, si può risolvere con una preventiva impregnazione con resine.

## SBAVATURA

L'operazione serve ad eliminare le piccole bave originatesi in pressatura e dovute alle particelle di polvere più fini, che si infilano nelle luci tra matrice, punzoni e anime.





# QUALITÁ E RAPPORTI TRA UTILIZZATORI E PRODUTTORI

L'applicazione di specifici sistemi di qualità investe l'insieme degli stadi in cui si articola l'attività e, per la parte che riguarda i rapporti reciproci tra fornitore e utilizzatore, comprende le fasi che vanno dalla concezione della funzione al collaudo di accettazione del componente.
Poiché la formatura in stampi rigidi è il processo industrialmente più importante, nelle pagine che seguono si illustreranno i sistemi di qualità ad esso collegati.

## QUALITÀ NELLA PROGETTAZIONE

L'analisi di fattibilità è lo strumento di qualità che permette di verificare passo dopo passo la correttezza delle scelte del progettista: egli definisce una funzione, ne indica le specifiche e stabilisce il costo che è permesso associarle. Dopo aver concepito in modo preliminare la forma del pezzo ne chiarisce le esigenze in opera (p. es. sollecitazioni) e le interazioni con gli altri componenti: ciò gli permette di identificare i materiali adatti alla funzione e ipotizzare i processi produttivi praticabili.
Una volta scelto il materiale ed il processo può quindi definire nel disegno forma e dimensioni del pezzo scrivendone le specifiche definitive. In questo caso il solo compito del produttore sarà quello di adattare un ciclo di produzione.
Un ulteriore strumento di qualità è rappresentato oggi dalle tecniche di analisi FMEA (Failure Mode Effect Analysis) applicato al progetto dell'insieme di cui fa parte il componente: esso permette al progettista di rilevare le criticità che il componente può originare nel prodotto durante il suo uso in opera per effetto di deviazioni dalle condizioni standard di funzionamento.
Questo tipo di informazione deve essere fornito al produttore, soprattutto nel caso in cui venga richiesto di completare il progetto, definendo lui stesso forma dimensioni e caratteristiche funzionali del componente e di indicarne o eventualmente svilupparne un ciclo di produzione. Se l'analisi FMEA non è stata effettuata devono comunque essere date le indicazioni atte a individuare aspetti funzionali, esigenze e criticità dell'insieme in cui il componente è montato.

## QUALITÀ NELLO SVILUPPO

La responsabilità è del produttore, con la necessaria collaborazione dell'utilizzatore. Lo strumento fondamentale è la programmazione delle attività con le tecniche d'uso (p. es. coi diagrammi tipo PERT) che permettono di pianificare e gestire correttamente lo sviluppo, di valutare e predisporre le risorse necessarie, di controllare lo svolgimento delle attività e infine di mantenerle in fase coi reciproci interessi.
Se rientra in questa fase, ma il discorso vale anche per quelle successive, la progettazione CAD degli stampi secondo specifiche norme rientranti nel know how aziendale costituisce un ulteriore contributo alla qualità.

## COMPONENTI PROTOTIPALI

Sono lo strumento per la qualificazione del prodotto. Secondo le modalità di approntamento l'impatto sulla qualità è diverso, sia per il produttore che per l'utilizzatore. La via meno costosa e rapida è quella di lavorare di utensile degli sbozzati sinterizzati, allestiti col materiale prescelto e assoggettati al ciclo di produzione che dovrebbe conferire loro le caratteristiche fisico meccaniche d'impiego; ottenuti i pezzi, seguono le verifiche funzionali, su banchi di prova o sul prodotto finale cui il componente è destinato.
I risultati della sperimentazione sono di solito interpretati dall'utilizzatore in termini decisionali (si opta o meno per la soluzione) ma, più complessa è la forma del pezzo, tanto maggiori possono risultare le differenze di struttura locale, in particolare di densità, tra il pezzo lavorato e quello che uscirà dallo stampo: questi aspetti vanno discussi col produttore.
La scelta di ottenere il prototipo con lavorazione d'utensile non fornisce al produttore informazioni puntuali ne sulla qualità finale ne sui problemi produttivi cui andrà incontro.
Le informazioni più complete per entrambi si hanno quando, essendo note le sollecitazioni in opera (quelle meccaniche si possono simulare al computer, p.es mediante analisi con gli elementi finiti) e stabilito il materiale, è possibile il disegno definitivo come forma, dimensioni e tolleranze. Con queste premesse viene allora costruito lo stampo di formatura, praticamente anch'esso definitivo, e si adatta un ciclo di produzione. Le prove sui prototipi metteranno in evidenza le eventuali criticità: l'ulteriore passo di miglioramento della qualità si può compiere stabilendo le relazioni causa conseguenze che originano l'eventuale insuccesso (Failure Analysis) e quindi intervenendo in modo mirato.
Un terzo modo di ottenere pezzi prototipali è quello che combina i due precedenti: si pressa uno sbozzato la cui forma è molto vicina a quella definitiva e le particolarità mancanti vengono lavorate d'utensile; se le prove danno esito favorevole si passa allo stampo di produzione. Le implicazioni sulla qualità non differiscono significativamente da quelle dei prototipi ricavati integralmente di utensile.

## QUALITÀ NELLA PRODUZIONE

Dal punto di vista ideale la trasformazione della materia prima nel prodotto finito è un processo basato su di un certo numero di leggi fisiche e governato da parametri i cui livelli permettono di pilotare in senso favorevole l'evoluzione dei fenomeni.
Se la situazione fosse completamente nota, anche in termini quantitativi, il prodotto verrebbe definito con precisione nelle sue caratteristiche e non sarebbe neppure necessario il collaudo; la realtà è che le condizioni di partenza e quelle operative non sono tutte note, e quelle note non sono sufficientemente precise ne costanti nel tempo.
Tanto più elevata è questa incertezza e tanto più il processo si deve pilotare attraverso le proprietà del prodotto.
Il sistema di qualità operante nella produzione ha pertanto diverse funzioni:

- concorre nella identificazione per quanto possibile esauriente dei vari fattori che contribuiscono alla determinazione delle caratteristiche del prodotto;
- attraverso l'analisi delle relazioni causa-effetto sul prodotto mediante le metodologie FMEA applicate sia ai mezzi di produzione che al processo, permette di scegliere mezzi adeguati e di precisare l'impostazione del processo e dei suoi parametri di lavoro;
- impone la stesura della norma di processo: essa deve includere i cicli di lavorazione coi mezzi in essi impiegati, le condizioni operative e le modalità per controllarle e mantenerle, e infine le procedure di controllo delle specifiche previste per il prodotto e i valori che esse devono assumere;
- permette l'impostazione del controllo statistico di processo (SPC), se le operazioni forniscono un prodotto relativamente stabile nel tempo.

## ASSICURAZIONE DELLA QUALITÀ E SUE ESIGENZE

In termini di affidabilità, la richiesta degli utilizzatori oggi prevede che le caratteristiche oggetto di specifica debbano rientrare nei rispettivi campi di tolleranza con una probabilità non inferiore al 99,95%: l'assicurazione qualità del produttore può soddisfarla con la gestione dei processi con il SPC quando esso è applicabile alla caratteristica in questione, p. es. mediante le carte di controllo, altrimenti deve effettuare il controllo al 100% dei componenti, se possibile in automatico per gravare meno sui costi.
I margini con cui una data caratteristica di un componente rientra nelle specifiche vengono correntemente stimati coi parametri Cp e Cpk, che esprimono la capacità del processo con cui la caratteristica stessa si ottiene per il componente in questione: tanto più elevati sono questi valori e tanto più affidabile è il modo con cui la proprietà stessa viene acquisita.
Questi valori sono sovente oggetto di accordi tra utilizzatori e sinterizzatori, con eventuali controlli periodici e con possibile affinazione delle condizioni di lavoro: con le informazioni ricavate dal SPC i produttori possono riuscire a limitare la dispersione delle caratteristiche sottoposte a collaudo e di conseguenza presentare un Cpk più appetibile.

***Oltre al prezzo, l'utilizzatore ha così un ulteriore elemento di valutazione dell'offerta, ma deve mettere a specifica solo caratteristiche e rispettivi campi di tolleranza indispensabili ai fini funzionali: l'indicazione di vincoli non necessari riduce la capacità del produttore di offrire soluzioni affidabili e competitive a livello costi.***

Il collaudo delle caratteristiche, chiunque lo esegua, deve affidarsi a norme e, dove queste sono lacunose o non esistono, a procedure e relativa strumentazione, da definire di comune accordo.

## RAPPORTI TRA PRODUTTORI E UTILIZZATORI

Le regole cui entrambi devono conformarsi sono quelle che accompagnano le forniture di un qualsiasi componente da inserire in un prodotto, e i sinterizzati non fanno eccezione.
L'utilizzatore ha la responsabilità della completezza delle specifiche da includere nel capitolato di fornitura, tenendo conto delle caratteristiche peculiari dei componenti sinterizzati e dei processi usati per produrli.
E' importante che il produttore sia stato preventivamente informato sull'insieme in cui il componente verrà montato, in particolare sulle sue possibili criticità in termini di accoppiamenti tra i vari pezzi, modalità di funzionamento, condizioni ambientali, vita utile, ecc: al produttore queste informazioni sono utili per impostare un'assicurazione qualità mirata al risultato.
Il produttore ha la responsabilità di gestire la qualità dei propri processi di fabbricazione con cognizione di causa, anche per gli aspetti che le norme di processo non contemplano in quanto non parametrizzabili.
Le controversie su aspetti che non sono stati considerati al momento in cui si sono definite le specifiche vanno risolte quando fattibile introducendo nel sistema qualità nuovi e adeguati controlli.





Il processo logico sin qui descritto ha applicazione generale. Nel caso dei sinterizzati i sistemi di qualità devono tener conto di problematiche peculiari, legate al fatto che la materia prima si presenta sotto forma di polvere e, per dare origine al pezzo, deve essere sottoposta ad un processo di consolidamento che lascia inevitabilmente della porosità residua.
La gestione della variabilità e la conseguente applicazione di sistemi di qualità ad hoc non è una esclusiva del produttore: anche l'utilizzatore, con le sue scelte, può modificare il quadro di riferimento.

## RUOLO DEI MATERIALI

### NEL PROGETTO

Ai fini delle proprietà fisico meccaniche la composizione è un elemento basilare: i dati sono reperibili in pubblicazioni specializzate e nei database.
Le composizioni più comuni e le rispettive proprietà sono oggetto di norme (in particolare vedi ISO 5755). I produttori di componenti possono offrire materiali non standard.
Dal punto di vista pratico la formulazione dei materiali avviene per lo più pressando miscele di polveri elementari o polveri prelegate per diffusione; in questo modo si ottiene il massimo della comprimibilità, cioè dell'attitudine a densificare per effetto della pressione applicata. Solo quando espressamente richiesto (p.es. nel caso della resistenza alla corrosione) si usano polveri omogenee a livello composizione delle particelle.
Dati i complessi meccanismi che accompagnano la sinterizzazione, la scelta della formulazione influisce sulla stabilità dimensionale ottenibile alla fine del ciclo: oltre ad alcune caratteristiche delle materie prime (distribuzione granulometrica delle particelle, loro stato di ossidazione superficiale) la composizione gioca un ruolo importante nel determinare la variabilità delle tolleranze dimensionali: da questo punto di vista occorre notare che, analogamente ai ritiri che si hanno in fonderia durante la solidificazione, anche nei sinterizzati si hanno variazioni dimensionali sotto forma di ritiri o espansioni; esse dipendono da come procede l'alligazione tra i vari costituenti, dal grado di omogeneizzazione della struttura finale e soprattutto dagli spostamenti di materia (diffusione superficiale e in volume, con saldatura tra le particelle) per effetto dei meccanismi che governano il fenomeno della sinterizzazione, guidati dalle condizioni di quest'ultima.
Ai fini della stabilità dimensionale ci sono dunque formulazioni che, a parità di altre caratteristiche, offrono componenti più precisi.

### NELLA PRODUZIONE

La materia prima è offerta in qualità standardizzate e vincolate ad un complesso di specifiche, i cui limiti sono certificati dai fornitori anche in termini di capacità dei loro processi e con indici relativamente soddisfacenti. Malgrado ciò alcuni di questi limiti (tipica la tolleranza sulla densità apparente) possono risultare non sufficientemente stretti, in particolare nella fase di pressatura, e obbligare il produttore a gestire la variabilità che ne consegue.
Per quanto riguarda le dimensioni, una sorgente di variabilità può originarsi a seguito di variazioni locali di composizione chimica: si ha un diverso ritiro durante la sinterizzazione e alcune quote possono venirne influenzate.

# RUOLO DELLA POROSITÀ E DELLA STRUTTURA

## NEL PROGETTO

Analogamente ai componenti prodotti in modo tradizionale, la formulazione della lega e le operazioni termomeccaniche determinano la struttura ottenibile nei sinterizzati, ma con un ulteriore grado di libertà: entro i limiti concessi dal processo di formatura prescelto, la metallurgia delle polveri permette infatti di pilotare il livello di porosità presente nel componente alla fine del ciclo.
La maggior parte delle proprietà fisico meccaniche, in particolare quelle da mettere a specifica, ne viene così influenzata.
L'altro aspetto da tener presente è la distribuzione degli elementi leganti nella struttura: nel caso dei materiali compatti gli elementi leganti disciolti nella matrice sono in soluzione solida omogenea, ma nei sinterizzati, prodotti con poche eccezioni mediante pressatura di polveri elementari, il grado di omogeneizzazione dipende invece dall'andamento della diffusione durante la sinterizzazione: gli elementi leganti tendono a concentrarsi in prossimità dei pori, migliorando il livello locale di resistenza e compensando in certa misura il loro effetto di indebolimento sulla struttura.

## NELLA PRODUZIONE

Nel caso della formatura in stampi rigidi la distribuzione della densità all'interno dei componenti, specie in quelli la cui forma è complessa, rappresenta una sorgente importante di variabilità ai fini delle proprietà locali dei pezzi e delle tolleranze dimensionali.

La variabilità, che ha aspetti sia sistematici (dovuti alla forma del pezzo) sia accidentali, è collegabile a:

- uniformità di distribuzione della polvere nella cavità dello stampo durante il riempimento (legata a sua volta alle caratteristiche della materia prima e al suo grado di assestamento nel momento in cui l'azione si compie);
- modo con cui la pressa comanda e controlla i movimenti nello stampo in essa montato (il controllo ad anello chiuso di corse e velocità dei movimenti dei punzoni nonchè delle pressioni loro impartite richiede presse molto sofisticate, il cui impiego è economicamente giustificabile solo nel caso di pezzi di valore adeguato);
- efficienza meccanica (stato d'uso) sia della pressa che dell'attrezzatura.

La porosità residua ha diverse implicazioni:

- il livello di precisione tende a scendere con l'aumento della densità relativa: si può compensare usando polveri più soffici (più comprimibili);
- c'è un controllo delle evoluzioni strutturali nel corso dei trattamenti termici, ma solo in termini di cinetica;
- la porosità residua può risultare localmente assai diminuita dopo processi di densificazione selettiva operata sulla superficie dei pezzi, p. es. a mezzo di rullatura;
- la penetrazione degli agenti cementanti è fortemente favorita dall'interconnessione dei pori;

- la porosità permette di praticare lavorazioni secondarie peculiari per i sinterizzati (vedi pag. 5 e 6);
- nel corso del ciclo di produzione contaminanti di varia natura, sia solidi che liquidi, vengono intrappolati nei pori e il produttore non può garantirne la completa eliminazione, per quanto accurata sia la tecnica di pulizia adottabile; la rimozione delle impurità in genere non è prevista a ciclo, a meno che esse interferiscano con una specifica operazione dello stesso (p. es. sostituzione dell'olio di tempra col lubrificante prescritto dalle condizioni d'uso) o venga concordata a priori tra utilizzatore e produttore, anche come processo da applicare, in quanto i residui sarebbero pregiudizievoli per il comportamento in opera del componente.

## RUOLO DELLE FORME

### NEL PROGETTO

La loro concezione dipende dal metodo di formatura prescelto e ha delle limitazioni nei termini di dimensioni, pesi e libertà nei profili, come in ogni altra tecnologia: il progettista deve tener conto delle norme di progetto suggerite dall'esperienza dei produttori e discutere con loro la producibilità dei pezzi con forme limite nonchè le tolleranze dimensionali associabili ad una data combinazione forma - materiale.

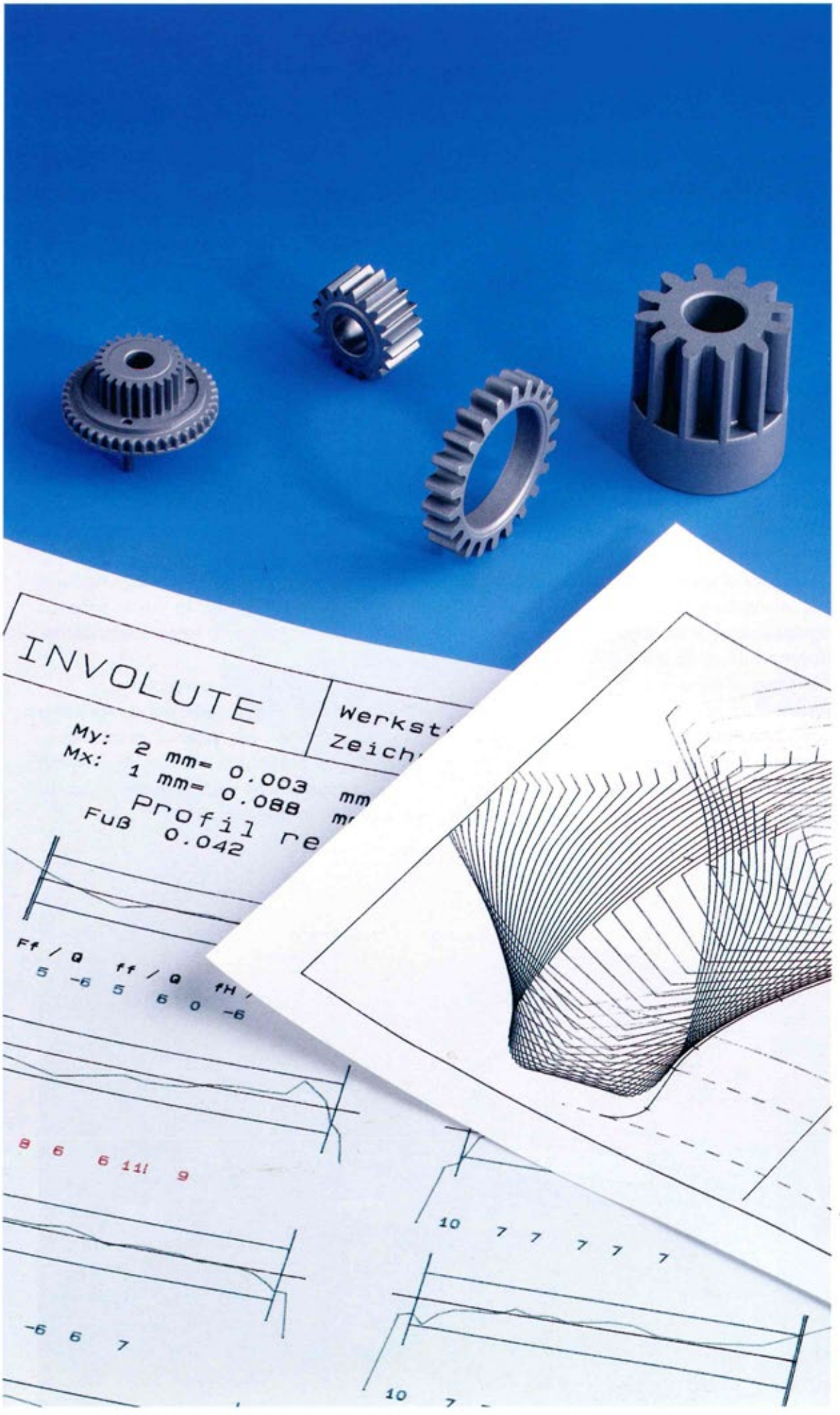
### NELLA PRODUZIONE

Le dimensioni del componente determinano la scelta di una pressa di capacità adeguata, mentre la complicazione della forma ipotizza il tipo di stampo destinabile a realizzarla. Artifizi particolari a livello attrezzatura (p. es. stampi a doppia matrice) permettono di aggirare le limitazioni legate al fatto che il pezzo sia estraibile dallo stampo (p. es. presenza di sottosquadri).
Discorso analogo vale per la calibratura o la ricompressione; queste lavorazioni richiedono stampi specifici, diversi da quelli usati per la formatura e più semplici come struttura, perché di solito l'operazione riguarda solo alcune delle quote esposte a disegno.

Le tolleranze dimensionali sono condizionate da:

- esigenze costruttive degli stampi: le luci tra matrice, punzoni e anime determinano le tolleranze di posizione reciproca tra profili interni ed esterni;
- deformazioni elastiche della pressa e dei punzoni: agiscono sulle quote parallele alla direzione di pressatura; le asimmetrie di forma rispetto all'asse di applicazione della pressione influenzano il parallelismo e l'oscillazione delle aree perpendicolari ad esso.

Forme complesse e asimmetriche inducono una maggiore variabilità in sinterizzazione e anche nell'eventuale successivo trattamento termico.


INVOLUTE
My: 2 mm= 0.003
Mx: 1 mm= 0.088
Profil re
Fuß 0.042

## CARATTERISTICHE FUNZIONALI: USO PROGETTUALE E INDICAZIONE A DISEGNO

Nel progetto di un componente le funzioni sono espresse dalla forma e dalle sue dimensioni, le condizioni di assemblaggio dalle tolleranze sulle quote che garantiscono l'accoppiamento con le altre parti dell'insieme e infine il comportamento in opera dalle proprietà del materiale prescelto, e cioè dalle sue caratteristiche meccaniche, fisiche e chimiche.
Per quanto riguarda forma e dimensioni, se il produttore non è stato coinvolto nel progetto prima della formalizzazione del disegno il suo intervento si limiterà a suggerire correzioni di carattere marginale, atte però ad eliminare criticità non imposte da specifiche esigenze.
In caso di progettazione in collaborazione il progetto risulterà ottimizzato.
Sulle tolleranze dimensionali indicate a disegno ed effettivamente necessarie non c'è nulla da eccepire: il produttore adotterà un sistema di qualità tale da garantirne il rispetto.

Per quanto concerne le proprietà, il progettista ne utilizza alcune in termini quantitativi perché introducibili nei calcoli (p. es. il carico di snervamento), altre solo qualitativamente (p. es. la durezza) Poiché le colloca in una scala di valori, associando ipotesi di comportamento alla loro posizione nella scala medesima.
La maggior parte di queste proprietà è determinabile con rilievi su provette specifiche, però nella maggior parte dei casi si seguono i metodi di prova consacrati dall'esperienza sui materiali compatti, per lo più soggetti a norme e usando gli stessi strumenti.
*Proprietà disponibili nella letteratura o presso il produttore:* i dati relativi, ricavati esclusivamente su provette, sono associati a materiali di uso corrente, di cui si conosce composizione e struttura; tra esse figurano le principali caratteristiche fisico meccaniche, in funzione della densità.
Nel caso in cui questi dati non fossero disponibili occorrono verifiche puntuali.
*Proprietà relative al comportamento in opera:* essendo relative alla vita utile del componente sono ricavabili solo con prove apposite, avendo definito materiali, ciclo di produzione, condizioni di funzionamento, ambiente, ecc., esse sono praticabili ancora su provette (p. es. prove di corrosione), su banchi di prova (p. es. accoppiamenti tipici, in prove di usura) o meglio ancora sui componenti prototipali, nelle condizioni di esercizio.





## QUALI CARATTERISTICHE SPECIFICARE A DISEGNO?

In linea di principio occorrerebbe indicare solo quelle che identificano senza equivoci il materiale e la struttura (e quindi il ciclo di produzione, incluse le lavorazioni secondarie) e le proprietà essenziali che sia il produttore che l'utilizzatore devono essere in grado di controllare sui componenti prelevati da un lotto (tener presente il numero minimo di pezzi da sottoporre a collaudo) e applicando il sistema di qualità concordato. Gli esami da compiere in sede di collaudo sono classificabili in:

- ***fondamentali*** - confermano la qualità del pezzo ai fini funzionali;
- ***opzionali*** - accertano qualità complementari o integrano le informazioni ottenute con gli esami fondamentali;
- ***accessori*** - a conferma dei risultati di esami già effettuati.

Le successive tabelle riportano il quadro della situazione relativo alla tipologia dei sinterizzati comunemente impiegati nei prodotti industriali.

*Tab. 1. Parti strutturali*

| PROPRIETA' | UNITÀ DI MISURA | NORME | USO A LIVELLO PROGETTO | SPECIFI - CAZIONE A DISEGNO | TIPO DI ESAME | NOTE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Composizione chimica | % | - | SI | SI | O | Verifica composizione in base a quella concordata (p.es secondo ISO5755 o norme equivalenti) Eventuale preparazione campioni secondo ISO 7625 |
| Densità (ρ) | g/cm³ | ISO 2738-3369 | NO | SI | F | Il termine corretto è massa volumica |
| Contenuto di olio | % | ISO 2738 | SI | (SI) | O | Solo in parti con funzione di boccola |
| Tipo di olio | - | - | SI | (SI) | O | Come nel caso delle boccole |
| Resistenza meccanica a trazione (Rm) | N/mm² (MPa) | ISO 6892 | SI | NO | - | Provette secondo ISO 2740 Non misurabile sui pezzi |
| Resistenza meccanica a flessione | N/mm² (MPa) | ISO 3325 | SI | (SI) | (F) | Provette: secondo la norma (*) |
| Carico di snervamento statico (Rp0,2) a trazione | N/mm² (MPa) | ISO 6892 | SI | NO | - | Provette secondo ISO 2740 Non misurabile sui pezzi |
| Carico di snervamento a compressione | N/mm² (MPa) | ISO 14317 | SI | NO | - | Provette: secondo la norma (*) |
| Modulo elastico | kN/mm² (GPa) | ISO 3312 | SI | NO | - | Provette: secondo la norma Non misurabile sui pezzi |
| Durezza apparente | HR HB HV | ISO 4498 | NO | SI | F | |
| Durezza vera | HV0,1 (HV0,2) | ISO 4498 | NO | SI | F | Su parti sottoposte a tempra o indurimento superficiale |
| Allungamento (A5) | % | ISO 6892 | NO | NO | - | Provette secondo ISO 2740 |
| Resistenza a fatica (Lf) | N/mm² (MPa) | ISO 1099 | SI | NO | - | Provette secondo ISO 3928. (*) Occorre specificare: - tipo di sollecitazione: (assiale o a flessione, pulsante o alternata) - fattore d'intaglio (Kt) |
| Tenacità alla frattura ($K_{IC}$) | $MPa\sqrt{m}$ | ASTM E 399 E 813 | (SI) | NO | - | Provette secondo le norme Non rilevabile sui pezzi |
| Resilienza (Charpy, senza intaglio) | J | - | NO | NO | - | Provette secondo ISO 5754 (*) |
| Resistenza a usura | - | - | NO | NO | - | Rilevabile sui pezzi in opera |

*LEGENDA:*
F = fondamentale, O = opzionale, A = accessorio, ( ) utilizzabile in casi particolari
(*) = misurabile sui pezzi, in casi particolari; specificabile a disegno

*Segue Tab.1. Parti strutturali*

| PROPRIETA' | UNITÀ DI MISURA | NORME | USO A LIVELLO PROGETTO | SPECIFI - CAZIONE A DISEGNO | TIPO DI ESAME | NOTE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Profondità di indurimento | mm | ISO 4507 | SI | SI | O (F) | |
| Struttura metallografica | - | ISO TR 14321 | NO | NO | A | Praticabile soprattutto a livello di failure analysis |
| Resistenza a corrosione | - | ISO 7384 ASTM 13 117 DIN 50017 50018-50021 | SI | SI | O | Determinabile con: - prove generiche - azione di aggressivi chimici specifici |
| Rugosità (superficie portante e Rpk) | % | DIN 4776 | NO | (SI) | O | Ricavata dalla curva di Abbott |
| Coefficiente di dilatazione termica | $10^{-6}/°C$ | - | SI | NO | - | Reperibile nei data base, o da rilevare su materiali non a norma |
| Conducibilità elettrica | $1/\mu\Omega$ cm | - | SI | NO | - | Reperibile nei data base, o da rilevare su materiali non a norma |
| Conducibilità termica | $\frac{cal.cm}{s.°C.cm^2}$ | - | SI | NO | - | Reperibile nei data base, o da rilevare su materiali non a norma |
| Integrità strutturale | - | - | NO | SI | F | Assenza cricche, altezza bave, entità erosione spigoli, entità e tipologia ammaccature |

*LEGENDA:*
F = fondamentale, O = opzionale, A = accessorio, ( ) utilizzabile in casi particolari
(*) = misurabile sui pezzi, in casi particolari; specificabile a disegno

Tabella 1: riguarda le proprietà dei materiali per componenti strutturali.
I disegni riportano sovente specifiche riguardanti caratteristiche non misurabili sui pezzi ma solo sulle provette (p. es. resistenza a trazione): il produttore può utilizzarle al limite solo ai fini del controllo di processo, per esempio inserendo provette (stesso materiale e uguale densità) insieme coi pezzi, ma ciò non assicura, neanche indirettamente, la qualità di questi ultimi, viste le sorgenti di variabilità prima descritte.
Il controllo del peso, non inserito nella tabella, può dare un'idea della variabilità della densità da un pezzo all'altro; in certi casi viene eseguito in automatico dal produttore.
Sui pezzi possono essere effettuate prove meccaniche specifiche (p. es. flessione, torsione o resilienza sui denti di un ingranaggio) per la cui esecuzione deve essere costruita di comune accordo una attrezzatura apposita e concordati i valori di soglia, che a questo punto sono indicabili a disegno.
Trattandosi di prove non a norma, è consigliabile accertarne la variabilità e metterla in relazione col comportamento in opera.



*Tab.2. Materiali Magnetici (dolci e duri)*

| PROPRIETA' | UNITÀ DI MISURA | NORME | USO A LIVELLO PROGETTO | SPECIFICAZIONE A DISEGNO | TIPO DI ESAME | NOTE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Densità (ρ) | $g/cm^3$ | ISO 2738 | NO | SI | F | |
| Composizione chimica | % | - | SI | SI | O | Verifica composizione,p.es. secondo IEC Part 8. Verifica presenza di impurezze, (proprietà magnetiche insufficienti) |
| Durezza apparente | HV5 HRB | ISO 4498 | NO | NO | A | |
| Induzione massima (βmax) | T (kG) | IEC 404-6 | SI | NO | F | Indirettamente, su dispositivo campione (magneti dolci) In genere direttamente sul magnete (magneti duri) |
| Induzione residua (Br) | T (kG) | IEC 404-6 | SI | NO | F | Indirettamente, su dispositivo campione (magneti dolci) In genere direttamente sul magnete (magneti duri) |
| Permeabilità massima (μ max) | Tm/A | IEC 404-6 | SI | NO | F | Indirettamente, su dispositivo campione (magneti dolci) In genere direttamente sul magnete (magneti duri) |
| Forza coercitiva (Hc) | A/m (kA/m) (Oe) | IEC 404-6 404-7 | SI | NO | F | Indirettamente, su dispositivo campione (magneti dolci) In genere direttamente sul magnete (magneti duri) |
| Resistività elettrica | μ Ω cm | IEC 404-13 | SI | NO | A | Indirettamente, su dispositivo campione (magneti dolci) |
| Prodotto di energia (BHmax) | $kJ/m^3$ (MGOe) | IEC 404-5 | SI | SI | F | Magneti duri: possibile il confronto su dispositivi campione |
| Temperatura di Curie | °C | | SI | NO | - | Reperibile nei data base |
| Coefficiente di temperatura | $10^{-6}/°C$ | | SI | NO | - | Reperibile nei data base |

*LEGENDA:* F = fondamentale, O = opzionale, A = accessorio,

La tabella 2 propone le proprietà dei componenti per impieghi magnetici, determinate in corrente continua, sia per i magneti dolci che quelli duri; in sede di progetto contattare i fornitori per avere informazioni puntuali sui prodotti offerti, in quanto a parità di materiale le proprietà dipendono decisamente dal ciclo di consolidamento adottato. Poiché i controlli delle proprietà sui magneti dolci sono più o meno influenzate dalla forma degli stessi, il controllo a livello prestazioni in opera può essere eseguito solo su dispositivi campione progettati ad hoc, concordati tra produttore ed utilizzatore e in grado di fornire risultati p. es. in termini di forza, coppia di tenuta, tempo di risposta, ecc. Anche in questo caso si tratta di prove non a norma, la cui variabilità andrebbe preventivamente verificata. I controlli sui magneti duri sono invece effettuabili direttamente sui componenti purchè forma, direzione di magnetizzazione e dimensioni (la forma è di solito molto semplice, barrette, cilindretti) siano compatibili con gli strumenti di misura. Anche in questo caso sono utili i dispositivi campione.

*Tab.3. Boccole*

| PROPRIETA' | UNITÁ DI MISURA | NORME | USO A LIVELLO PROGETTO | SPECIFI-CAZIONE A DISEGNO | TIPO DI ESAME | NOTE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Densità (ρ) | $g/cm^3$ | ISO 2738 | SI | SI | F | La DIN 30911.3 ammette l'eliminazione dell'impregnante in forno a 500°C, in $N_2$ |
| Porosità aperta (ε) | % | ISO 2738 | NO | NO | - | $\varepsilon = \frac{tenore\ di\ olio\ dopo\ impregnaz.}{volume\ della\ boccola} x100$ |
| Contenuto di olio | % | ISO 2738 | SI | SI | F | Vedi anche DIN 30911.3 |
| Tipo di olio | - | - | SI | SI | O | Natura. Si determina con rifrattometro - spettrofotometro<br>Viscosità. Si determina col viscosimetro |
| Resistenza allo schiacciamento radiale (K) | $N/mm^2$ | ISO 2739 | SI | SI | F | |
| Composizione chimica | % | - | SI | SI | O | Preparazione campioni (event.) secondo ISO 7625<br>Verifica, p. es. secondo ISO 5755 |
| Coefficiente di dilatazione termica | $10^{-6}/°C$ | - | SI | NO | - | Reperibile nei data base |
| Struttura metallografica | - | ISO TR 14321 | NO | NO | A | Praticabile soprattutto a livello di failure analysis |

*LEGENDA:*
F = fondamentale, O = opzionale, A = accessorio,

Nella tabella 3 si presentano le proprietà delle boccole. La maggior parte di esse non serve a livello calcoli progettuali Poiché i cataloghi dei fornitori includono forme, dimensioni e qualità dei materiali tali per cui è sufficiente una verifica del dimensionamento per scegliere la soluzione atta a soddisfare le esigenze.
Ai fini funzionali è determinante la scelta del tipo di olio con cui impregnare la boccola: seguire il consiglio dei fornitori.



La tabella 4 indica le proprietà dei filtri. La scelta è fatta a catalogo, come nel caso delle boccole, oppure definendo le esigenze col produttore.

*Tab.4. Filtri*

| PROPRIETA' | UNITÀ DI MISURA | NORME | USO A LIVELLO PROGETTO | SPECIFI-CAZIONE A DISEGNO | TIPO DI ESAME | NOTE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Composizione chimica | % | - | SI | SI | F | Verifica composizione, p. es. secondo ISO 5755 |
| Porosità (ε) | % | ISO 2738 | SI | SI | F | $\varepsilon = \frac{\rho_{materiale} - \rho_{filtro}}{\rho_{materiale}} x100$ (ρ=densità) |
| Resistenza meccanica | $N/mm^2$ | ISO 14320 | SI | NO | O | Resistenza meccanica a taglio secondo DIN 30911.6 |
| Coefficiente di permeabilità α β | $\alpha - m^2$ $\beta - m$ | ISO 4022 | SI | SI | F | |
| Distribuzione dimensioni dei pori | µm | ASTM E 1294 | SI | NO | A | |
| Diametro medio dei pori | µm | ASTM F 902 | NO | NO | A | |
| Dimensione massima dei pori (soglia di filtrazione) | µm | ISO 4003 | SI | SI | F | |
| Efficienza filtrante (Tχ) | % | ASTM F 795 | SI | SI | A | |

*LEGENDA:*
F = fondamentale, O = opzionale, A = accessorio, (*) Il tipo di esame è dato a titolo indicativo, poiché dipende dalle esigenze d'impiego e può cambiare in funzione delle stesse.

Per quanto concerne i metodi di prova normalizzati sono disponibili in alcuni casi (e con livello di probabilità di solito del 95%) la ripetibilità e la riproducibilità, quali definite nella ISO 5725: questi elementi sono importanti ai fini del confronto dei risultati.

**Ripetibilità:** presuppone che le misure siano effettuate da un unico operatore su campioni prelevati da lotti omogenei, cioè nominalmente identici per quanto riguarda le condizioni in cui ciascuno di essi è stato ottenuto, impiegando la stessa apparecchiatura, preventivamente tarata, in ambiente definito nei suoi parametri principali (temperatura, umidità, ecc.) e in tempi ravvicinati.
Definisce la variabilità minima che fornitore e utilizzatore devono aspettarsi quando ciascuno di essi accerta in proprio la conformità alle specifiche di un dato componente.
**Riproducibilità:** presuppone che le prove siano effettuate in sedi diverse su campioni nominalmente identici (quindi prelevati dallo stesso lotto, omogeneo per definizione) da operatori diversi, in tempi anch'essi diversi e su apparecchiature differenti, utilizzando lo stesso metodo di prova.
Definisce la variabilità massima che ci si può attendere nei risultati. Fornitore ed utilizzatore la possono utilizzare per valutare la significatività della differenza tra i valori riscontrati da ciascuno sul lotto in fase di collaudo.

Ripetibilità e riproducibilità di alcune proprietà oggetto di collaudo con metodi normalizzati sono riportate nella tabella 5, insieme col minimo numero di pezzi da sottoporre a controllo.

***Quando fornitore ed utilizzatore eseguono il controllo di un lotto omogeneo di pezzi una differenza nei risultati è da considerare accettabile in termini statistici nel caso in cui rientra nell'intervallo di riproducibilità qui indicato.***

La tabella presenta i dati ottenuti in un round robin test cui hanno partecipato i laboratori di quattro produttori di componenti sinterizzati, di un utilizzatore, di un fornitore di materie prime e di una università. Impostazione delle prove, loro esecuzione in accordo con le rispettive norme ISO ed elaborazione dei risultati come specificato nella norma ISO 5725.

Tener presente che i confronti, sia quando riferiti a determinazioni effettuate presso lo stesso laboratorio che presso laboratori differenti, vanno effettuati sui valori medi, ottenuti a partire da un certo numero di ripetizioni della misura, effettuata su pezzi diversi.

*Tab.5. Ripetibilità e riproducibilità dei risultati al controllo.*

| CARATTERISTICA | CAMPO VALORI DI RIFERIMENTO | RIPETIBILITA' r | RIPRODUCIBILITA' R | NUMERO MINIMO PEZZI AL COLLAUDO |
|---|---|---|---|---|
| DENSITA' * ($g/cm^3$) Componenti sinterizzati e boccole | 6,2 - 7,35 | 0,06 | 0,085 | 3 |
| DENSITA' * ($g/cm^3$) Boccole, dopo estrazione olio | 6,3 - 7,3 | 0,09 | 0,11 | 3 |
| CONTENUTO OLIO (% in vol.) Boccole | 14 - 27 | 1,2 | 2,3 | 3 |
| DUREZZA HV5 | 50 - 100<br>200 - 300 | 9<br>35 | 15<br>63 | 5 |
| DUREZZA HRB | 20 - 45<br>80 - 100 | 4<br>5 | 9<br>9 | 5 |
| DUREZZA HRA | 20 - 30<br>55 - 73 | 3<br>3,5 | 5<br>4 | 5 |

*NOTE*

I valori di **r** ed **R** relativi alla densità dei componenti sinterizzati secchi o totalmente impregnati concordano con quelli riportati nella ISO 2738.
La densità rilevabile dopo estrazione dell'olio impregnante è soggetta ad una dispersione leggermente maggiore.
Nel caso del collaudo della durezza apparente è opportuno riconfermare, se la zona prescelta lo consente, eventuali valori sospetti perché apparentemente troppo bassi.

Non sono riportati in tabella i valori di ripetibilità e riproducibilità relativi alla determinazione della microdurezza con la HV 0,1 e HV 0,2: anche quando la procedura nominale di prova indicata nella ISO 4498 viene seguita dagli operatori, i confronti sono in pratica difficili da quantizzare a causa di una dispersione troppo elevata, dovuta a:

- differenze nella preparazione superficiale dei campioni;
- soggettività nella lettura dell'impronta;
- soggettività nella decisione se scartare o conservare singoli valori, da utilizzare poi nei calcoli.

La determinazione della composizione chimica è soggetta a dispersione dovuta più alla disomogeneità delle miscele (soprattutto a causa della segregazione, nel trasporto e nella tramoggia della pressa) che ai metodi di analisi. La successiva tabella a titolo di esempio indica gli scarti tipo per alcuni dei più comuni elementi di lega, ricavati durante il round robin test di cui sopra.

| MATERIA PRIMA | ELEMENTO E TENORE | SCARTO TIPO |
|---|---|---|
| Polvere prelegata per diffusione | Cu = 1,5 %<br>Ni = 4 %<br>Mo = 0,5 % | 0,07<br>0,13<br>0,037 |
| Polvere miscelata con grafite | C = 0,6 % | 0,057 |
| Polvere miscelata con MnS | Mn = 0,5 %<br>S = 0,3 % | 0,036<br>0,023 |
| Polvere miscelata con Fe3P | P = 0,5 % | 0,029 |
| Polvere prelegata | Cr = 3 %<br>Mo = 0,5 % | 0,1<br>0,022 |
| Polvere miscelata | Sn = 10 % | 0,89 |
| Polvere miscelata con grafite | Sn = 10 %<br>C = 1,4 % | 0,95<br>0,045 |

## CAMPIONAMENTO

I metodi statistici impiegati nell'assicurazione della qualità sono validi indipendentemente dal soggetto cui vengono applicati, purchè siano rispettati i criteri generali che presiedono alla raccolta dei dati. In questo i sinterizzati non differiscono dai componenti prodotti industrialmente in serie medio grandi; indipendentemente da chi esegue il collaudo, produttore ed utilizzatore devono concordare:

- piani di campionamento, statistici o empirici, coi rispettivi criteri di accettazione o rifiuto dei lotti;
- caratteristiche da controllare, loro valori e campi di tolleranza;
- metodi di misura per ciascuna proprietà; se non esistono norme, procedure ed attrezzi di prova devono essere preventivamente definiti, così come l'interpretazione dei risultati.

## ASSICURAZIONE QUALITÀ IN PRODUZIONE

Il ciclo di produzione è suddividibile in una successione di processi, ciascuno dei quali richiede la conduzione di specifici macchinari o impianti.

L'assicurazione qualità presuppone che sia disponibile la relativa norma di processo, che dovrà:

- elencare i parametri con cui esso si controlla, la tolleranza sui valori di detti parametri e la frequenza degli interventi di verifica e manutenzione;
- indicare le modalità di accertamento di conformità delle condizioni operative attraverso il controllo del prodotto.

### FREQUENZA DEI CONTROLLI E TOLLERANZE SUI VALORI

La frequenza di controllo di ciascuna delle caratteristiche da tenere sotto osservazione dipende:

- dalla capacità del processo e più precisamente dalla capacità specifica di ogni singola macchina o impianto (condizioni di efficienza) nel momento in cui i pezzi vengono prodotti;
- dalle tolleranze sui valori richieste per ciascuna delle caratteristiche: tanto più queste sono strette e tanto più severo e frequente diventa il piano di controllo, in quanto si può rendere necessario l'intervento di correzione sui parametri di governo delle macchine e degli impianti.

Le frequenze di controllo, quando riportate nelle tabelle o nel testo, rappresentano indicazioni di larga massima: l'analisi della capacità del processo e l'esperienza definiscono quindi per singoli componenti (e più in generale per loro famiglie) quali siano le frequenze da applicare e il numero dei pezzi da controllare.
Le tolleranze sui valori, quando indicate nelle tabelle, rappresentano i valori minimi o il campo di accettazione dei pezzi, tenendo conto, se è il caso, della ripetibilità delle misure (v. tab. 5).

Con riferimento al ciclo di produzione esposto alla pagina 4, la tabella 6 presenta il quadro dei controlli eseguibili sulle materie prime e sul processo di miscelazione.
La scelta delle polveri da impiegare (tutte codificate) ed i dosaggi relativi alla formulazione delle miscele sono gestiti di solito mediante computer, così come le eventuali correzioni della densità apparente. Le miscele sono identificate in modo da raggiungere senza equivoci le presse di destinazione.

I parametri del processo di miscelazione sono:

- tipo e capacità del miscelatore;
- durata di miscelazione.

La qualità delle aggiunte (p. es. lubrificante, grafite) è normalmente autocertificata dal fornitore e in genere non è soggetta a controlli specifici.

*Tab.6. Assicurazione Qualità: materie prime*

| CARATTERISTICHE | APPLICABILITA' | | | CONTROLLO | | | | NOTE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | POLVERI ELEMENT. | POLVERI PREMISC. | MISCELE LOCALI | METODI | NORME | TOLLERANZA SUI VALORI | FQ. DI CON - TROLLO | |
| Composizione chimica | X | X | - | Analisi | ISO 4496<br>ISO 7625 | Secondo specifiche tipiche di ogni materiale | 1) | Strumentazione e metodi di analisi sono identici a quelli impiegati per i materiali compatti (vedi le norme relative) La ricerca di alcuni elementi richiede una preparazione specifica; p.es. determinazione del carbonio negli acciai |
| Tenore di ossigeno | X | - | - | Perdita in idrogeno | ISO 4491 1-2-3-4 | | 1) | |
| Granulometria | X | - | - | Analisi al setaccio Sospensione in liquido | ISO 4497 ISO 10076 | | 1) | |
| Tempo di scorrimento | X | X | X | Imbuto di Hall | ISO 4490 | | 2) | |
| Densità apparente | X | X | X | Imbuto di Hall Volumetro Scott | ISO 3923 1-2 | | 2) | |
| Quantità di lubrificante | - | X | - | Estrazione Soxhlet | ISO 13944 | | 3) | |
| Omogeneità della miscela | - | X | - | - | *ISO 13946 | | 3) | |
| Presenza inclusioni non metalliche | X | X | - | - | *ISO 13947 | | 3) | |
| Comprimibilità | X | X | X | Determinazione densità= f (pressione) | ISO 3927 | | 4) | Durante il rilievo determinabili anche: - sforzo di estrazione - resistenza al verde (Brasilian test o ISO 3995) |

Legenda * - Norme a livello proposta per lo studio.
1) Autocertificazione del fornitore per ogni lotto omogeneo. Controllo occasionale.
2) Autocertificazione del fornitore per le polveri elementari e quelle premiscelate. Controllo su ogni lotto di miscela locale.
3) Autocertificazione del fornitore per ogni lotto omogeneo di polveri premiscelate. Controllo occasionale, in caso di problemi .
4) Autocertificazione del fornitore per ogni lotto omogeneo. Controllo occasionale delle miscele locali, in caso di problemi.

## PRESSATURA

Il tipo di pressa (tendenzialmente meccanica per pezzi di piccole dimensioni; idraulica, meccanica o ibrida per gli altri) e il tipo di attrezzatura che comanda i movimenti nello stampo determinano le impostazioni di processo effettuate dall'attrezzatore, ivi inclusa la cadenza produttiva. La loro verifica è fatta mediante rilievo degli appuntamenti meccanici (corse degli elementi attivi), del sincronismo dei movimenti rispetto a quanto previsto a tavolino e dei gradienti di velocità con cui gli stessi si compiono. Pressione di formatura e sforzo di estrazione si possono verificare con sensori di pressione.
Nelle presse equipaggiate col controllo numerico, una volta stabilite le condizioni di ottimo, queste sono automaticamente mantenute nel corso della produzione dal computer che controlla il ciclo. Nel caso della pressatura a caldo la verifica si estende alle temperature della miscela nella tramoggia, della matrice e del punzone superiore; la verifica si effettua con termocoppia campione.
L'usura progressiva degli elementi attivi provoca nei pezzi:

- allargamento dei profili;
- restringimento dei fori;
- aumento della rugosità delle superfici;
- aumento delle bave (causa usura degli spigoli dei punzoni ed eventualmente per l'aumento delle luci tra matrice, punzoni e anime);
- sottosquadri (possono provocare cricche in fase di estrazione).

**NOTA**

Le quote del pezzo nella direzione di pressatura, essendo pilotabili in sede di regolazione macchina, permettono di offrire dei valori di Cpk del tutto soddisfacenti. Altrettanto non si può dire nella direzione ad essa ortogonale: esse sono fissate in sede di progetto in modo da sfruttare al meglio la loro lenta ma inevitabile evoluzione nell'intero campo di tolleranza concesso: il valore di Cpk rilevato in un dato momento ddella produzione può sembrare quindi inadeguato, ma ciò non significa che si corre il rischio di avere pezzi fuori tolleranza.

Il controllo del prodotto, sia ai fini del controllo di processo che a quelli del collaudo, è presentato nella tabella 7.

*Tab.7. Assicurazione Qualità: Pressatura*

| CARATTERISTICHE | METODI | NORME | TOLLERANZA SUI VALORI | FREQUENZA CONTROLLO | NOTE |
|---|---|---|---|---|---|
| Densità | Bilancia idrostatica | ISO 2738 | ± 0,15 g/cm$^3$ | Una volta per turno | La tolleranza è legata alla complessità del pezzo |
| Peso | Bilancia | - | ±1,5% | Ogni ora | Possibile controllo in automatico |
| Dimensioni in altezza | Comparatori | - | Secondo specifiche | Ogni ora | Possibile controllo in automatico |
| Dimensioni dei profili (spring back) | Micrometri Calibri | ISO 4492 | Secondo specifiche | Ad inizio produzione | La norma ISO riguarda la prova su provetta |
| Pressione | Celle di carico | - | | | In continuo su presse a controllo numerico |
| Difetti di forma | Banchi di misura | - | Secondo specifiche | Una volta per turno | |
| Resistenza al verde | Prova di flessione | ISO 3995 | | | |
| Bave | Controllo a vista | - | Secondo specifiche | Ogni ora | |
| Scheggiature | Controllo a vista | - | Secondo specifiche | Ogni ora | |
| Cricche al verde | Controllo a vista o strumentale | - | Non tollerabili | | Rilievi strumentali, in genere per confronto con pezzi campione |

Nel caso dei forni continui il controllo di processo comprende:

- ciclo termico complessivo: temperature di eliminazione del lubrificante, di sinterizzazione, di ricarburazione (se prevista) e loro gradienti; le verifiche si fanno con termocoppie campione, ogni 3-6 mesi, e sostituzione una volta all'anno;
- velocità di avanzamento e carico unitario sul sistema di trasporto dei pezzi (condizionano il ciclo termico, in particolare la permanenza alla temperatura di sinterizzazione);
- andamento della potenza (eventuale, con wattmetro registratore);
- flusso atmosfera controllata (flussimetri sui vari gas);
- composizione dell'atmosfera (rilievo punto di rugiada con cadenza prefissata, analisi $CO_2$ o sonda ad ossigeno in continuo, gascromatografo da processo per conferme analisi).

Se il forno continuo ha installata la sezione a raffreddamento rapido, occorre verificare anche in essa il ciclo termico, in particolare la velocità di raffreddamento.
Nei forni discontinui (tipici quelli sotto vuoto) il ciclo termico e i suoi gradienti sono controllati in automatico e le verifiche vanno fatte ancora con termocoppie campione; l'atmosfera è controllabile come nel caso dei forni continui ed eventualmente il vuoto con teste di misura campione tipo Pirani e Penning, una volta all'anno.
I controlli di processo su provetta includono:

- variazioni dimensionali: provette secondo ISO 4492 (verifica del profilo della temperatura nel forno);
- caratteristiche meccaniche (ad uso dei componenti strutturali): provette e verifica proprietà secondo ISO 2740 e ISO 6892;
- caratteristiche magnetiche (componenti per questo uso specifico): provette e metodi di prova secondo IEC 404.
- resistenza meccanica (ad uso dei filtri): provette e verifica, p.es. secondo DIN 30911-6.

I controlli del prodotto sia ai fini del controllo di processo che a quelli del collaudo sono riportati nella tabella 8.
Sui pezzi sono rilevabili sia le variazioni dimensionali che le deformazioni; queste ultime sono legate all'asimmetria della forma e all'eventuale cedimento plastico ad alta temperatura per problemi di sostegno: sono ricuperabili in buona parte se eseguita la calibratura.
La struttura metallografica può rilevare:

- grado di sinterizzazione, a conferma dei dati relativi a durezza e resistenza;
- trasformazioni strutturali, in particolare nel caso del raffreddamento rapido dei pezzi con carbonio combinato da medio ad alto;
- eventuale decarburazione o ricarburazione.

*Tab.8. Assicurazione Qualità: Sinterizzazione*

| CARATTERISTICHE | METODI | NORME | TOLLERANZA SUI VALORI | FREQUENZA CONTROLLO | NOTE |
|---|---|---|---|---|---|
| Variazioni dimensionali | Micrometro | ISO 4492 | | Eventuale, in caso di problemi | La norma ISO riguarda il controllo su provetta |
| Dimensioni | Strumenti vari di misura | - | Secondo specifiche | All'avviamento, e poi secondo la criticità del pezzo | |
| Tenore di carbonio (acciai) | Strumento analizzatore | ISO 9556 | ±0,1% | Ogni lotto | |
| Durezza | Acciai: HRB, HRA Leghe di Cu e Al: HRF, HRH | ISO 4498 | Secondo specifiche | Ogni lotto | |
| Caratteristiche meccaniche | Prova su attrezzo specifico | - | Secondo specifiche | Ogni lotto | Uguale attrezzo e stesse modalità di prova per produttore e utilizzatore |
| Resilienza | Prova su attrezzo specifico | - | Secondo specifiche | Ogni lotto | Uguale attrezzo e stesse modalità di prova per produttore e utilizzatore |
| Caratteristiche magnetiche | Prova su dispositivo campione | | Secondo specifiche | Ogni lotto | Uguale attrezzo e stesse modalità di prova per produttore e utilizzatore |
| Resistenza a schiacciamento radiale | Prova di compressione | ISO 2739 | Superiore al minimo previsto a norma | Ogni lotto | In uso sulle boccole. Eventuale asportazione della flangia |
| Permeabilità ai fluidi | Perdita di pressione | ISO 4022 | Secondo specifiche | | In uso sui filtri |
| Soglia di filtrazione | Bulloscopia | ISO 4003 | Secondo specifiche | | In uso sui filtri |
| Resistenza a corrosione | Azione di agente chimico specifico | - | Secondo specifiche | - | Produttore e utilizzatore devono usare le stesse modalità di prova |
| Rugosità | Prova su rugosimetro | DIN 4776 | - | Ogni lotto | Interpretazione da concordare |
| Struttura metallografica | Tecniche di microscopia | ISO TR 14321 | - | - | Eventuale, a conferma di altre prove |
| Bave, scheggiature, cricche | Controllo a vista | | - | | Ricontrollo bave dopo sbavatura |
| Aspetto superficiale | Controllo a vista | | Secondo specifiche | Ogni lotto | Colorazioni, depositi di nerofumo |

## CALIBRATURA E RICOMPRESSIONE

Nel caso della calibratura e in funzione del tipo di pressa e di stampo da montare, l'attrezzatore imposta lo spessore che il pezzo deve assumere alla fine della corsa del punzone superiore e la cadenza produttiva; se devono essere corrette più quote (punzoni concentrici o affiancati) occorre predisporre la sincronizzazione dei movimenti dei punzoni, in modo da evitare per quanto possibile sollecitazioni di taglio sul componente. Se la deformazione plastica viene prodotta esercitando la pressione ma senza predisporre arresti meccanici per le altezze, l'attrezzatore la deve impostare, verificandone l'entità con opportuni sensori, come detto a proposito della pressatura.

Tra i parametri di processo sono da considerare:

- la presenza dell'olio di calibratura, mediante controllo a vista: il tempo tra oliatura e calibratura può essere tanto lungo da lasciare nei pezzi una insufficiente quantità di lubrificante;
- tipo di olio: deve essere compatibile con l'applicazione e/o con le eventuali ulteriori lavorazioni secondarie, altrimenti dovrà essere estratto in una fase successiva, p. es. seguendo le indicazioni della norma ISO 2738.

Se viene praticata la ricompressione, le considerazioni sono analoghe: in questo caso ricordare che il ciclo si completa con un ulteriore passaggio nel forno di sinterizzazione.

Il controllo del prodotto è presentato nella tabella 9.

*Tab.9. Assicurazione Qualità: Calibratura e Ricompressione*

| CARATTERISTICHE | METODI | NORME | TOLLERANZA SUI VALORI | FREQUENZA CONTROLLO | NOTE |
|---|---|---|---|---|---|
| Densità | Bilancia idrostatica | ISO 2738 | ± 0,15 | Ogni lotto | La tolleranza è legata alla complessità del pezzo |
| Dimensioni in altezza | Comparatori | - | Secondo specifiche | Ogni ora | |
| Dimensioni dei profili | Micrometri Calibri | - | Secondo specifiche | All'avviamento | |
| Difetti di forma | Banchi di misura | - | Secondo specifiche | Ogni turno | |
| Rugosità | Prova su rugosimetro | DIN 4776 | - | Ogni turno | Interpretazione da concordare |
| Bave | Controllo a vista | - | - | Ogni ora | Ricontrollo, dopo sbavatura |

## LAVORAZIONI D'UTENSILE

Impostazione macchine e controlli non differiscono da quelli praticati sui materiali compatti per lo stesso genere di lavorazioni.
Il tipo di fluido usato nelle operazioni di taglio deve essere compatibile con l'applicazione, altrimenti dovrà essere estratto a fine ciclo, p. es. seguendo le indicazioni della norma ISO 2738.
La rettificatura può lasciare dei grani di abrasivo intrappolati nella porosità superficiale: dovranno essere eliminati mediante lavaggio in ultrasuoni.
Poiché la lavorabilità dei sinterizzati ferrosi di solito è migliorata mediante aggiunte di MnS nella miscela, è evidente che nei pezzi sarà rilevabile la presenza dello zolfo.

## PROCESSI DI GIUNZIONE

Sono in uso diverse tecniche: oltre a brasatura o giunzione con adesivi (che però presentano problemi a causa della porosità superficiale) c'è quella di sinterizzare parti di materiali diversi pressate separatamente e poi assemblate facendo combaciare il profilo interno di una con quello esterno dell'altra, in modo che la giunzione si realizzi in quanto una si espande e l'altra si restringe.
In questo caso si deve verificare la compatibilità delle tolleranze dei pezzi al verde per quanto riguarda l'accoppiamento.
La tecnica più usata è però la saldatura elettrica a proiezione.
L'impostazione delle saldatrici tiene conto di:

- pressione tra i pezzi da unire: verifica mediante sensori appositi;
- intensità di corrente: verifica mediante amperometro impulsivo;
- durata dei passaggi della corrente attraverso il giunto.



Il posizionamento reciproco tra i pezzi da unire è garantito dall'attrezzatura di saldatura. La struttura della giunzione, in particolare per quanto riguarda i fenomeni nella zona interessata dal calore, si può rilevare con l'esame metallografico della sezione.

Qualunque sia la tecnica di giunzione impiegata il controllo del prodotto a scopo sia di controllo del processo che di collaudo dei pezzi è possibile solo con prove distruttive con attrezzo specifico (p. es. trazione, flessione, torsione).
La saldabilità dipende comunque dal tenore di carbonio dei pezzi: è auspicabile che esso sia $\leq 0{,}5\%$.

## OSSIDAZIONE IN VAPORE DEI SINTERIZZATI A BASE FERRO

Nei forni discontinui i parametri di processo sono rappresentati da:

- ciclo termico: temperatura e durata di lavaggio con gas inerte, temperatura e durata dell'ossidazione col vapore, durata del raffreddamento in forno (i pezzi si estraggono quando la temperatura scende sotto i 300°C); verifiche con termocoppia campione, ogni 6 mesi
- portata del gas di lavaggio (flussimetro);
- portata del vapore (pressione di alimentazione);
- carica del forno.

Nel caso dei forni continui i parametri sono:

- ciclo termico e suoi gradienti, sia nella zona di preriscaldamento che in quella di ossidazione: verifica con termocoppia campione, ogni 6 mesi;
- flusso del vapore (pressione di alimentazione);
- velocità di avanzamento e carico unitario sul sistema di trasporto dei pezzi (normalmente a nastro): condiziona in particolare la permanenza alla temperatura di ossidazione.

*Tab.10. Assicurazione Qualità: Ossidazione in Vapore*

| CARATTERISTICHE | METODI | NORME | TOLLERANZA SUI VALORI | FREQUENZA CONTROLLO | NOTE |
|---|---|---|---|---|---|
| Variazioni dimensionali | Comparatori micrometri, calibri | - | - | Ogni carica | Incremento di quote in genere trascurabile |
| Durezza | HRB, HRA | ISO 4498 | Secondo specifiche | Ogni carica | |
| Incremento in peso | Bilancia | - | - | All'avviamento | Eventuale, solo su pezzo preventivamente identificato |
| Presenza di ossido ferrico | Controllo a vista uniformità colore | - | - | Ogni carica | |
| Caratteristiche meccaniche | Prova su attrezzo specifico | - | Secondo specifiche | Eventuale ogni lotto | Uguale attrezzo e stesse modalità di prova per produttore e utilizzatore |
| Resilienza | Prova su attrezzo specifico | - | Secondo specifiche | Eventuale ogni lotto | Uguale attrezzo e stesse modalità di prova per produttore e utilizzatore |
| Rugosità | Prova su rugosimetro | DIN 4776 | - | Ogni lato, se richiesta | Interpretazione da concordare |
| Impermeabilità ai fluidi | Prova su attrezzo specifico | - | - | Ogni lato, se richiesta | Uguale attrezzo e stesse modalità di prova per produttore e utilizzatore |
| Resistenza alla corrosione | Azione di agente chimico specifico | - | - | - | Eventuale, in presenza di agenti corrosivi deboli |

Il controllo di processo su provetta, praticato per lo più in sede di messa a punto, prevede:

- spessore dello strato di ossido: rilevabile al microscopio sulla sezione, perpendicolare rispetto alla superficie, di un nastro di acciaio dolce compatto adeguatamente preparato;
- composizione stato di ossido: verifica mediante difrattometro a raggi X;
- resistenza meccanica a trazione: provetta secondo ISO 2740 e verifica proprietà secondo ISO 6892.

I controlli del prodotto sono riportati nella tabella 10.

Scegliendo opportunamente la densità del componente di partenza e operando sulle condizioni in cui si svolge il processo è possibile sigillare completamente con ossido la porosità interconnessa.
La sigillatura, anche solo parziale, della porosità comporta una variazione della rugosità, però limitatamente alla superficie portante, che aumenta.

## INFILTRAZIONE

Venendo per lo più effettuata nel corso della sinterizzazione, il controllo di processo aggiuntivo riguarda il dosaggio dell'infiltrante, rappresentato p. es. da leghe di rame per gli acciai, la cui qualità può essere accertata seguendo le indicazioni della ISO 14168.
Sul prodotto si possono controllare (vedi tab. 8 - Assicurazione qualità sinterizzazione):

- Variazioni dimensionali e dimensioni
- Caratteristiche meccaniche, resilienza e durezza
- Resistenza a corrosione
- Grado di sigillatura della porosità interconnessa
- Aspetto superficiale, rugosità, presenza di bave e scheggiature

Le modalità di controllo sono sostanzialmente le stesse per entrambi i processi, che nella maggior parte dei casi si compiono in forni discontinui, così come l'operazione di rinvenimento.
I parametri essenziali sono:

- ciclo termico: viene controllato in automatico, dopo aver impostato le temperature di cementazione e/o tempra e quella dell'olio di spegnimento (verifica mediante termocoppia campione, ogni 3-6 mesi, e sostituzione una volta all'anno) e la permanenza alle medesime;
- temperatura di rinvenimento (effettuato in aria oppure olio);
- qualità dell'olio di spegnimento (verifica della viscosità e della presenza di contaminanti, in particolare acqua, se ci sono problemi nello spegnimento)
- flussi dei gas, inclusi quelli cosidetti di arricchimento (metano, propano, eventuale ammoniaca), leggibili sui flussimetri;
- composizione dell'atmosfera: il potenziale di carbonio è controllato mediante sonda ad ossigeno, oppure mediante analisi all'infrarosso del rapporto $CO/CO_2$ durante l'intero svolgimento del ciclo; meno frequentemente si usa il rilievo del punto di rugiada;
- peso e distribuzione della carica nel contenitore.

Per quanto riguarda la verifica del potenziale di carbonio, questa si effettua mediante lamine sottilissime di ferro puro introdotte insieme con la carica, da analizzare (C%) a fine trattamento.

Nel caso della tempra a induzione i parametri importanti sono accoppiamento spirale-pezzo, durata del riscaldamento, intensità della corrente, intervallo di tempo tra fine riscaldamento e spegnimento, mezzo di spegnimento. Il ciclo di tempra di solito è così breve da non consentire interventi durante il suo svolgimento.

I controlli del prodotto a scopo sia di controllo del processo che di collaudo sono riportati nella tabella 11.

*Tab.11. Assicurazione Qualità: Cementazione, Tempra, Rinvenimento*

| CARATTERISTICHE | METODI | NORME | TOLLERANZA SUI VALORI | FREQUENZA CONTROLLO | NOTE |
|---|---|---|---|---|---|
| Variazioni dimensionali | Comparatori micrometri, calibri | - | Secondo specifiche | Ad ogni carica | |
| Difetti di forma (deformazioni) | Banchi di misura | - | Secondo specifiche | Ad ogni carica | |
| Durezza apparente a fine ciclo | HRA, HRC | ISO 4498 | Secondo specifiche | Ad ogni carica | Eventuale controllo prima di rinvenimento |
| Durezza vera | HV0,1, HV0,2 HK0,1 | ISO 4498 | Secondo specifiche se richiesta | Ad ogni carica | Controllo eventuale, a riconferma della durezza apparente |
| Profondità di indurimento | HV0,1, HK0,1 | ISO 4507 | Secondo specifiche se richiesta | All'avviamento | |
| Caratteristiche meccaniche | Prova su attrezzo specifico | - | Secondo specifiche | Ad ogni carica | Uguale attrezzo e stesse modalità di prova per produttore e utilizzatore |
| Resilienza | Prova su attrezzo specifico | - | Secondo specifiche | Ad ogni carica | Uguale attrezzo e stesse modalità di prova per produttore e utilizzatore |
| Aspetto superficiale | Controllo a vista | - | Secondo specifiche | Ad ogni carica | |
| Struttura metallografica | Sezionamento alla superficie | ISO TR 14321 | - | - | Eventuale; a conferma di altre prove |

## TRATTAMENTI TERMICI - LEGHE NON FERROSE, MATERIALI MAGNETICI

Sulle leghe leggere da bonifica si possono effettuare tempra di soluzione e invecchiamento, di solito artificiale.
I parametri di processo da tenere sotto controllo riguardano temperature (verifiche con termocoppia campione) e durate di trattamento.

Considerate le formulazioni, le strutture e soprattutto le applicazioni, i componenti in leghe di rame in genere non hanno esigenze di trattamento termico.

I componenti usati come magneti dolci, se sottoposti a calibratura, potrebbero necessitare di una ricottura per ottimizzare le proprietà magnetiche: in questo caso i parametri di processo saranno quelli relativi al ciclo termico (temperatura, da verificare con termocoppia campione, e durata) e alla composizione dell'atmosfera, di solito contenente idrogeno, di cui rilevare il flusso e il punto di rugiada.

## IMPREGNAZIONE CON OLIO

Il processo può richiedere la preventiva eliminazione delle eventuali impurezze (p.es lubrorefrigeranti usati nella lavorazione d'utensile, olio di calibratura, olio di tempra): l'estrazione viene effettuata con ricircolazione di solvente in fase vapore (controllo della temperatura) oppure per immersione in opportuna soluzione; eventuale attivazione del processo con ultrasuoni.
Poiché l'impregnazione si effettua immergendo in vasca riscaldata contenente il lubrificante previsto a specifica e poi in altra con lo stesso a freddo (l'operazione può essere ripetuta) oppure in vasca evacuabile (prima si fa il vuoto coi pezzi fuori del bagno, poi si immergono in quest'ultimo, ristabilendo quindi la pressione atmosferica), il controllo di processo si compie verificando la temperatura dell'olio, la sua qualità, la durata delle varie fasi.
Il collaudo del prodotto si compie verificando la quantità di olio trattenuta nei pori, come indicato nella norma ISO 2738.

## IMPREGNAZIONE CON RESINE

Le eventuali impurezze si estraggono come indicato sopra.
Poiché l'impregnazione viene fatta in vasca evacuabile (ed eventualmente pressurizzabile), come per l'olio, il controllo di processo riguarda la durata delle varie fasi e la temperatura nella fase di polimerizzazione.
Se necessario sul componente si può controllare l'avvenuta impermeabilizzazione: prova su attrezzo specifico.

## RIVESTIMENTI SUPERFICIALI

I controlli di processo sono specifici per ciascun tipo di rivestimento che a sua volta è in genere oggetto di subfornitura.
Il controllo del prodotto ai fini del collaudo dipende dal tipo di rivestimento praticato e riguarda in particolare lo spessore, da verificare sulla sezione del pezzo, perpendicolarmente alla superficie.
Se le specifiche prevedono la resistenza alla corrosione, sui pezzi può essere eseguita una prova apposita, dopo aver concordato il tipo di aggressivo chimico, le condizioni in cui agisce e la durata.

## PROVE FISICO MECCANICHE SUI COMPONENTI STRUTTURALI

### DENSITÀ

La densità (o più correttamente massa volumica) è definita come il rapporto tra la massa del corpo ed il suo volume geometrico.
La determinazione si effettua per via gravimetrica, con bilancia analitica attrezzata in modo da eseguire pesate in aria e in acqua, seguendo le indicazioni della norma ISO 2738.

### APPARECCHIATURA E PESO DEI COMPONENTI

- precisione bilancia: 0,01%;
- cestelli o piattelli forati sospesi uno sull'altro, in modo che quello inferiore sia immerso completamente; quest'ultimo può essere sostituito da un filo (0,12 mm fino a 50 g; 0,25 mm da 50 a 200 g; 0,4 mm oltre 200 g) di acciaio inossidabile, cui sospendere il pezzo;
- recipiente: acqua distillata e preferibilmente degasata, con aggiunta di 0,05-0,1% di agente bagnante, a temperatura ambiente; se è compresa tra 18 e 22°C, la massa volumica dell'acqua può essere fissata in $\rho_w$= 0,998;
- massa del pezzo: se < 5 g è consentito raggruppare insieme più pezzi per singola determinazione; se troppo grande ritagliare la porzione su cui la determinazione della densità ha maggiore interesse;
- apparecchio di Soxhlet (v. ISO 13944) e un solvente adatto per estrarre l'eventuale impregnante (durata di estrazione da 3 a 24 h, secondo lo spessore: proseguire fino a che il peso diventa costante entro 0,01%, dopo essiccazione).

### PROCEDURA PER COMPONENTI SINTERIZZATI

- pesare il pezzo in aria: massa = $m_1$;
- impregnare totalmente il pezzo in olio (o in altro liquido immiscibile con l'acqua, con viscosità a 40°C di 22-68 cSt): mediante immersione in olio in camera evacuabile;
- portare il vuoto sotto 70 kPa e attendere che non appaiano più bolle, ripristinare la pressione atmosferica ed estrarre il pezzo dopo 10 min (ripetere eventualmente la procedura), eliminando poi l'eccesso di olio in superficie (attenzione a non toglierlo dai pori);
- pesare il pezzo impregnato in aria: massa $m_2$;
- pesare il pezzo in acqua: massa $m_3$;
- calcolare la **densità**: $\rho = \frac{m_1 \rho_w}{m_2 - m_3} \quad (g/cm^3)$
- calcolare la **porosità aperta**: $\varepsilon = \frac{(m_2 - m_1)\rho_w}{(m_2 - m_3)\rho_i} \quad (g/cm^3)$
- dove $\rho_i$ = massa volumica del liquido usato per l'impregnazione;
- il **volume** risulta da: $V = \frac{m_2 - m_3}{\rho_w} \quad (cm^3)$

Per determinare solo quest'ultimo è sufficiente rendere impermeabile la superficie mediante immersione in soluzioni di:

- paraffina, al 5% in solvente ed essiccazione fino a peso costante;
- fluidi siliconici, ed essiccazione a peso costante;
- olio di vaselina ed eliminazione dell'eccesso in superficie.

## PROCEDURA PER PARTICOLARI IMPREGNATI CON OLIO

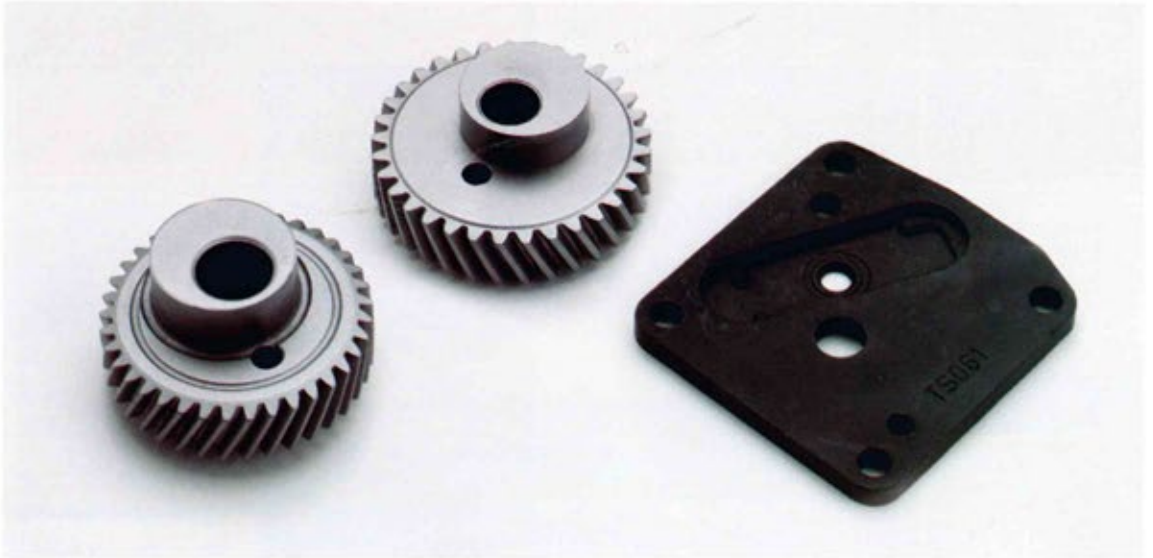
- rilevare le masse $m_2$ e $m_3$ come descritto in precedenza;
- estrarre olio e impurezze in Soxhlet e ripesare il pezzo in aria: massa $m_1$;
- procedere come indicato per i particolari sinterizzati;
- il **contenuto di olio** come percentuale in volume si calcola: $\frac{m_2 - m_1}{\rho_l V} \cdot 100 \quad (\%)$

In caso di verifica da parte dell'utilizzatore è opportuno che sia comunque seguita questa procedura.

*NOTE SUL METODO*

- La fase critica del ciclo è rappresentata dalla pesata in acqua; se l'impregnazione permette all'acqua di entrare (porosità non completamente sigillata) si osserva una lettura in aumento del peso per un certo tempo: la densità risulta maggiore del reale.
- Se la superficie dei pezzi è sporca, p. es. per eccesso di olio, oppure rimangono delle bollicine di aria aderenti al pezzo o al suo supporto (piattello, filo di sospensione; controllare con l'aiuto di uno specchio la loro presenza) la densità risulta inferiore al reale. L'esperienza indica che l'errore relativo sulla densità cresce al diminuire del peso del componente perché aumenta l'incidenza dell'errore commesso nella determinazione del volume: questo è il motivo per raggruppare più pezzi quando il loro peso diventa inferiore al grammo.
- La procedura non è applicabile ai componenti sottoposti ad ossidazione in vapore, a infiltrazione e neppure a quelli impregnati con resine; in quest'ultimo caso è possibile valutarla in modo approssimato, conoscendo la massa volumica della resina e ipotizzando il grado di impregnazione (valore probabile: 80%).

Ripetibilità e riproducibilità delle misure sono riportate nella tabella 5.



## DUREZZA APPARENTE

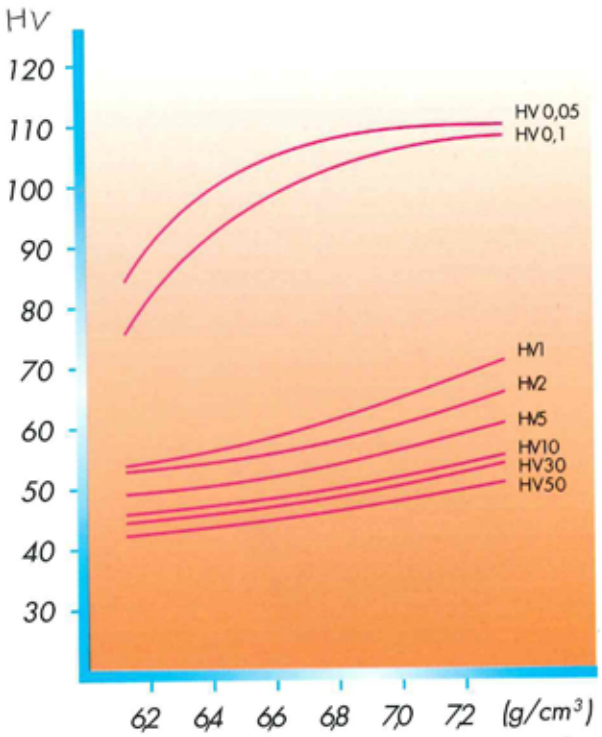
Nel caso dei materiali compatti la durezza è definita come resistenza alla deformazione plastica opposta da un materiale in conseguenza dell'azione di un penetratore; nei sinterizzati si aggiunge un secondo fattore, cioè la resistenza alla frattura della struttura (formata dalla saldatura tra le particelle di polvere originali e da pori residui) sollecitata oltre il proprio carico di snervamento.
La durezza dipende perciò anche dalla densità relativa oltre che dal tipo di lega e dalla sua condizione strutturale: infatti a parità di quest'ultima la durezza risulta tanto più bassa quanto maggiore è la porosità. Cambiando la forma del penetratore o anche solo il carico applicato (vedi fig. 1) cambia il microvolume interessato dalla deformazione plastica attorno all'impronta, che a sua volta include un numero variabile di pori.
Queste sono le ragioni per definirla durezza apparente.
Non è perciò possibile convertire tra loro i valori delle diverse scale di durezza: mantenere la stessa scala nei confronti.
Le prove di durezza vanno eseguite con i durometri di uso corrente per i materiali compatti, seguendo le indicazioni delle norme ISO 6506, 6507-1, 6508, R 1024 completate con quelle specifiche per i sinterizzati, contenute nella norma ISO 4498: le condizioni di prova sono applicabili quando la durezza si presume uniforme per almeno 5 mm di spessore a partire dalla superficie. Pertanto:

- concordare a priori la zona del componente su cui va rilevata la durezza;
- preparare eventualmente la superficie su cui eseguire le impronte (con tela abrasiva grana 180-240) e quella di appoggio sull'incudine del durometro (togliere p. es. le bave);
- nei casi dubbi usare la prova Vickers e il carico di 5 kg (49 N) come prova di riferimento, per stabilire la classe di durezza e scegliere i tipi di prova per essa consigliati, come da tabella 12 (ricordare che aumentando il carico migliora la ripetibilità della prova);

*Tab. 12 Condizioni di prova in funzione della classe di durezza del materiale*

| CLASSE DI DUREZZA HV5 | CONDIZIONI DI PROVA |
|---|---|
| 15 - 60 | HV5<br>HBS 2,5/15,625/30<br>HRH |
| 60 - 100 | HV5<br>HBS 2,5/31,25/15<br>HRH<br>HRF |
| 100 - 200 | HV5<br>HBS 2,5/62,5/10<br>HRF<br>HRB |
| 200 - 400 | HV10<br>HBW 2,5/187,5/10<br>HRA<br>HRC |
| > 400 | HV20<br>HBW 2,5/187,5/10<br>HRA<br>HRC |

*Fig. 1. Ferro sinterizzato. Durezza Vickers a carichi diversi, in funzione della densità*



- mantenere distanze tra centro impronta e bordo o tra centri di due impronte contigue pari ad almeno 2,5 volte il diametro dell'impronta o la lunghezza della diagonale;

- le letture delle impronte Vickers sono accettabili quando gli angoli sono chiaramente definiti e gli spigoli non distorti, e quando la differenza tra le diagonali è limitata (intorno al 5%);

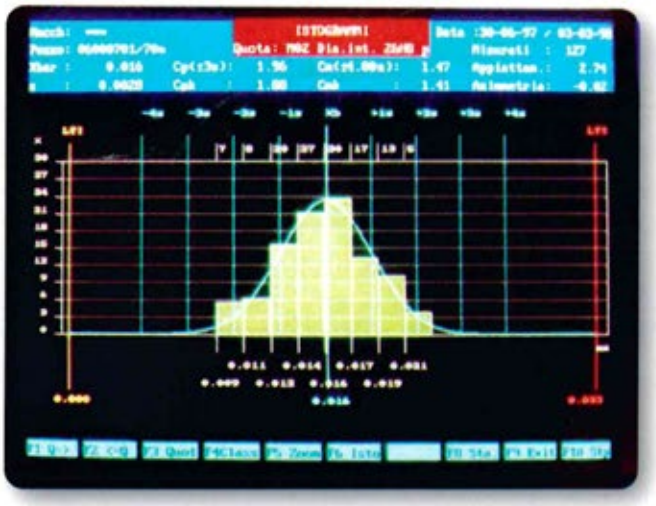
- allocare almeno 5 impronte valide e riportarne il valore medio, arrotondato all'intero più prossimo.

Componenti di spessore inferiore, o quelli con durezza non uniforme a seguito p. es. di arricchimento superficiale di carbonio e/o azoto di materiali ferrosi vanno provati con carichi adeguati allo spessore: prove HV1 o HV5 oppure Rockwell superficiali (p. es. HR 15N o anche HR 30N), da concordare preventivamente.

*NOTE SUL METODO*

- Per i materiali più comuni, le condizioni di prova consigliate sono:
  - HV5, HRH e HRF per le leghe di rame e di alluminio;
  - HRB per acciai sinterizzati, inclusi quelli ossidati in vapore, infiltrati, inossidabili;
  - HRA per gli acciai sottoposti a tempra o cementazione e tempra
  - HV1 sugli acciai nitrurati e nitrocarburati.
- Evitare di rilevare la durezza su superfici curve: i fattori di correzione per i sinterizzati non sono noti e si aggiungerebbe ulteriore incertezza alle misure.
- La durezza può essere utilizzata per una stima indiretta e approssimativa della resistenza a trazione dei pezzi, purchè siano allo stato solo sinterizzato e siano omogenei in quanto a struttura e distribuzione della porosità.
- Se la distribuzione della densità non è omogenea, p. es nei componenti di forma complessa, la prova di durezza permette di evidenziarne le differenze locali.
- E' sconsigliabile adottare le prove di durezza HBW e HRC: esse sono applicabili solo a pezzi di dimensioni tali per cui l'ampiezza della zona e lo spessore di materiale consentono l'allocazione di impronte valide non solo come esecuzione ma anche come interpretazione.

La tabella 5 riporta i dati relativi alla ripetibilità e riproducibilità delle misure.



## DUREZZA VERA E PROFONDITÀ DI INDURIMENTO

La determinazione della durezza intrinseca della matrice metallica, escludendo quindi l'influenza dei pori, si effettua convenzionalmente con prove di microdurezza Vickers o Knoop e carichi di 100 g (HV0,1 - carico 0,98N) o 200 g (HV0,2 - carico 1,96N). Il carico di 50 g (HV0,05 - carico 0,49 N), si usa eccezionalmente, Poiché crescono sia la dispersione dei valori sia l'imprecisione di lettura dell'impronta.
Le condizioni generali di prova, valide anche per i sinterizzati, sono contenute nella norma ISO 4516.

La norma ISO 4498 fornisce le indicazioni anche per le prove di microdurezza:

- concordare a priori la zona in cui effettuare le prove, il carico e il tipo di penetratore.
- preparare la superficie con cura metallografica, seguendo le indicazioni della ISO TR 14321: la preparazione deve essere tale da non spalmare il materiale sui pori occludendoli parzialmente e permettere una lettura non equivoca delle dimensioni dell'impronta; eventualmente impregnare la superficie con una resina termoindurente; allocare le impronte in zone per quanto possibile esenti da pori (purtroppo non si sa cosa c'è al di sotto della superficie);
- microdurezze Vickers: osservare le distanze prescritte tra centri di impronte contigue e tra centro impronta e bordo, cioé 2,5 volte la lunghezza della diagonale dell'impronta più grande;
- microdurezze Knoop: le stesse distanze della Vickers, riferite alla diagonale minore; scartare le impronte palesemente irregolari e i valori di durezza anormalmente bassi;
- esprimere le durezze come campo di 5 valori validi.

E' possibile, ma senza valore di norma, rilevare la durezza di strati di rivestimento sui componenti: sono richieste condizioni di carico tali da mantenere all'interno dello strato stesso la deformazione plastica attorno all'impronta.
La profondità di indurimento (di cementazione) si determina analogamente ai materiali compatti seguendo le indicazioni della norma ISO 4507. Entrambi i procedimenti consigliati prevedono la sezione del componente perpendicolarmente alla superficie, che va preparata come sopra indicato:

### Metodo A

- Allocare tre impronte HV0,1 valide a ciascuna profondità, crescente rispetto alla superficie secondo la progressione: 0,05 - 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,4 - 0,5 - 0,75 - 1,0 1,5 - 2,0 - 3,0 mm, e contenute in una fascia di larghezza pari a 1,5 mm, rispettando le condizioni generali di posizionamento reciproco e lettura;
- calcolare la media a ciascuna profondità riportandone i valori in un grafico in cui sia tracciato anche il valore soglia, leggendo la profondità di indurimento in corrispondenza dell'intersezione tra le due linee.

### Metodo B

- Procedendo come in A, allocare tre impronte a due distinte profondità, scelte in modo che quella di indurimento vi sia compresa;
- tracciare la congiungente i due punti ed il valore soglia: l'intersezione delle due linee fornisce ancora la profondità richiesta, nell'ipotesi di un andamento linearmente decrescente della durezza con la profondità nell'intervallo considerato.

NOTE SUI METODI

- Le prove di microdurezza richiedono operatori professionalmente abilitati e con esperienza specifica, sia nella preparazione dei campioni che nell'esecuzione delle prove e nella lettura delle impronte.
- In caso di confronto di risultati tra produttore ed utilizzatore controllare la taratura dei durometri e usare lo stesso campione, verificando la concordanza delle letture su impronte opportunamente identificate.
- La prova Vickers è leggermente meno dispersa della prova Knoop.
- Per stabilire la profondità di indurimento si può impiegare la prova HK0,1 in luogo della HV0,1.



## CARATTERISTICHE MECCANICHE STATICHE E DINAMICHE

Ricordando che composizione e densità condizionano i valori delle proprietà meccaniche, le formulazioni sviluppate espressamente per una applicazione vanno caratterizzate con prove su provette, visto che le caratteristiche meccaniche a fine ciclo di produzione non sono note: si rendono così disponibili i dati da utilizzare a livello dimensionamento dei componenti nella fase di progettazione.
Per tutte le altre, siano esse previste a norma o perlomeno offerte dal produttore in qualità di materiali per lui standard, fanno fede i dati tabulati.
Modulo elastico (vedi ISO 3312), allungamento e tenacità alla frattura sono determinabili solo con prove su provette.
Il limite di fatica e il limite di fatica superficiale sono determinabili anch'essi su provette: per ora non si hanno indicazioni a livello di norme ISO; il carico di snervamento a compressione si determinerà come indicato nella ISO 14317, quando sarà disponibile.

Le eventuali prove su pezzo (p. es. carico di rottura a flessione, carico di snervamento, resilienza, ecc.) richiedono la costruzione di attrezzi specifici, da progettare con cura per quanto concerne lo schema di carico. I valori possono essere messi a specifica.
Poiché si tratta di controlli per variabili, la relazione fra l'esito di queste prove e il comportamento in opera deve essere dimostrato in termini per quanto possibile quantitativi e fissati i valori soglia.
Le resistenze a fatica e a usura sono accertabili con prove in condizioni d'impiego: di solito sono applicate ai componenti prototipali.

## STRUTTURA METALLOGRAFICA

La norma ISO 14321 fornisce le indicazioni per la preparazione dei provini per l'esame micrografico al microscopio ottico. L'interpretazione delle strutture è analoga a quella dei materiali compatti di composizione simile.
L'esame delle superfici di frattura al microscopio elettronico richiede anch'essa una preparazione che, oltre a quanto già previsto nel caso dei materiali compatti, richiede l'estrazione preventiva degli eventuali fluidi trattenuti nei pori, in modo da evitare la contaminazione dell'ambiente nel corso dell'esame.

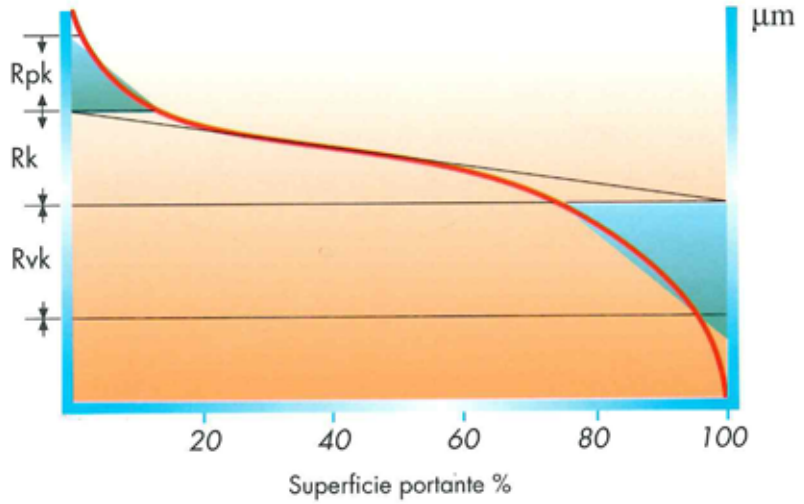
## RUGOSITÀ

Finora non è stato possibile raggiungere un accordo a livello internazionale sul modo di esprimere la rugosità dei sinterizzati, mentre è universalmente accettato l'impiego del rugosimetro per rilevare l'andamento del profilo e i parametri che lo possono caratterizzare.
Dal punto di vista funzionale la curva di Abbott, che descrive l'andamento della superficie portante (cioè quella compresa tra il picco più alto e la valle più profonda del profilo), fornisce le indicazioni su quali siano le grandezze che la possano caratterizzare, anche se non direttamente ed è consigliabile rilevarla nel caso dei sinterizzati, per tener conto dell'effetto favorevole dei pori affioranti alla superficie del pezzo.

La superficie tribologicamente attiva (v. fig. 2) è suddivisibile in tre zone:

- quella relativa alle sporgenze rispetto alla parte effettivamente portante del profilo, esprimibile col parametro Rpk;
- parte effettivamente portante del profilo, mediante il parametro Rk, nella quale la quantità di materiale che supporta il carico cresce linearmente con la profondità;
- quella relativa agli incavi rispetto alla parte portante, mediante il parametro Rvk (sottostimata, perché la puntina del tastatore entra solo parzialmente nei pori).

*Fig. 2. Curva di Abbott. Determinazione dei parametri Rk, Rpk, Rvk*




Dal punto di vista funzionale è importante che:

- Rpk sia per quanto possibile ridotto, per ridurre l'effetto lima sull'antagonista del sinterizzato;
- Rk sia ridotto, ma rappresenti una percentuale di superficie portante quanto più elevata possibile (40% o superiore).

Rvk è sempre relativamente elevato: nelle valli si colloca la riserva di lubrificante e questo è il vero punto a favore dei sinterizzati. Questi concetti sono esposti p. es. nella norma proposta dalla Bosch come estensione della norma DIN 4776.
Sui sinterizzati la rilevazione di Rk e soprattutto di Rpk mediante i rugosimetri tradizionali a tastatore secondo la norma ISO 4288 è soggetta ad una elevata dispersione: la lunghezza di valutazione usuale dei metodi di misura standardizzati è troppo corta per rilevare l'uniformità della distribuzione della porosità superficiale; è pertanto necessario un congruo numero di letture, comunque non meno di 5, e la zona su cui effettuare i rilievi va preventivamente concordata.

## CARATTERISTICHE FISICHE

Il coefficiente di dilatazione termica, la conducibilità o resistività elettrica, la conducibilità termica sono rilevabili solo con prove su provette.
Sono disponibili in alcuni casi i dati relativi a formulazioni standard, in funzione del tipo di lega e della densità. Quando necessario i dati mancanti si possono definire con prove ad hoc su provette e con strumenti analoghi a quelli in uso per i materiali compatti.

## COMPOSIZIONE CHIMICA E RESISTENZA ALLA CORROSIONE

Le cure seguite per il prelievo dei campioni per l'analisi non differiscono da quelle usate nel caso dei materiali compatti, con le seguenti avvertenze:

- conservare con cura i campioni: la porosità interconnessa può favorire una ossidazione interna o una corrosione!
- liberare la porosità interconnessa da sostanze estranee (oli da tempra e da taglio, lubrificanti) mediante estrazione col Soxhlet (vedi ISO 2738 e ISO 3944) le da impurezze (p. es.con lavaggio in ultrasuoni e successiva eliminazione del solvente);
- ricavare i trucioli per l'analisi mediante lavorazioni d'utensile, a secco;
- la determinazione del carbonio libero e/o combinato richiede cure particolari: seguire le indicazioni della norma ISO 7625: eliminazione completa di sostanze carboniose inclusi i depositi di C in superficie, conservazione della eventuale grafite libera presente nella struttura;
- compiere l'analisi con la strumentazione in uso.

*NOTE SUL METODO*

- Il tenore degli elementi leganti deve rientrare nei limiti definiti nelle specifiche con l'eccezione del tenore di rame, quando questo venga espressamente usato per il controllo delle variazioni dimensionali: il produttore in questo caso deve informare l'utilizzatore.
- Il metodo non è applicabile ai componenti infiltrati con rame, ossidati in vapore, impregnati con resine.

La resistenza alla corrosione si può accertare con prove ad hoc direttamente sui pezzi, sottoponendoli all'azione di aggressivi chimici specifici, avendo prestabilito temperatura e durata. Le prove generiche più comuni sono quelle in nebbia salina (vedi p. es. norma ASTM B117) e in atmosfere artificiali (norma ISO 7384)

# PROVE SUI COMPONENTI PER IMPIEGHI MAGNETICI

## CARATTERISTICHE FISICO MECCANICHE

Densità, composizione chimica e durezza apparente sono determinabili sul prodotto come indicato per i componenti strutturali.
La resistività elettrica si rileva su provette specifiche, seguendo la norma IEC 404-13.
Temperatura di Curie e coefficiente di temperatura, che esprimono la scomparsa o rispettivamente il degrado dell'induzione nei magneti permanenti si trovano nella letteratura, in funzione del materiale di cui essi sono costituiti.

## CARATTERISTICHE DEI MAGNETI DOLCI

La rilevazione delle proprietà magnetiche essenziali (induzione massima, permeabilità, forza coercitiva) è praticabile su provette apposite mediante isteresigrafi, tracciando il ciclo di isteresi del materiale col quale saranno prodotti i componenti e di cui occorre stabilire composizione e struttura, densità e condizioni di sinterizzazione: viene così individuato ciò che un dato produttore può offrire dal punto di vista delle prestazioni dei pezzi.
Provette e metodi di prova sono definiti nella norma IEC 404.
I componenti sono invece assoggettabili a collaudo inserendoli in dispositivi campione costituiti da attrezzi specifici, nei quali sono riproducibili le condizioni di lavoro: essendo equipaggiati con opportuni sensori (importante la taratura dell'insieme) permettono di verificare direttamente l'efficienza della conversione dell'energia elettrica in meccanica (p. es. forza, coppia di tenuta, tempo di risposta, ecc.) quale richiesta dall'applicazione.
Questo tipo di collaudo fornisce un giudizio complessivo sui componenti in esame ma non analitico rispetto ai parametri che possono influenzare le singole proprietà magnetiche: il responso dice solo se il componente è accettabile o meno, senza fornire ulteriori indicazioni sulle cause (p. es variazioni locali o totali di densità, presenza di cricche, ciclo di sinterizzazione non corretto, ecc.) che possono aver determinato un eventuale insuccesso. In caso di responso negativo l'indagine va dunque completata con opportuni esami dei pezzi con metodi di laboratorio.

## CARATTERISTICHE DEI MAGNETI DURI

Di solito è possibile effettuare direttamente il collaudo dei magneti quando forma, direzione di magnetizzazione e dimensioni sono compatibili con le esigenze delle apparecchiature e degli strumenti di misura, coi quali si può rilevare il ciclo di isteresi e di conseguenza le caratteristiche magnetiche messe a specifica.
I metodi di prova sono definiti nella norma IEC 404-5.
Nei casi di forme complesse o con orientamento curvilineo, si possono usare dispositivi campione come descritto nel caso dei magneti dolci, rilevando anche in questo caso le grandezze fisico meccaniche in uscita e fornendo un giudizio complessivo sui magneti in esame.
In genere non è possibile stabilire a posteriori le cause responsabili di un eventuale insuccesso sottoponendo i pezzi ad esame con metodi di laboratorio.

## PROVE SULLE BOCCOLE

Le boccole sono offerte a catalogo dai produttori, pertanto le loro caratteristiche sono relativamente standardizzate, così come le condizioni per poterle impiegare con successo. L'utilizzatore deve maneggiarle con cura non solo per quanto riguarda il montaggio, ma anche per la conservazione della riserva d'olio contenuta nei pori.

### DENSITÀ, POROSITÀ APERTA, CONTENUTO DI OLIO E SUA NATURA

Le indicazioni della norma ISO 2738 permettono di deteminare queste caratteristiche, essenziali ai fini dell'impiego. Per quanto riguarda la descrizione dei metodi di prova, vedere quanto indicato nel caso dei componenti strutturali. Ripetibilità e riproducibilità delle misure sono riportate nella tabella 5. La natura e le caratteristiche dell'olio di impregnazione si possono verificare p. es. sulla frazione estratta col Soxhlet: la viscosità si può controllare con apposito viscosimetro mentre il tipo di olio è verificabile con un controllo indiretto, mediante rifrattometro o, se disponibile, con uno spettrofotometro. Tener presente che nelle applicazioni meccaniche possono presentarsi parti con funzioni di boccola, per cui alcuni degli esami qui indicati possono avere un certo interesse.
Il controllo della rugosità ha poca importanza ai fini pratici, come l'esperienza insegna: inoltre essa verrà modificata in fase di rodaggio.

### CARATTERISTICHE FISICO MECCANICHE

La prova di schiacciamento radiale fornisce una indicazione sul livello delle proprietà meccaniche delle boccole e, indirettamente, sull'adeguatezza del ciclo di consolidamento adottato dal produttore. La prova è applicabile alle boccole cilindriche con parete relativamente sottile, prive di flange (eventualmente asportabili mediante tornitura) e di particolarità di forma che ne alterino localmente lo spessore (fori, solcature, smussi pronunciati, ecc,).
La prova si esegue seguendo le indicazioni della norma ISO 2739:

- il campione va inserito in un attrezzo per prove di compressione costituito da due piatti con facce piane e parallele e il suo asse deve risultare parallelo alle facce stesse;
- il carico viene applicato progressivamente (tra 2 e 20 N/mm$^2$ per secondo) senza scosse e per una durata non inferiore a 10 secondi, fino a rottura;
- verificare che la deformazione all'atto della rottura deve essere non superiore al 10% del diametro del campione;
- calcolare la resistenza allo schiacciamento radiale con le formule:

$$K = \frac{F(D-e)}{Le^2} \quad \text{oppure} \quad K = \frac{2F(D+d)}{L(D-d)^2} \quad \text{con e/D} \leq 1/3$$

dove: *F = carico di rottura, in N; L = lunghezza; D = diametro esterno; d = diametro interno; e = spessore di parete della boccola;*

- il valore K può essere messo in relazione con la resistenza a trazione: Rm ~ 0,5 K.

I valori del coefficiente di dilatazione termica sono rilevabili solo con provette apposite, mediante dilatometro.

### COMPOSIZIONE CHIMICA E STRUTTURA METALLOGRAFICA

L'analisi si compie con la strumentazione in uso, tenendo conto delle avvertenze già indicate per i componenti strutturali. Gli elementi che interessano sono stagno ed eventuale carbonio grafitico per le boccole in bronzo, cui si aggiunge il rame per quelle ferro-bronzo. Nel caso delle boccole in ferro occorre differenziare il carbonio grafitico da quello combinato (vedi norma ISO 7625). L'esame della struttura può confermare le indicazioni degli altri esami, in particolare la distribuzione delle dimensioni dei pori, la distribuzione della grafite libera quando presente, e la qualità della sinterizzazione.

## PROVE SUI FILTRI

La resistenza meccanica a taglio è rilevabile su campioni piani, seguendo le indicazioni della norma DIN 30911.6; i valori sono rilevabili nei cataloghi dei produttori. Per ora non è disponibile una norma ISO.
La porosità si determina come indicato nella norma ISO 2738 (vedi metodo indicato per i componenti strutturali).
La composizione chimica si verifica coi metodi di analisi correntemente in uso, tenendo conto delle avvertenze indicate in precedenza.

## PROPRIETÀ FILTRANTI

Alcune di esse sono indicate nei cataloghi dei produttori e non c'è particolare interesse a sottoporle a verifica: si tratta di distribuzione della dimensione dei pori (secondo norma ASTM E 1294), loro diametro medio (secondo norma ASTM F 902) ed efficienza filtrante (capacità di trattenere particelle di dimensioni prestabilite sospese in acqua, secondo norma ASTM F 795). Le caratteristiche funzionalmente importanti sono invece la permeabilità e la soglia di filtrazione.

**Permeabilità**: si determina con la procedura della norma ISO 4022, misurando la relazione che lega la perdita di pressione tra la sezione immediatamente a monte e quella immediatamente a valle del filtro con la portata volumetrica di fluido che attraversa il filtro stesso:

A) Fluidi incomprimibili: $\Delta p = V \frac{L}{F}\left(\frac{\eta}{\alpha} + \frac{\rho V}{\beta F}\right)$

B) Fluidi comprimibili: $\Delta p\left(1 + \frac{\Delta p}{2P_2}\right) = \frac{V_2 L}{F}\left(\frac{\eta}{\alpha} + \frac{\rho_2 V_2}{\beta F}\right)$

dove: *$\Delta p$ = caduta di pressione attraverso il filtro; $L$ = spessore parete filtrante; $F$ = area della superficie di filtrazione; $\eta$ = viscosità dinamica del fluido; $\rho$ = densità del fluido; $\rho_2$ densità del fluido a valle del filtro; $\alpha$ = coefficiente di permeabilità (viscosità) in moto laminare; $\beta$ = coefficiente di permeabilità (inerzia) in moto turbolento; $V$ = portata attraverso il filtro; $V_2$ = portata a valle del filtro; $P_2$ = pressione a valle del filtro.*

Come descritto nella norma, la procedura prevede l'uso di apparecchi strutturati in modo da provare porzioni di filtri piani oppure di filtri cilindrici con spessore di parete limitato e permette di ricavare i valori dei coefficienti $\alpha$ e $\beta$ a partire dalle formule di cui sopra. Se, come capita nella pratica, la caduta di pressione è limitata si può usare la formula A in tutti i casi.
Tenendo poi presente che la caduta di pressione in regime turbolento è di solito trascurabile rispetto a quella in regime laminare, si ha una relazione semplificata:

$$\Delta p = V \frac{L\eta}{F\alpha}$$

**Soglia di filtrazione**: si determina con la procedura della norma ISO 4003, che prevede l'uso di apparecchi analoghi a quelli descritti nella ISO 4022. il filtro è impregnato con un liquido a bassa tensione superficiale e lo si fissa in un dispositivo che permette di stabilire un differenziale di pressione tra la parete interna e quella esterna; dopo averlo immerso a profondità nota in una vaschetta, si introduce aria in esso con una pressione crescente, fino a veder comparire sulla parete esterna del filtro una prima bolla d'aria.
Poiché all'interno del filtro c'è una rete di capillari, all'aumentare graduale della pressione (da 20 a 200 Pa/s) il menisco di separazione tra aria e liquido si sposta nei pori preferenzialmente dove più ampia è la sezione di passaggio: la comparsa della prima bolla avviene in corrispondenza del poro in cui si ha il massimo di questa sezione. Assumendo per questa la forma circolare, si sa che la configurazione dell'interfaccia tra il liquido ed il gas dipende dalla pressione secondo una relazione del tipo:

$$d = \frac{4\gamma \cos\phi}{\Delta\rho}$$

dove: *$d$ = diametro del capillare; $\gamma$ = tensione superficiale del liquido; $\phi$ = angolo di contatto fra il il solido e il liquido; $\Delta p$ = differenza tra pressione del gas e pressione generata dall'altezza della colonna di liquido in corrispondenza della posizione in cui si trova il menisco.*

Misurata l'altezza della colonna di liquido e notata la pressione a cui compare la prima bolla, la dimensione massima della sezione di passaggio (soglia di filtrazione) si ricava dalla formula di cui sopra.
Se il filtro è cilindrico lo si immerge orizzontalmente e la pressione di aria all'interno viene aumentata a gradini (ciascuno di 50-500 Pa, secondo la dimensione nominale dei pori) e in corrispondenza di ciascuno di essi si fa compiere al filtro una rotazione completa, in modo da controllare l'intera superficie.



## BAVE, SGRETOLAMENTO SPIGOLI, AMMACCATURE

Le bave si originano per effetto delle polveri che si estrudono nelle luci tra gli elementi degli stampi nella fase di pressatura e, quando richiesto a specifica, vanno eliminate in una apposita operazione oppure si ricorre ad artifici di disegno, introducendo p.es. degli smussi: dal punto di vista costi questa soluzione è la più economica.
La sbavatura è un'operazione comunemente praticata dai fornitori: purtroppo essa comporta l'arrotondamento degli spigoli, per cui può esserci contrasto con l'eventuale richiesta di spigoli vivi: il problema va chiarito preventivamente all'atto della formalizzazione del disegno, definendo, meglio se in termini quantitativi, cosa può essere accettabile, in particolare dal punto di vista funzionale.

Lo sgretolamento degli spigoli e le ammaccature si originano per effetto del maneggio dei pezzi, praticamente in ogni fase del ciclo di produzione; nel caso dei pezzi finiti devono aggiungersi la fase di trasporto e il maneggio durante lo stoccaggio. Deve essere definito il massimo tollerabile in termini di numero, dimensione e tipologia dei difetti, in modo che il produttore prenda le necessarie precauzioni. Se questi difetti sono effettivamente essenziali ai fini funzionali, usando apparecchiature di controllo munite di opportuni sensori è possibile automatizzare il collaudo di componenti specifici e verificare ogni pezzo del lotto in termini di rilievo anche quantitativo dei difetti, purchè i volumi produttivi giustifichino un simile approccio.

## CRICCHE

Questo tipo di difetto ha origine quasi esclusivamente durante la pressatura ed il successivo maneggio dei pezzi al verde, molto più raramente è da attribuirsi alla fase di sinterizzazione, a causa di tensioni interne.
Le cricche che si formano durante la pressatura sono per lo più localizzate in corrispondenza di variazioni di sezione e sono il risultato di sollecitazioni di taglio e di trazione esercitate su di un materiale la cui resistenza meccanica è estremamente ridotta. La loro dimensione può variare entro limiti piuttosto larghi, con un limite inferiore intorno a qualche centesimo di mm, e in diversi casi sono evidenziabili solo dopo sinterizzazione. Alcune forme dei pezzi possono risultare più critiche di altre agli effetti di una rilevazione anche solo occasionale del fenomeno, e quindi sono da sottoporre a collaudo con la dovuta attenzione.
Gli esami si possono fare sia a vista, p. es. con l'aiuto di un ingranditore, sia con apparecchiature automatiche di collaudo, come detto a proposito delle ammaccature.

## CARATTERISTICHE DI ASPETTO E PRESENZA DI IMPUREZZE

I processi di ossido riduzione che subiscono i componenti metallici portati a temperatura elevata alterano l'aspetto della superficie che perde l'eventuale lucentezza preesistente e per lo meno si opacizza. Nel caso dei sinterizzati, tale fenomeno è inevitabile e può anche essere accompagnato da colorazioni dovute ad ossidazione oppure a depositi carboniosi in superficie sugli acciai, soprattutto dopo trattamento termico.
Tale aspetto può essere in seguito modificato da operazioni di finitura meccanica (p. es. sbavatura o sabbiatura), dalla calibratura o ancora da lavorazioni d'utensile.
I componenti sottoposti a rivestimenti superficiali possono presentare delle macchie.
Nel caso in cui i componenti non sono adeguatamente protetti, sia lo stoccaggio che il trasporto in condizioni ambientali sfavorevoli possono favorire l'inizio di processi di corrosione. I sinterizzati ferrosi sono particolarmente sensibili: compaiono macchie di ruggine.
L'aspetto superficiale al momento del collaudo va pertanto definito a priori, indicandone la tipologia e i limiti entro cui può considerarsi tollerabile uno scostamento da un pezzo accettato come campione.
L'esame si fa a vista, con eventuale stima della estensione della superficie presentante difetti.

La presenza di impurezze di natura liquida è inevitabile nei componenti che dopo sinterizzazione sono stati assoggettati a lavorazioni secondarie comportanti contatto con fluidi di varia natura, in particolare oli: essi tendono ad impregnare la porosità interconnessa e possono essere in contrasto con le esigenze dell'applicazione.
Di solito il produttore provvede già a livello dei propri cicli l'eliminazione dei fluidi che possono innescare successivamente la corrosione o la loro sostituzione con altri, specifici dal punto di vista funzionale, p.es lubrificanti tribologicamente attivi.
Negli altri casi tener presente che, se non espressamente richiesta dalla funzione, la loro eliminazione è un'operazione costosa.
Le eventuali richieste riguardo questi aspetti devono essere indicate a specifica.
Altra sorgente di contaminanti è rappresentata da presenza di particelle solide: polveri metalliche (p. es. per distacco delle bave), grani di abrasivi e trucioli trattenuti nei pori affioranti alla superficie a seguito di lavorazioni d'utensile: il grado di contaminazione deve pertanto essere definito in funzione delle esigenze funzionali e si deve concordare l'eventuale processo per asportare le impurezze, nonchè le modalità per accertarne il risultato.



## NORME NELL'ASSICURAZIONE QUALITÀ

### NORME ISO

| | |
|---|---|
| **R 1024** | Metal materials - Hardness test - Rockwell superficial test (scales 15N, 30N, 45N, 15T, 30T, 45T) |
| **1099** | Metallic materials - Fatigue testing |
| **2738** | Permeable sintered metal materials - Determination of density, oil content, and open porosity |
| **2739** | Sintered metal bushes - Determination of radial crushing strength |
| **2740** | Sintered metal materials (excluding hardmetals) - Tensile test pieces |
| **3312** | Sintered metal materials and hardmetals - Determination of Young modulus |
| **3369** | Impermeable sintered metal materials and hardmetals - Determination of density Anche CEN |
| **3923** | Metallic powders - Determination of apparent density<br>Part 1: Funnel method<br>Part 2: Scott volumeter method |
| **3927** | Metallic powders, excluding powders for hardmetals - Determination of compactibility (compressibility) in uniaxial compression. Anche CEN |
| **3928** | Sintered metal materials, excluding hardmetals - Fatique test pieces |
| **3995** | Metallic powders - Determination of green strength by transverse rupture strength of rectangular compacts. Anche CEN |
| **4003** | Permeable sintered metal materials - Determination of bubble test pore size |
| **4022** | Permeable sintered metal materials - Determination of fluid permeability |
| **4288** | Rules and procedures for the measurement of surface roughness using a stylus instrument |
| **4490** | Metallic powders - Determination of flowability by means of a calibrated funnel (Hall flowmeter) |
| **4491** | Metallic powders - Determination of oxygen content by reduction methods<br>Part 1: General guidelines.Anche CEN<br>Part 2: Loss of mass on hydrogen reduction (hydrogen loss). Anche CEN<br>Part 3: Hydrogen-reducible oxygen<br>Part 4: Total oxygen by reduction-extraction |
| **4492** | Metallic powders, excluding powders for hardmetals - Determination of dimensional changes associated with compacting and sintering. Anche CEN |
| **4496** | Metallic powders - Determination of acid insoluble content in iron, copper, tin and bronze powders |
| **4497** | Metallic powders - Determination of particle size by dry sieving. Anche CEN |
| **4498** | Sintered metal materials, excluding hardmetals - Determination of hardness and microhardness |

| | |
|---|---|
| **4507** | Sintered ferrous materials, carburized or carbonitrided - Determination and verification of effective case depth by the Vickers microhardness testing method |
| **4516** | Metallic and related coatings - Vickers and Knoop microhardness tests. |
| **5725** | Accuracy (trueness and precision of measurement methods and results)<br>Part 1: General principles and definitions.<br>Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method.<br>Part 3: Intermediate measures of the precision of a standard measurement method<br>Part 4: Basic methods for the determination of the trueness of a standard measurement method.<br>Part 5: Alternative methods for the determination of the precision of a standard measurement method.<br>Part 6: Use in practice of accuracy values. |
| **5754** | Sintered metal materials, excluding hardmetals - Unnotched impact test piece Anche CEN |
| **5755** | Sintered metal materials - Specifications. |
| **6506** | Metallic materials - Hardness test-Brinell test. |
| **6507** | Metallic materials - Hardness test-Vickers test.<br>Part 1: From HV5 to HV100.<br>Part 2: From HV0,2 to HV5 excluded.<br>Part 3: Below HV0,2. |
| **6508** | Metallic materials - Hardness test - Rockwell test (scales A-B-C-D-E-F-G-H-K). |
| **6892** | Metallic materials - Tensile testing. |
| **7384** | Corrosion tests in artificial atmospheres. |
| **7625** | Sintered metal materials, excluding hardmetals - Preparation of samples for chemical analysis for determination of carbon content. |
| **9556** | Steel and iron - Determination of total carbon content - Infrared absorption method after combustion in an induction furnace. |
| **10076** | Metallic powders - Determination of particle size distribution by gravitational sedimentation in a liquid and attenuation measurement. |
| **13944** | Lubricated metallic powder mixes. Determination of lubricant and/or graphite content - Modified Soxhlet extraction method. |
| **14321** | Sintered metal materials, excluding hard metals-Metallographic preparation and examination. |

## NORME ISO IN FASE DI STUDIO (AGOSTO 1999)

**13946** Metallic powders - Determination of the homogenity of powder mixes.
**13947** Determination of non metallic inclusion content.
**14168** Metallic powders - Test method for copper-base infiltrating powders.
**14317** Sintered metal materials, excluding hard metals - Determination of compressive yield strength.

## NORME ASTM

**B 117** Test method of salt spray (fog) testing.
**E 399** Standard test method for plane-strain fracture toughness of metallic materials
**E 813** Standard test method for *JIC*, a measure of fracture toughness.
**E 1294** Standard test method for pore size characteristic of membrane filters using automated liquid porosimeter.
**F 795** Standard practice for determining the perfomance of a filter medium employing a single - pass, constant-rate, liquid test.
**F 902** Standard practice for calculating the average circular-capillary-equivalent pore diameter in filter media from measurements of porosity and permeability.

## NORME DIN

**4776** Rauheitsmessung - Kenngrößen Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2 zur Beschreibung des Materialanteils im Rauheitsprofil. Meßbedingungen und Auswerteverfahren.
**30911.3** Sintermetalle; Sint-Prüfnormen (SPN) - Prüfung der Sinterdichte, der offenen Porosität und des Tränkstoffgehaltes.
**30911.6** Sintermetalle; Sint-Prüfnormen (SPN) - Prüfung der Filtereigenschaften.
**50017** Werkstoff-Bauelemente und Geräteprüfung - Beanspruchung in Schwitzwasser-Klimaten.
**50018** Werkstoff-Bauelemente und Geräteprüfung - Prüfmittel in Kondenswasser Wechselklima mit Schwefeldioxid Atmosphäre.
**50021** Werkstoff-Bauelemente und Geräteprüfung - Sprünebelprüfungen mit verschiedenen Natriumchlorid-Lösungen.

## NORME IEC

**404-4** Magnetic materials-Part 4: methods of measurement of the d.c. properties of solid steels.
**404-5** Magnetic materials-Part 5: methods of measurement of magnetic properties of the magnetically hard (permanent magnet) materials.
**404-6** Magnetic materials-Part 6: methods for measurement of the magnetic properties of isotropic nickel-iron soft magnetic alloys, types E1, E3 and E4.
**404-7** Magnetic materials-Part 7: method of measurement of the coercivity of magnetic materials in an open magnetic circuit.
**404-13** Magnetic materials-Part 13: methods of measurement of density, resistivity and stacking factor of electrical steel sheet and strip.

## NORME MPIF

**Standard 35** Materials standards for PM structural parts

## BIBLIOGRAFIA


1 QS-9000, Quality System Requirements.
2 VDA 6.1 Qualität Management in der Automobilindustrie.
3 Guida all'utilizzo dei componenti sinterizzati, ASSINTER, Torino, 1989.
4 Metals Handbook Vol 7, Powder Metal Technologies and Applications, ASM, Materials Park, USA, 1998.
5 E. MOSCA, Metallurgia delle polveri - Criteri di progettazione e di controllo, SAMMA, Torino, 1983.
6 Quality Assurance Guidelines for the PM Parts Industry, EPMA, Shrewsbury, UK, 1995.
7 Powder Metallurgy Design Manual, Third Edition, MPIF, Princeton, USA, 1998.
8 Guida alla progettazione dei componenti sinterizzati, ASSINTER, Torino, 1995.
9 Competitività dei componenti sinterizzati - Guida alle alternative tecnologiche, ASSINTER, Torino, 1995.


## RINGRAZIAMENTI


Le Aziende ASSINTER ringraziano vivamente le Società FIAT AUTO - Laboratori Centrali, HÖGANÄS - Technical Service e l'UNIVERSITA' DI TRENTO - Dipartimento Ingegneria dei Materiali, per aver preso parte al round robin test volto a evidenziare la ripetibilità e riproducibilità di alcuni dei dati rilevabili in occasione di collaudi di qualità sui componenti sinterizzati.

Digitalizzazione
2018
Associazione Italiana di Metallurgia

Progetto grafico e coordinamento editoriale
Co&Co - Torino - www.coeco.it

Fotocomposizione
Co&Co

Stampa
Berrino Printer - San Mauro TO

Q




ASSOCIAZIONE PRODUTTORI COMPONENTI SINTERIZZATI



**ASSOCIAZIONE ITALIANA DI METALLURGIA**

Via Filippo Turati 8 · Milano
info@aimnet.it · www.aimnet.it