

LAVORAZIONI MECCANICHE DEGLI ACCIAI INOSSIDABILI

FAUSTO CAPELLI

"Introduzione ai lavori"

ANTONIO BUGINI e ROBERTO PACAGNELLA

"Problematiche sulle lavorazioni per asportazione di truciolo"

PIETRO MARIA LONARDO

"Finibilità degli acciai inossidabili e caratterizzazione ottica delle superfici lavorate"

CARLO NARDI

"Gli acciai inossidabili sono difficili da lavorare?"

DARIO AGALBATO

"Sistemi qualità: organizzarsi per lavorare meglio"

Relazioni presentate all'incontro tecnico organizzato dal Centro Inox

Milano, 20 Aprile 1994

Dr. Ing. Fausto Capelli
Direttore Centro Inox
Milano

INTRODUZIONE AGLI ACCIAI INOSSIDABILI

Incontro tecnico
"Lavorazioni Meccaniche degli acciai inossidabili"
organizzato dal Centro Inox

Milano, 20 Aprile 1994

COSA SONO GLI ACCIAI INOX

Premessa

Gli acciai inossidabili sono delle leghe ferrose che riescono a unire le proprietà meccaniche tipiche degli acciai, alle caratteristiche intrinseche dei materiali nobili, quali tipicamente, le notevoli doti di resistenza ai fenomeni corrosivi.

Perché inossidabili?

In effetti, il termine non corrisponde alla vera natura di questi metalli, essi, infatti, sono "ossidabilissimi", vale a dire hanno la possibilità, grazie al contenuto degli elementi in lega, essenzialmente alla percentuale di cromo, di "autopassivarsi" cioè di ricoprirsi di uno strato di ossidi invisibile, di dimensioni molecolari, che protegge il metallo sottostante dagli attacchi corrosivi.

Questo fenomeno si verifica ogni volta che l'ambiente è sufficientemente ossidante, come ad esempio l'aria che si respira, l'acqua, soluzioni varie, ecc. La natura di questo strato è tale da garantire la copertura del metallo, anche se localmente si verificano abrasioni od asportazioni della pellicola, a patto di essere sempre in condizioni sufficientemente ossidanti.

Questo concetto è molto importante ai fini di una buona tenuta nel tempo e per contrastare in maniera adeguata i diversi casi di corrosione. E' necessario infatti consentire al materiale, sia in fase di lavorazione che di messa in opera, di poter scambiare con l'ambiente che lo circonda una sufficiente quantità di ossigeno in modo da poter essere considerato nelle ottimali condizioni di passivazione.

Naturalmente questo film passivo può essere più o meno resistente e più o meno ancorato al materiale a seconda della concentrazione in cromo presente nella lega ed a seconda dell'eventuale presenza di altri elementi quali il nichel, il molibdeno, il titanio, ecc.

E' chiaro quindi che esistono diversi gradi di inossidabilità e di resistenza alla corrosione, esiste pertanto, nell'ambito degli inossidabili, una scala di nobiltà a seconda del contenuto in lega degli elementi succitati.

Oltre alle caratteristiche di resistenza alla corrosione, c'è una vasta gamma di resistenze meccaniche che dà la possibilità di scegliere tra diversi tipi di prestazioni, sia a temperatura ambiente che a temperature elevate.

Il generico utilizzatore si trova di conseguenza di fronte una notevole serie prestazionale ed il problema che spesso volte si pone è proprio quello di riuscire a scegliere il giusto materiale in funzione degli impieghi, in maniera tale da non "sottodimensionare" né "sovradimensionare" la scelta e riferirsi agli opportuni valori di nobiltà e di prestazioni meccaniche, adatti a un determinato servizio.

E' necessario a questo punto illustrare brevemente per grosse aggregazioni le diverse tipologie di questi acciai.

COME SI CLASSIFICANO

Gli inox si dividono in tre grandi famiglie:

- i martensitici
- i ferritici
- gli austenitici

Gli inossidabili **martensitici** sono leghe al solo cromo (dall'11 al 18% circa), contenenti piccole quantità di altri elementi come ad esempio il nichel. Sono gli unici inox che possono prendere tempra e pertanto aumentare le loro caratteristiche meccaniche (carico di rottura, carico di snervamento, durezza), mediante trattamento termico.

Buona è la loro attitudine alle lavorazioni per deformazione plastica, specie a caldo e nelle versioni risolforate danno anche discrete garanzie di truciolabilità.

Anche i **ferritici** sono acciai inossidabili al solo cromo (il contenuto è variabile dal 16 al 28%), ma non possono innalzare le loro caratteristiche meccaniche per mezzo di trattamenti termici.

Si lavorano facilmente per deformazione plastica, sia a caldo che a freddo e possono essere lavorati alle macchine utensili (specie i tipi risolforati).

Presentano una buona saldabilità, specie nel caso delle saldature a resistenza (puntatura e rullatura).

Gli **austenitici** sono invece leghe al cromo-nichel, con cromo in quantità comprese tra il 17 e il 26 % e nichel tra il 7 e il 22%.

Anche questi acciai non prendono tempra ma possono incrementare le proprietà tensili con incrudimenti per deformazione a freddo (laminazione, imbutitura, ecc.).

Esistono poi diverse versioni a basso contenuto di carbonio, stabilizzate, per i più svariati tipi di impiego.

Ottima è la loro lavorabilità, soprattutto la deformabilità a freddo (specie l'imbutibilità) e le lavorazioni alle macchine utensili.

Essi possono essere anche validamente saldati sia a resistenza sia all'arco elettrico.

Oltre a queste tre categorie principali, esistono anche altre famiglie meno note, ma degne di menzione, per impieghi più specifici; sono da citare, ad esempio, gli acciai "austeno-ferritici", detti anche "duplex", che presentano una struttura mista di austenite e di ferrite.

Questi materiali sono impiegati quando vengono richieste caratteristiche di resistenza alla corrosione particolari (specie nei confronti della stress-corrosion); essi hanno saldabilità e caratteristiche meccaniche, di solito superiori a quelle dei ferritici correnti.

Da citare sono anche gli acciai inossidabili "indurenti per precipitazione"; questi presentano la possibilità di innalzare notevolmente le caratteristiche meccaniche con dei trattamenti termici particolari di invecchiamento, che consentono di far precipitare nella matrice del metallo degli elementi composti in grado di aumentare le proprietà meccaniche della lega.

Inoltre gli indurenti per precipitazione possiedono una notevole resistenza alla corrosione, certamente paragonabile a quella degli acciai austenitici classici.

Attualmente si è giunti ad una differenziazione notevole nella tipologia degli acciai inossidabili e se ne contano ben più di cento tipi.

Si è pensato comunque di radunare quelli più correnti con le loro composizioni chimiche indicative e la corrispondenza approssimata tra le unificazioni dei diversi Paesi (tabella 1).

Tab. 1 - Composizione chimica indicativa e designazione AISI di alcuni tipi di acciai inossidabili più impiegati

Tipo di struttura	ANALISI INDICATIVA %									AISI (U.S.A.)
	C	Mn max	P max	S max	Si max	Cr	Ni	Mo	Altri elementi	
austenitica	0,15 max	2	0,045	0,030	1	16 + 18	6 + 8	-	-	301
austenitica	0,15 max	2	0,20	0,15 min	1	17 + 19	8 + 10	0,60 max	-	303
austenitica	0,15 max	2	0,20	0,060	1	17 + 19	8 + 10	-	Se = 0,15 min	303 Se
austenitica	0,08 max	2	0,045	0,030	1	18 + 20	8 + 10,5	-	-	304
austenitica	0,03 max	2	0,045	0,030	1	18 + 20	8 + 12	-	-	304 L
austenitica	0,20 max	2	0,045	0,030	1	22 + 24	12 + 15	-	-	309
austenitica	0,08 max	2	0,045	0,030	1	22 + 24	12 + 15	-	-	309 S
austenitica	0,25 max	2	0,045	0,030	1,50	24 + 26	19 + 22	-	-	310
austenitica	0,08 max	2	0,045	0,030	1,50	24 + 26	19 + 22	-	-	310 S
austenitica	0,06 max	2	0,045	0,030	1	16 + 18,5	10,5 + 13,5	2 + 2,5	-	316
austenitica	0,08 max	2	0,20	0,10 min	1	16 + 18	10 + 14	1,75 + 2,5	-	316 F
austenitica	0,03 max	2	0,045	0,030	1	16 + 18,5	11 + 14	2 + 2,5	-	316 L
austenitica	0,08 max	2	0,045	0,030	1	17 + 19	9 + 12	-	Ti = 5 x C min	321
austenitica	0,08 max	2	0,045	0,030	1	17 + 19	9 + 13	-	Nb + Ti = 10 x C min	347
ferritica	0,08 max	1	0,045	0,045	1	10 + 11,5	-	-	Ti = 6 x C min; 0,75 max	409
martensitica	0,15 max	1	0,040	0,030	1	11,5 + 13,5	-	-	-	410
martensitica	0,15 max	1,25	0,060	0,15 min	1	12 + 14	-	0,60 max	-	416
martensitica	0,16 + 0,25	1	0,040	0,030	1	12 + 14	1 max	-	-	420
ferritica	0,12 max	1	0,040	0,030	1	16 + 18	-	-	-	430
ferritica	0,12 max	1,25	0,060	0,15 min	1	16 + 18	-	0,60 max	-	430 F

LE CARATTERISTICHE FISICHE E MECCANICHE

Con gli acciai inossidabili c'è la possibilità di disporre di una vasta gamma di proprietà sia fisiche che meccaniche per le più disparate situazioni applicative.

Caratteristiche fisiche

Il **peso specifico** è variabile a seconda della diversa composizione chimica ed è compreso tra 7,7 g/cm³ per i tipi martensitici e ferritici e 8,06 g/cm³ per gli austenitici.

Per la **conducibilità termica** c'è da tener presente che gli acciai a struttura ferritica e martensitica conducono meglio il calore rispetto agli acciai austenitici: anche la **resistività elettrica** è fortemente differenziata tra gli austenitici, dove è più elevata che negli altri tipi.

Da considerare è anche il **coefficiente di dilatazione termica**: gli austenitici dilatano molto con la temperatura, rispetto agli altri inossidabili.

Infine, diversa è anche la **permeabilità magnetica** relativa, infatti le famiglie martensitica e ferritica sono sostanzialmente ferromagnetiche, mentre quella austenitica è amagnetica. Per le prime questa caratteristica fisica non è molto influenzata dall'incrudimento per deformazione a freddo, mentre gli austenitici risentono molto di più di questo fenomeno.

Caratteristiche meccaniche

Sono differenti a seconda dei diversi tipi e possono essere sintetizzate come segue:

I tipi austenitici non sono suscettibili di innalzare le loro caratteristiche mediante tempra e conseguentemente hanno qualità resistenziali non elevate.

Sono capaci però di innalzare anche di molto la loro resistenza mediante incrudimento per deformazione plastica a freddo, elevando il carico di rottura. Questo fenomeno è molto sfruttato proprio nello stampaggio a freddo di questi materiali.

Posseggono elevate caratteristiche di resistenza a fatica. Quella agli urti è molto alta, sia a temperatura ambiente, sia a temperature assai basse.

Anche **i tipi ferritici** non sono suscettibili di trattamento di tempra e conseguentemente presentano caratteristiche resistenziali non elevate.

L'incrudimento per deformazione plastica a freddo incrementa anche in questo caso le caratteristiche di resistenza, ma in misura minore rispetto agli austenitici.

I tipi martensitici offrono le migliori caratteristiche di resistenza meccanica fra gli acciai inossidabili quando sono messi in opera allo stato bonificato (tempra e rinvenimento).

Nella tabella 2 sono state elencate alcune delle caratteristiche fisiche e meccaniche tra le più significative dei principali acciai inox più utilizzati.

Tab. 2 - Alcune caratteristiche fisiche e meccaniche degli acciai inox presentati in tabella 1

Tipo di acciaio (AISI)	CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE						
	Peso specifico (g/cm ³)	Coeff. di conducibilità termica (cal/cm °C s)	Coeff. di dilatazione termica medio (X 10 ⁻⁶ °C ⁻¹)	Carico di rottura (Kg/mm ²) R	Carico di snervamento (Kg/mm ²) R _{p(0.2)} min	Allungamento a rottura (%) A	Durezza HRB max
301	8,06	0,039	16,9	60 + 75	22	45	92
303 303 Se	8,06	0,039	17,3	50 + 75	22	40	-
304	8,06	0,039	17,3	55 + 70	20	45	88
304 L	8,06	0,039	17,3	53 + 68	18	45	88
309	8,06	0,037	15,0	55 + 70	23	40	95
309 S	8,06	0,037	15,0	53 + 68	21	40	95
310	8,06	0,034	15,9	55 + 70	23	40	95
310 S	8,06	0,034	15,9	53 + 68	21	40	95
316	8,06	0,039	16,0	55 + 70	21	40	95
316 F	8,06	0,034	16,5	59 + 70	27	60	85
316 L	8,06	0,039	16,0	53 + 68	20	40	95
321	8,06	0,038	16,5	55 + 70	21	40	88
347	8,06	0,038	16,6	55 + 70	21	40	88
409	7,88	0,062	11,7	46	24	25	75
410	7,78	0,059	9,9	70 + 90	50	14	97 (*)
416	7,78	0,059	9,9	70 + 90	50	14	97 (*)
420	7,78	0,059	10,3	75 + 95	55	13	97 (*)
430	7,78	0,062	10,4	45 + 60	26	22	88
430 F	7,78	0,062	10,4	50 + 70	30	15	92

(*) Valori ricavati su provette allo stato di ricottura di lavorabilità

I PRODOTTI SIDERURGICI ESISTENTI

La notevole diversificazione delle applicazioni industriali raggiunta dagli acciai inossidabili ha necessariamente portato le ditte trasformatrici all'esigenza di poter disporre sul mercato di diversi prodotti siderurgici nei vari formati.

I prodotti di base, forniti da acciaieria, possono distinguersi in prodotti "piatti" e prodotti "lunghi".

Tra i primi si possono classificare:

- larghi piatti (laminati o ricavati da lamiera)
- lamiera laminata a caldo
- lamiera laminata a freddo
- nastro laminato a caldo
- nastro laminato a freddo.

Tra i secondi:

- prodotti in barre (laminate o trafilate)
- filo
- filo senza saldatura
- tubi saldati

a questi prodotti sono da aggiungere i "getti", vale a dire diversi prodotti ottenuti per fusione.

Sia per i prodotti piatti che per i prodotti lunghi, esistono ormai disponibilità, in commercio, di svariate dimensioni, tali da soddisfare ogni tipo di esigenza applicativa. Dai formati standard forniti da acciaieria è comunque possibile ottenere qualsiasi genere di sottoformato a misura per richieste particolari.

A livello di normativa italiana, si può fare riferimento, per i vari prodotti sopra citati, alle seguenti norme UNI.

UNI 3159: Getti di acciaio inossidabile o lega colati in sabbia, resistenti al calore (refrattari). Qualità, prescrizioni e prove.

UNI 3161: getti di acciaio inossidabile colati in sabbia, resistenti alla corrosione. Qualità, prescrizioni e prove.

UNI 6900: Acciai legati speciali inossidabili resistenti alla corrosione e al calore.

UNI 6901: Semilavorati e barre laminati o fucinati a caldo e vergella di acciaio speciale inossidabile resistente alla corrosione e al calore.

UNI 6904: Tubi senza saldatura di acciaio legato speciale inossidabile resistente alla corrosione ed al calore.

UNI 8317: Prodotti finiti piatti di acciaio inossidabile resistente alla corrosione e al calore.

Lamiera, lamiera sottili, nastri e nastri larghi.

IL FENOMENO "CORROSIONE"

E' sempre molto aleatorio poter prevedere, in generale, il comportamento nel tempo di un determinato materiale metallico se messo in contatto con un certo ambiente. Gli acciai inossidabili, grazie alla loro composizione chimica, hanno la possibilità di autopassivarsi, come già visto, e di poter far fronte alle più disparate condizioni di aggressione.

Sono molti i parametri che giocano a favore dell'innescò di un fenomeno corrosivo:

- la concentrazione dell'agente aggressivo
- la temperatura dell'agente aggressivo
- la velocità di fluido sulle pareti del materiale
- la finitura superficiale del metallo, ecc.

Normalmente però, i due valori più determinanti da tenere presente, sono la concentrazione e la temperatura della sostanza corrosiva; ecco perché nella scelta di un certo inox in funzione dell'ambiente nel quale dovrà lavorare, è necessario conoscere, se possibile, almeno questi due parametri.

In generale, il miglior comportamento nei confronti dei fenomeni corrosivi, è offerto dagli acciai austenitici, in particolare da quelli legati al cromo-nichel-molibdeno, che presentano un film passivo particolarmente resistente.

Nell'ordine poi vengono i ferritici ed i martensitici che sono quelli a più basso tenore di cromo.

Per evitare che si inneschino corrosioni sugli inox, oltre a scegliere opportunamente il tipo di materiale in funzione del servizio al quale esso è destinato, è bene anche seguire alcune precauzioni durante le lavorazioni e la messa in opera.

E' necessario intanto, sia in fase di stoccaggio dei prodotti, sia in fase di trasformazione durante le lavorazioni, sia durante le installazioni, evitare contaminazioni con materiali meno nobili, come ad esempio quelle causate dall'acciaio comune. L'inox eventualmente contaminato, anche in presenza di un aggressivo molto blando, può macchiarsi e dare inizio a fenomeni corrosivi localizzati.

Le unioni con materiale d'apporto devono venire eseguite con gli elettrodi indicati per il materiale di base; mentre le giunzioni effettuate con elementi meccanici devono prevedere che i materiali costituenti gli organi di collegamento siano di inox o di pari nobiltà (per es. monel, ecc.). Questo per evitare che si inneschino corrosioni galvaniche dovute alla differente nobiltà dei metalli messi a contatto.

Non bisogna utilizzare, sui componenti finiti, soluzioni detergenti o decapanti che abbiano elevate percentuali di sostanze clorurate (ad es. non si deve usare acido cloridrico o muriatico commerciale). A volte, per pulire efficacemente le superfici dell'inox è sufficiente la normale acqua e sapone oppure acqua e soda.

In casi ove la sporcizia sia molto più resistente o dove sia necessario procedere a decapaggio (per es. per i cordoni di saldatura) o a decontaminazione (nel caso di contaminazione ferrosa), è possibile utilizzare appositi prodotti in pasta da impiegare in maniera localizzata sulla zona da trattare.

IL CENTRO INOX

Il Centro Inox, ente senza scopo di lucro, è un'associazione fra le maggiori acciaierie italiane, produttrici di acciai inossidabili, alcuni fra i più importanti trasformatori primari ed enti italiani e stranieri operanti in Italia e in Europa.

I nostri soci sono:

Acciaierie di Bolzano	Inco Europe
Acciaierie Valbruna	Marcegaglia Div. Inox
A.S.T. Acciai Speciali Terni	Nickel Development Institute
Cogne Acciai Speciali	Rodinox
Dalmine	Trafilerie Bedini
I.L.T.A.	

È stato istituito con lo scopo di studiare, far conoscere, sviluppare le applicazioni di questi materiali in tutti i settori di impiego, attuali e futuri.

La sua attività si svolge principalmente in questi modi:

- azioni volte a conoscere i mercati di consumo degli acciai inossidabili individuandone gli aspetti e i problemi che caratterizzano determinati campi di utilizzo. Questi studi servono a orientare in modo costante sia la produzione delle acciaierie associate e dei primi trasformatori, adeguandola alle richieste dei consumatori, sia i programmi di lavoro del Centro Inox, e in modo speciale l'attività da svolgere per lo sviluppo e per la consulenza tecnica:

- informazione e divulgazione delle caratteristiche, dei criteri di scelta, delle lavorazioni e delle applicazioni finali degli acciai inossidabili, attraverso l'organizzazione di incontri, di giornate di studio, di seminari, di convegni, oppure con la partecipazione a similari manifestazioni e iniziative, organizzate da altri enti;
- presenza di funzionari del Centro Inox a commissioni nazionali e della CEE per la formulazione di normative e di unificazioni dei prodotti siderurgici, dei componenti e dei manufatti che hanno diretta applicazione nelle industrie;
- organizzazione di corsi didattici di base, oppure di perfezionamento, per tutte le aziende che lavorano e trasformano gli acciai inossidabili, nonché per i tecnici e per i progettisti;
- appoggio stampa e divulgazione scientifica, con una serie costante di pubblicazioni tecniche, economiche e applicative, sulle esperienze e sui risultati raggiunti in Italia e in altri Paesi nell'impiego di acciai inossidabili;
- elaborazione di tabelle tecniche sugli acciai prodotti in Italia, in rapporto alle normative e alle classificazioni internazionali, nonché sulle loro caratteristiche fisiche, meccaniche e di lavorabilità;
- pubblicazione, dall'anno 1965, di un periodico trimestrale rivolto a un pubblico selezionato, per segnalare impieghi di acciai inossidabili con speciali caratteristiche di interesse e di tecnologia e contenente articoli e note tecniche utili al trasformatore e al progettista;
- il Centro Inox collabora con Enti similari sorti in numerosi Paesi europei ed extraeuropei, che hanno per scopo di coordinare e di migliorare la conoscenza degli acciai inossidabili come valido strumento per l'industria moderna.

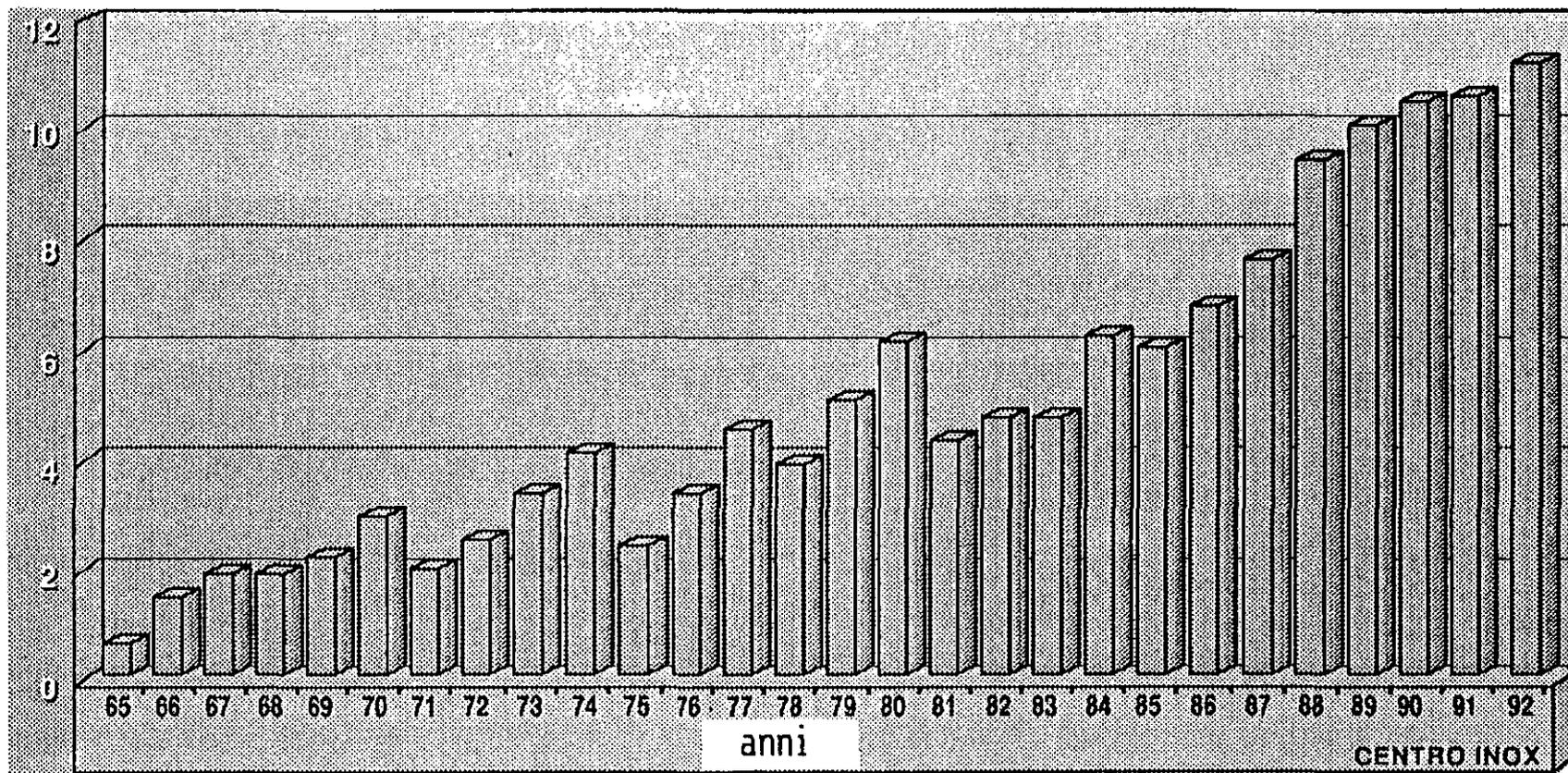
Possiede e accresce costantemente una biblioteca specializzata, attualmente di oltre 1.400 fra le più aggiornate opere italiane ed estere, consultabili da studenti, progettisti, esperti che operano nel campo degli acciai inossidabili.

Attualmente il consumo apparente pro-capite di acciaio inossidabile in Italia è stimato in 11,5 kg/persona (tabella 3) e rappresenta, pertanto, il 2° mercato europeo (valutato in termini di prodotti finiti di acciaieria inox) e il 4° nel mondo, dietro a Giappone, U.S.A., Germania e davanti a Francia e Gran Bretagna.

CONSUMO APPARENTE PRO-CAPITE IN ITALIA

(Lamiere, nastri, barre e tubi di acciaio inossidabile)

kg/persona



Nel futuro, il Centro Inox si propone di mantenere tutte le attività svolte dalla sua fondazione e qui riassunte, proponendosi di potenziare la sua partecipazione a commissioni di normazione, sia nazionali che internazionali, in modo speciale a quelle comunitarie. Svilupperà, in collaborazione con enti stranieri, modelli di calcolo, onde valutare i costi e la durata dei manufatti e degli impianti costruiti con acciai inossidabili e precisarne così meglio i criteri di scelta nei confronti di materiali concorrenti.

Approfondirà ancora le nuove possibilità di impiego degli acciai inossidabili e specialmente dei nuovi tipi oggi prodotti, privilegiando il vasto campo applicativo (chimica, petrolchimica, edilizia, alimentare, trasporti, ecc.), così come i piccoli mercati "di nicchia", al fine di ottenere, come risultato della promozione, un continuo aumento di consumo dei prodotti inox.

.. ..

Prof. Ing. Antonio Bugini
Presidente della Facoltà di Ingegneria
Università di Bergamo

e

Prof. Ing. Roberto Pacagnella
Ordinario di Tecnologia Meccanica
Politecnico di Milano

**"PROBLEMATICHE SULLE LAVORAZIONI
PER ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO"**

Incontro tecnico
"Lavorazioni Meccaniche degli acciai inossidabili"
organizzato dal Centro Inox

Milano, 20 Aprile 1994

LAVORABILITA'

Non esistono relazioni semplici tra lavorabilità dei materiali e proprietà dei materiali stessi.

La lavorabilità è influenzata da:

- materiale,
- condizioni di taglio,
- dall'utensile.

Inoltre quale fattore prendere come indice di lavorabilità ?

- usura utensile,
- finitura pezzo,
- forza di taglio,
- quantità di calore sviluppata,
-

Metodo abbastanza semplice: considerare solo usura utensile e fare prove di confronto.

Materiale campione: acciaio CF 9 SMn 23 (UNI 4838)

$$I = \frac{vh \text{ materiale in prova}}{vh \text{ materiale campione}} 100$$

LAVORABILITA'

Indici di lavorabilità di alcuni acciai inossidabili

Designazione AISI	Indice di lavorabilità
403	58
410	58
416	97
420	58
431	46
405	58
430	58
430 F	90
201	49
302	49
303	70
304	49
304 L	49
305	49
316 L	43

La scarsa lavorabilità degli acciai inossidabili è dovuta a:

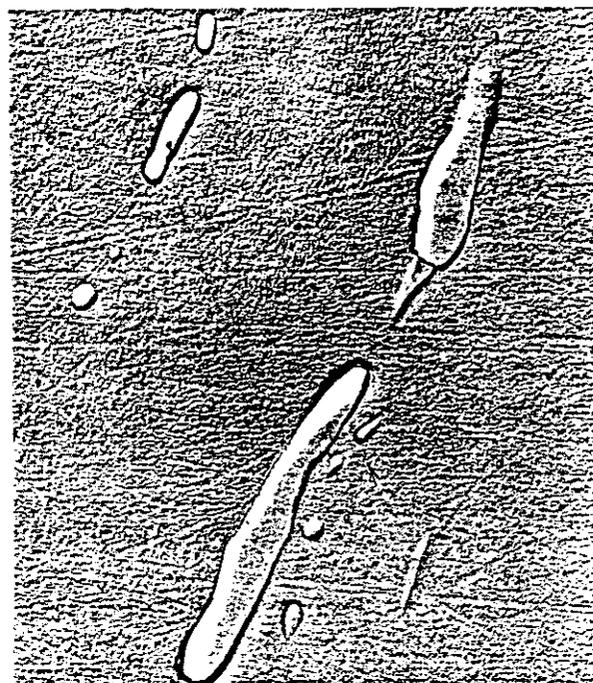
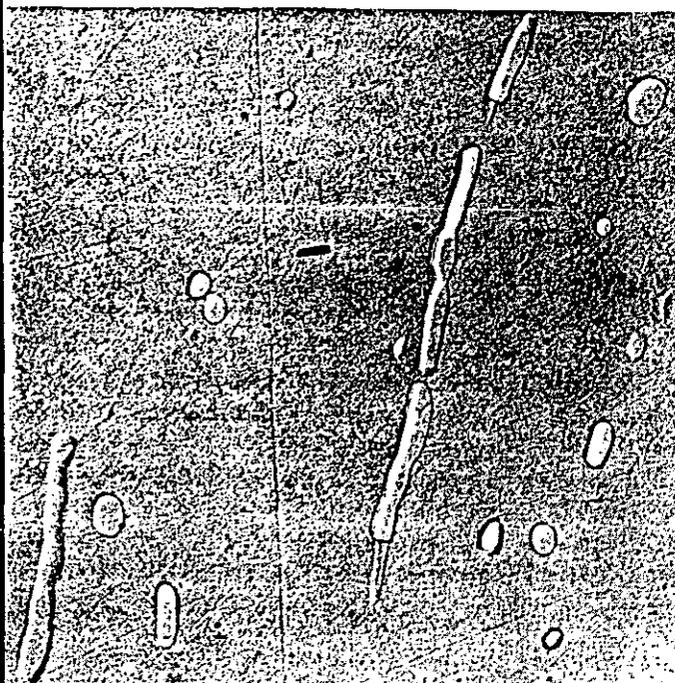
- carico di rottura a trazione sensibilmente maggiore di quella degli acciai al carbonio;
- rapporto fra carico di rottura e carico di snervamento maggiore di quello degli acciai al carbonio;
- forte tendenza all'incrudimento;
- se la matrice è ricca di carburi si ha una rapida usura dell'utensile;
- conducibilità termica molto bassa (soprattutto gli austenitici): il pezzo in lavorazione disperde male il calore e contribuisce a surriscaldare l'utensile;
- il coefficiente di dilatazione termica è maggiore rispetto a quella degli acciai al carbonio, per cui il pezzo in lavorazione tende a "forzare" sull'utensile;
- molto spesso risulta difficile spezzettare il truciolo.

LAVORABILITA'

Aggiunte di selenio e di zolfo migliorano la lavorabilità

Il selenio provoca la formazione di inclusioni di seleniuri con forma solitamente tondeggiate. Tali inclusioni, rompendo la continuità della matrice, la infragiliscono; inoltre sviluppano un'azione lubrificante.

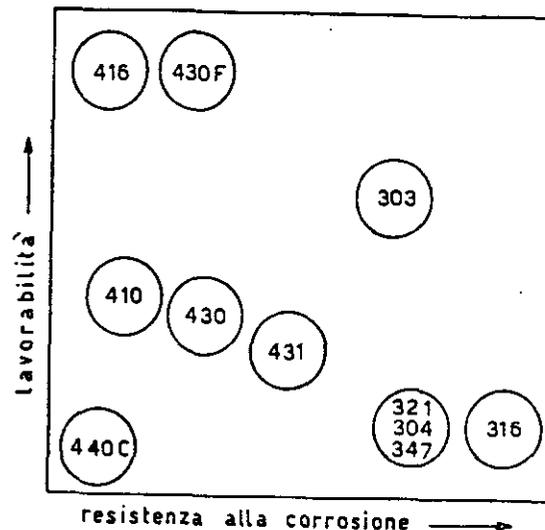
Lo zolfo provoca la formazione di solfuri misti di manganese e di cromo che si dispongono come "isole" atte ad interrompere la continuità della matrice di acciaio.



Micrografie che mostrano le "isole" di solfuri (a sinistra) e di seleniuri (a destra) in un acciaio inossidabile austenitico.

LAVORABILITA'

La figura sottostante mostra qualitativamente come si collocano i diversi tipi di acciaio inox in funzione delle loro caratteristiche di lavorabilità e di resistenza alla corrosione.



CONSIGLI

Nel caso di lavorazioni per asportazione di truciolo è bene attenersi a quanto segue

- usare macchine utensili rigide e disporre di un buon margine di potenza;
- usare utensili con elevata rigidità e, se possibile, di dimensioni maggiori di quelle usate per gli acciai normali in quanto viene favorita la dispersione di calore nella zona di taglio;
- si tenga presente che la geometria (angoli caratteristici) degli utensili è differente da quella valida per gli acciai comuni (è sempre utile consultare gli utensilieri);
- è quasi sempre necessario utilizzare fluidi da taglio (in quantità abbondante) per favorire al massimo l'asportazione di calore;
- poiché gli acciai inossidabili sono fortemente incrudibili, è bene che la profondità di passata sia tale da garantire il taglio sotto la zona incrudita dalle precedenti lavorazioni.

LAVORABILITA'

Nelle tabelle seguenti sono riportati i parametri di taglio e la geometria degli utensili per lavorazioni di tornitura e di fresatura (fonte: "*Gli acciai inossidabili*", autore Prof. Gabriele Di Caprio, ed. Hoepli). A tale libro si rimanda per quanto riguarda le condizioni di taglio consigliate per altre lavorazioni quali: troncatura al tornio, foratura, alesatura, maschiatura, brocciatura, ecc..

Tabella 7.3 Parametri operativi per tornitura cilindrica di acciai inossidabili con utensili con plac

Designazione AISI	Tipo	Stato	Durezza HB	Utensile Materiale placchetta	Angoli caratteristici Con placchette brasate (1)				Con placchette serrate meccanicamente (1)				Tipo di fluido da taglio (2)	Parametri di taglio				Fonte
														Profondità di passata mm	Velocità di avanzamento mm/giro	Velocità di taglio		
																Con placchette brasate m/min	Con placchette serrate mecca- nicamente m/min	
					α_r°	γ_r°	α_z°	γ_z°	γ_r°	γ_r°	α_z°	γ_z°						
303	Austenitico a lavorabilità migliorata			P 50; P 30; P 10 (7)	—	—	—	—	(3)	(3)	(3)	(3)	A: (2)	6 3 1	0,5 0,4 0,2	— — —	110÷120 145÷160 165÷175	a
		Solubilizzato	135÷185	C 1; C 2 (4)	5	0	5	6	5	-5	5	-5	A	4 0,5	0,4 0,2	122 137	140 157	b
		Incrudito	225÷275	C 1; C 2 (4)	5	0	5	6	5	-5	5	-5	A	4 0,5	0,4 0,2	107 122	122 140	b
304	Austenitico			P 50; P 30; P 10 (7)	—	—	—	—	(3)	(3)	(3)	(3)	A: (2)	6 3 1	0,5 0,4 0,2	— — —	75÷85 90÷100 110÷120	a
		Solubilizzato	135÷185	C 1; C 2 (4)	5	0	5	6	5	0	5	5	A	4 0,5	0,4 0,2	84 102	96 117	b
		Incrudito	225÷275	C 1; C 2 (4)	5	0	5	6	5	0	5	5	A	4 0,5	0,4 0,2	76 91	87 105	b
316	Austenitico			P 50; P 30; P 10 (7)	—	—	—	—	(3)	(3)	(3)	(3)	A: (2)	6 3 1	0,5 0,4 0,2	— — —	70÷80 85÷95 100÷110	a
		Solubilizzato	135÷185	C 1; C 2 (4)	5	0	5	6	5	0	5	5	A	4 0,5	0,4 0,2	76 91	86 105	b
410	Martensitico	Ricotto		P 50; P 30; P 10 (7)	—	—	—	—	(4)	(4)	(4)	(4)	A: (2)	6 3 1	0,5 0,4 0,2	— — —	125÷135 155÷165 180÷190	a
			135÷185	C 6; C 7 (4)	5	0	5	6	5	-5	5	-5	A	4 0,5	0,4 0,2	137 152	157 175	b
			175÷225	C 6; C 7 (4)	5	0	5	6	5	-5	5	-5	A	4 0,5	0,4 0,2	122 137	140 158	b
		Bonificato	200÷235	P 30; P 10 (7)	—	—	—	—	(4)	(4)	(4)	(4)	A: (2)	6 3 1	0,5 0,4 0,2	— — —	115÷125 145÷165 170÷180	a
			275÷325	C 6; C 7 (4)	5	0	5	6	5	-5	5	-5	A	4 0,5	0,4 0,2	76 91	87 105	b
			375÷425	C 6; C 7 (4)	5	0	5	6	5	-5	5	-5	A	4 0,5	0,4 0,2	45 53	53 61	b
416	Martensitico a lavorabilità migliorata	Ricotto		P 50; P 30; P 10 (7)	—	—	—	—	(4)	(4)	(4)	(4)	A: (2)	6 3 1	0,5 0,4 0,2	— — —	140÷150 175÷185 200÷220	a
			135÷185	C 6; C 7 (4)	5	0	5	6	5	-5	5	-5	A	4 0,5	0,4 0,2	152 170	175 195	b
			185÷240	C 6; C 7 (4)	5	0	5	6	5	-5	5	-5	A	4 0,5	0,4 0,2	137 152	157 175	b
		Bonificato	200÷250	P 30; P 10 (7)	—	—	—	—	(4)	(4)	(4)	(4)	A: (2)	6 3 1	0,5 0,4 0,2	— — —	125÷135 155÷165 180÷190	a
			275÷325	C 6; C 7 (4)	5	0	5	6	5	-5	5	-5	A	4 0,5	0,4 0,2	100 115	115 130	b
			375÷425	C 6; C 7 (4)	5	0	5	6	5	-5	5	-5	A	4 0,5	0,3 0,15	46 61	52 68	b

(1) Vedere fig. 7.5 a.

(2) Vedere prospetto a fine tabella.

(3) A secco.

(4) Corrisponde a X 30 Cr 13 UNI 6900-71.

(5) Angoli e forma della placchetta secondo Norma ISO 3364-77 (vedere fig. 7.5 b).

(6) Angoli e forma della placchetta secondo Norma ISO 3364-77 (vedere fig. 7.5 c).

(7) Designazione ISO.

(8) Designazione AISI.

Fonti: a, *Manuel Technique des Aciers Inoxydables*, 2ª edizione, o. c. [9].

b, *Metals Handbook*, 8ª edizione, 3ª volume, *Machining*, o. c. [3].

seguito Tabella 7.3

Designazione AISI	Tipo	Stato	Durezza HB	Utensile Materiale placchetta	Angoli caratteristici Con placchette brasate (*)				Tipo di fluido da taglio (?)	Parametri di taglio				Fonte
										Profondità di passata mm	Velocità di avanzamento mm/ giro	Velocità di taglio		
					α_y°	γ_r°	α_x°	γ_z°				Con placchette brasate m/min	Con placchette serrate mecca- nicamente m/min	
420 (*)	Martensitico	Ricotto		P 50; P 30; P 10 (?)	—	—	—	—	(*) (*) (*) (*) A: (*)	6 3 1	0,5 0,4 0,2	— — —	100÷110 145÷160 165÷175	a
		Bonificato	275÷295	P 30; P 10 (?)	—	—	—	—	(*) (*) (*) (*) A: (*)	6 3 1	0,5 0,4 0,2	— — —	80÷90 110÷120 125÷145	a
420 F	Martensitico a lavorabilità migliorata	Ricotto		P 30; P 10 (?)	—	—	—	—	(*) (*) (*) (*) A: (*)	6 3 1	0,5 0,4 0,2	— — —	115÷125 160÷175 180÷190	a
		Bonificato	200÷295	P 30; P 10 (?)	—	—	—	—	(*) (*) (*) (*) A: (*)	6 3 1	0,5 0,4 0,2	— — —	100÷110 145÷160 165÷175	a
430	Ferritico			P 30; P 10 (?)	—	—	—	—	(*) (*) (*) (*) A: (*)	6 3 1	0,5 0,4 0,2	— — —	115÷125 160÷175 180÷190	a
		Ricristallizzato	135÷185	C 6; C 7 (*)	5	0	5	6	A	4 0,5	0,4 0,2	137 152	157 175	b
430 F	Ferritico a lavorabilità migliorata			P 50; P 30; P 10 (?)	—	—	—	—	(*) (*) (*) (*) A: (*)	6 3 1	0,5 0,4 0,2	— — —	140÷150 175÷185 200÷210	a
		Ricristallizzato	135÷185	C 6; C 7 (*)	5	0	5	6	A	4 0,5	0,4 0,2	152 170	175 195	b
431	Martensitico	Ricotto	225÷275	C 6; C 7 (*)	5	0	5	6	A	4 0,5	0,4 0,2	91 106	106 122	b
		Bonificato	275÷325	C 6; C 7 (*)	5	0	5	6	A	4 0,5	0,4 0,2	68 84	79 96	b
			375÷425	C 6; C 7 (*)	5	0	5	6	A	4 0,5	0,4 0,2	45 53	53 61	b
440 A, B, C	Martensitici	Ricotto	225÷275	C 6; C 7 (*)	5	0	5	6	A	4 0,5	0,4 0,2	84 102	96 117	b
		Bonificato	275÷325	C 6; C 7 (*)	5	0	5	6	A	4 0,5	0,4 0,2	61 73	70 84	b
			375÷425	C 6; C 7 (*)	5	0	5	6	A	4 0,5	0,4 0,2	46 53	53 61	b
		48-52HRC	C 6; C 7 (*)	5	0	5	6	A	4 0,5	0,3 0,15	30 38	35 43	b	
		54-56HRC	C 6; C 7 (*)	5	0	5	6	A	4 0,5	0,15 0,15	17 21	20 24	b	

Tipi di fluidi da taglio menzionati nella Tabella 7.3.

Riferimento	Descrizione
A	Olio da taglio emulsionato in acqua al 5÷10%.

Tabella 7.4 Parametri operativi per tornitura cilindrica di acciai inossidabili con utensili con placchette di materiale ceramico.

Designazione AISI	Tipo	Stato	Durezza HB	Parametri di taglio		
				Profondità di passata mm	Velocità di avanzamento mm/giro	Velocità di taglio m/min
410, 420, 431, 440 A, B, C	Martensitici	Ricotto	135 ÷ 275	> 1,5 < 1,5	0,13 ÷ 0,30 0,13 ÷ 0,25	91 ÷ 215 105 ÷ 230
			Bonificato	275 ÷ 325	> 1,5 < 1,5	0,13 ÷ 0,38 0,10 ÷ 0,20
			375 ÷ 425	> 1,5 < 1,5	0,13 ÷ 0,30 0,10 ÷ 0,20	55 ÷ 135 60 ÷ 165
			48 ÷ 52 HRC 54 ÷ 56 HRC	< 1,5 < 1,5	0,08 ÷ 0,15 0,05 ÷ 0,13	45 ÷ 90 30 ÷ 60
416	Martensitico a lavorabilità migliorata	Ricotto	135 ÷ 185	> 1,5 < 1,5	0,13 ÷ 0,30 0,13 ÷ 0,25	152 ÷ 305 200 ÷ 335
			Ricotto o incrudito	185 ÷ 240	> 1,5 < 1,5	0,13 ÷ 0,30 0,13 ÷ 0,25
		Bonificato	274 ÷ 325	> 1,5 < 1,5	0,13 ÷ 0,38 0,10 ÷ 0,25	105 ÷ 215 120 ÷ 245
			375 ÷ 425	> 1,5 < 1,5	0,13 ÷ 0,38 0,10 ÷ 0,25	45 ÷ 150 60 ÷ 180
430	Ferritico	Ricristallizzato	135 ÷ 185	> 1,5 < 1,5	0,13 ÷ 0,50 0,13 ÷ 0,25	90 ÷ 215 120 ÷ 275
430 F	Ferritico a lavorabilità migliorata	Ricristallizzato	135 ÷ 185	> 1,5 < 1,5	0,13 ÷ 0,30 0,13 ÷ 0,25	150 ÷ 305 200 ÷ 335

Fonte: *Metals Handbook*, 8ª edizione, 3° volume, *Machining*, o. c. [3].

Tabella 7.12 Parametri operativi per la fresatura piana di acciai inossidabili con frese frontali con placchette di carburi metallici.

Designazione AISI	Tipo	Stato	Durezza HB	Utensile (1) Angoli caratteristici (2)				Tipo di fluido da taglio(3)	Parametri di taglio			
				con placchette brasate		con placchette serrate meccanicamente			Profondità di passata mm	Velocità di avanzamento mm/dente giro	Velocità di taglio (m/min)	
				α°	γ°	α°	γ°				con placchette brasate	con placchetti serrate meccanicame
303	Austenitico a lavorabilità migliorata	Solubilizzato	135 ÷ 185	0	0	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,35 0,30	114 152	126 168
		Incrudito	225 ÷ 275	0	0	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,35 0,30	99 131	110 145
304	Austenitico	Solubilizzato	135 ÷ 185	0 ÷ 5	0 ÷ -5	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,25 0,20	99 131	110 145
		Incrudito	225 ÷ 275	0 ÷ 5	0 ÷ -5	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,25 0,20	91 122	100 134
316	Austenitico	Solubilizzato	135 ÷ 185	0 ÷ 5	0 ÷ -5	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,25 0,20	91 122	100 134
410	Martensitico	Ricotto	135 ÷ 185	0	0	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,25 0,20	145 192	160 209
			175 ÷ 225	0	0	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,25 0,20	130 172	143 189
		Bonificato	275 ÷ 325	0	0	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,20 0,15	91 122	100 134
			375 ÷ 425	0	0	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,13 0,10	41 55	45 61
416	Martensitico a lavorabilità migliorata	Ricotto	135 ÷ 185	0	0	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,35 0,30	143 190	158 210
			185 ÷ 240	0	0	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,25 0,20	131 174	145 192
		Bonificato	275 ÷ 325	0	0	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,20 0,15	91 122	100 134
			375 ÷ 425	0	0	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,13 0,10	46 61	50 67

(1) La fonte non cita esplicitamente a quali tipi di carburi metallici siano riferiti i parametri sopra tabulati.

(2) Vedere fig. 7.13.

(3) Vedere il prospetto a fine tabella.

(*) Nell'eventualità che l'impiego di fluidi da taglio non sia possibile si può usare aria compressa.

Fonte: *Metals Handbook*, 8ª edizione, 3º volume, Machining, o. c. [3].

seguito Tabella 7.12

Designazione AISI	Tipo	Stato	Durezza HB	Utensile (1) Angoli caratteristici (2)				Tipo di fluido da taglio(3)	Parametri di taglio			
				con placchette brasate		con placchette serrate meccanicamente			Profondità di passata mm	Velocità di avanzamento mm/dente giro	Velocità di taglio (m/min)	
				α°	γ°	α°	γ°				con placchette brasate	con placchetti serrate meccanicame
430	Ferritico	Ricristallizzato	135 : 185	0	0	5 : 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,25 0,20	130 172	143 189
430 F	Ferritico a lavorabilità migliorata	Ricristallizzato	135 ÷ 185	0	0	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,35 0,30	143 190	159 210
431	Martensitico	Ricotto	225 : 275	0	0	5 : 11	-5 : -11	A-B (*)	4 0,65	0,25 0,20	107 142	117 155
			275 ÷ 325	0	0	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,15 0,13	91 122	100 134
		375 ÷ 425	0	0	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,13 0,10	41 55	46 61	
440 A, B, C	Martensitici	Ricotto	225 ÷ 275	0	0	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,25 0,20	99 131	110 145
			275 ÷ 325	0	0	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,15 0,13	84 113	93 125
		375 ÷ 425	0	0	5 ÷ 11	-5 ÷ -11	A-B (*)	4 0,65	0,13 0,10	41 55	46 61	

Tipi di fluido da taglio menzionati nella Tabella 7.12.

Riferimento	Descrizione
A	Olio da taglio emulsionato in acqua al 5 ÷ 10%
B	Olio da taglio non emulsionabile attivato

VELOCITA' DI TAGLIO

Relazione fondamentale fra velocità di taglio v_h e durata dell'utensile h .

$$v_h = \frac{C_h}{h^r}$$

Esplicitata in funzione dell'avanzamento a e della profondità di passata p :

Taylor

$$v_h = \frac{C_{60}}{a^m \cdot p^n \cdot \left(\frac{h}{60}\right)^r}$$

Kronenberg

$$v_h = \frac{C_{60}^* \cdot \left(\frac{G}{5}\right)^g}{s^f \cdot \left(\frac{h}{60}\right)^r}$$

dove

$$G = p/a$$

$$s = a \cdot p$$

OTTIMIZZAZIONE PARAMETRI DI TAGLIO

Esistono due approcci per l'ottimizzazione dei parametri di taglio:

- **Approccio deterministico**
- **Approccio probabilistico**

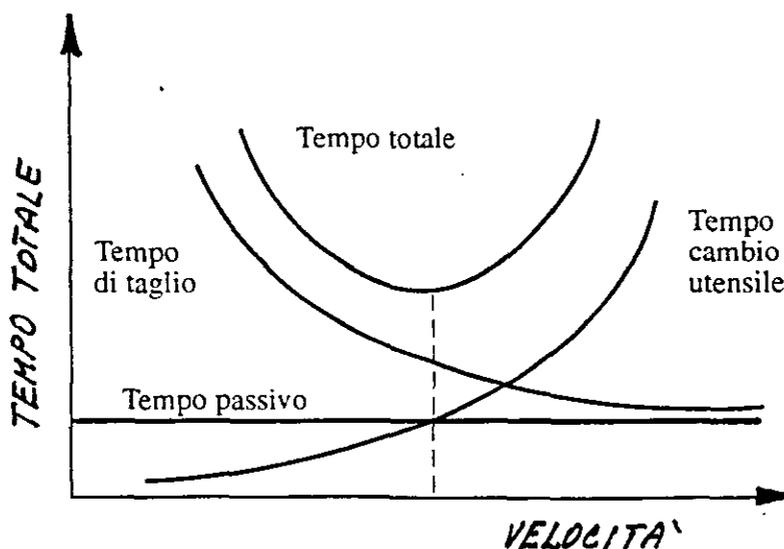
OTTIMIZZAZIONE (approccio deterministico)

Scopo: valutare la velocità di taglio v (o l'avanzamento a) che minimizza i tempi o i costi.

Tempo totale t_{tot} di lavorazione (relativo ad una passata) può essere espresso come la somma di tre tempi:

- tempi passivi t_p ,
- tempi attivi t ,
- tempi (reali o fittizi) per sostituzione tagliente pari a $z \cdot t_u$, essendo z il numero delle sostituzioni necessario per la lavorazione ($z = t/h$) e t_u il tempo (reale o fittizio) per la sostituzione.

$$t_{tot} = t_p + t + z \cdot t_u$$



OTTIMIZZAZIONE (approccio deterministico)

Detto V il volume di truciolo da asportare e ricordando che, fissati a e p) $v = Cost/h^r$:

$$t_{tot} = t_p + \frac{V}{a \cdot p \cdot v} + \frac{V}{a \cdot p \cdot v \cdot h} \cdot t_u$$

Derivando rispetto ad h e ponendo $\delta t_{tot}/\delta h = 0$ (ricerca del minimo)

$$h = \frac{1 - r}{r} \cdot t_u$$

OTTIMIZZAZIONE (approccio deterministico)

Che valore attribuire a t_u ?

1) $t_u = t_s = \text{tempo reale sostituzione tagliente}$

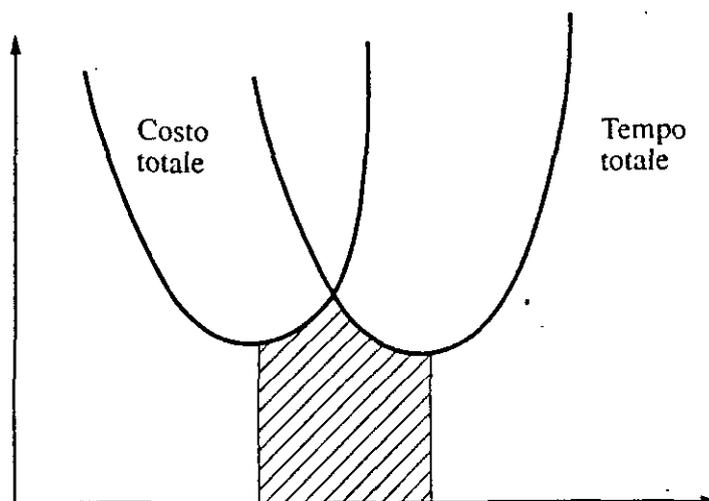
2)
$$t_u = t_s + \frac{C_{stelo}}{N \text{ cambi amm.}} + \frac{C_{placchetta}}{N \text{ taglienti}} \cdot C_o$$

C_o = costo operatore al minuto

Nel primo caso si minimizza il tempo, nel secondo si minimizza il costo. Le velocità che ne derivano sono:

- 1) velocità di massima produzione
- 2) velocità economica (minimo costo)

OTTIMIZZAZIONE (approccio deterministico)



Il campo di velocità compreso fra questi due valori è quello di *massima efficienza*.

OTTIMIZZAZIONE (approccio deterministico)

OTTIMIZZAZIONE DELLA LAVORAZIONE TENENDO CONTO DELL'AVANZAMENTO

In modo analogo, derivando rispetto ad a e ponendo $\delta t_{tot}/\delta h = 0$ (ricerca del minimo) si ottiene:

$$h = \left(\frac{m}{r} - 1 \right) \cdot tu$$

Non è possibile annullare simultaneamente le due derivate parziali. Infatti, dall'equalianza delle due durate, dovrebbe essere soddisfatta l'equalianza:

$$\frac{m}{r} - 1 = \frac{l}{r} - 1$$

Poiché $m < l$ non è possibile trovare il minimo dei minimi.

OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)

CENNI SULLE DISTRIBUZIONI DI FREQUENZA

Distribuzione NORMALE

Densità di probabilità $f(h)$

$$f(h) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp \left[- \frac{(h - h_m)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right]$$

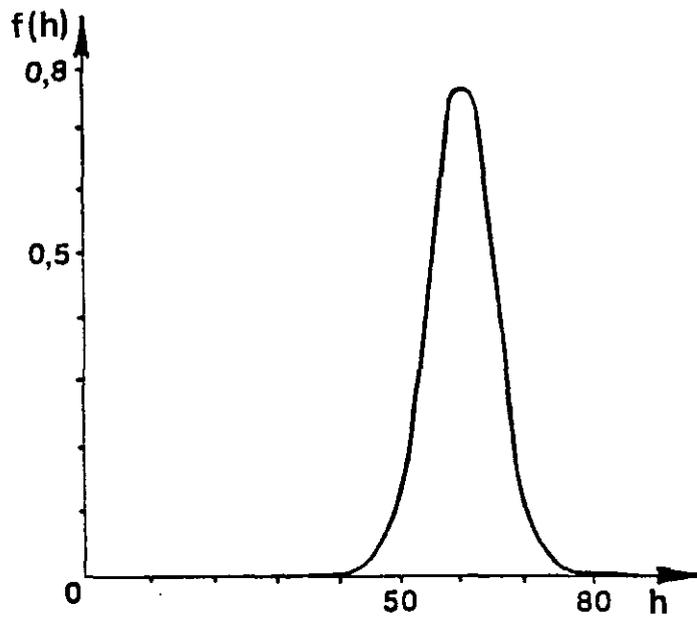
Frequenza cumulativa

$$F(h) = \int_0^h f(h) \cdot dh$$

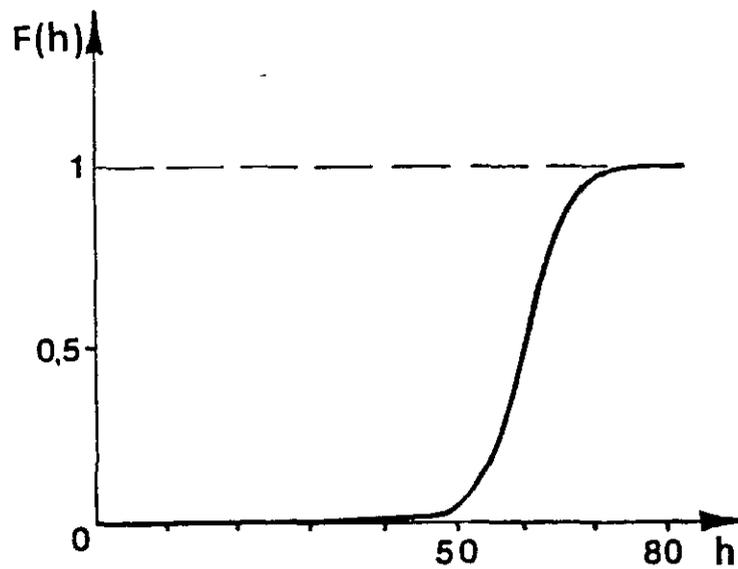
$$h_m = \frac{\sum_{i=1}^N h_i}{N} \quad (\text{vita media})$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (h_i - h_m)^2}{N - 1} \quad (\text{varianza})$$

OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)



Distribuzione di frequenza
(legge normale).



Frequenza cumulativa
(legge normale).

OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)

Distribuzione LOG-NORMALE

Densità di probabilità $f(h)$

$$f(h) = \frac{1}{\sigma \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp \left[- \frac{(\ln h - \mu)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right]$$

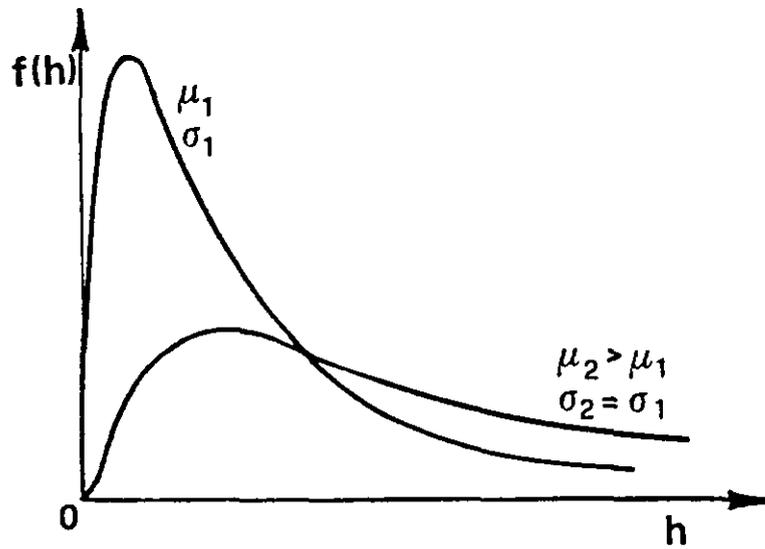
Frequenza cumulativa

$$F(h) = \int_0^h f(h) \cdot dh$$

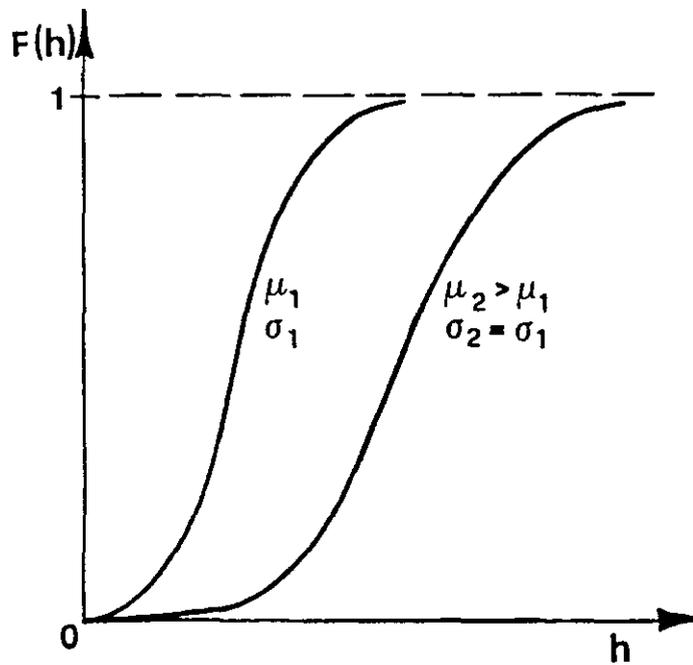
dove:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N \ln h_i}{N} \quad (\text{vita media (log)})$$

OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)



Distribuzione di frequenza
(legge log-normale).



Frequenza cumulativa
(legge log-normale).

OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)

Distribuzione di WEIBULL

Densità di probabilità $f(h)$

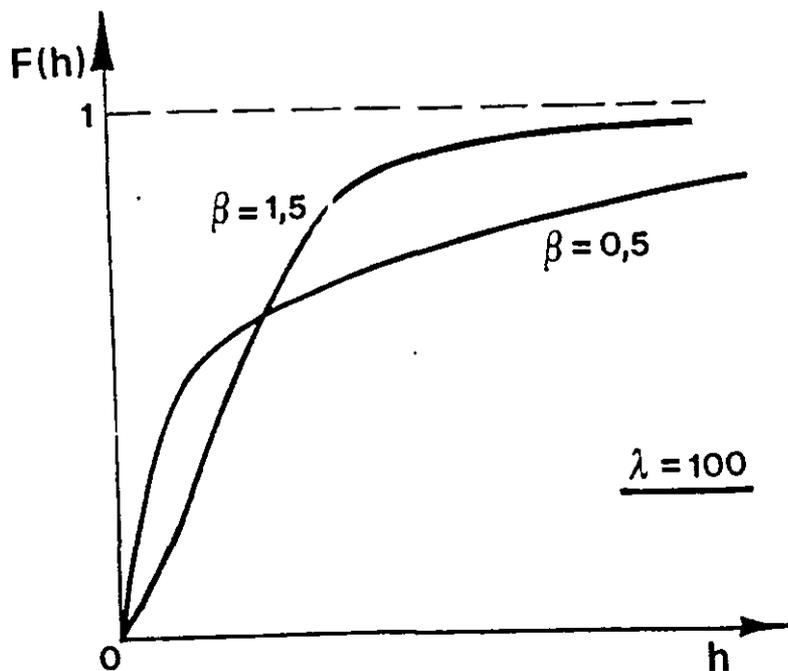
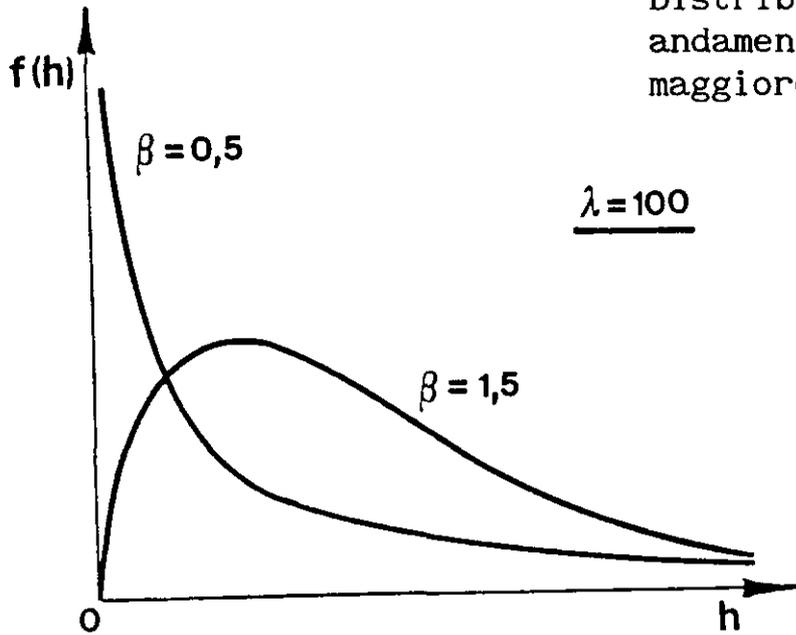
$$f(h) = \frac{\beta}{\lambda} \cdot \left[\frac{h}{\lambda} \right]^{\beta-1} \cdot \exp \left[- \left[\frac{h}{\lambda} \right]^{\beta} \right]$$

Frequenza cumulativa

$$F(h) = 1 - \exp \left[- \left[\frac{h}{\lambda} \right]^{\beta} \right]$$

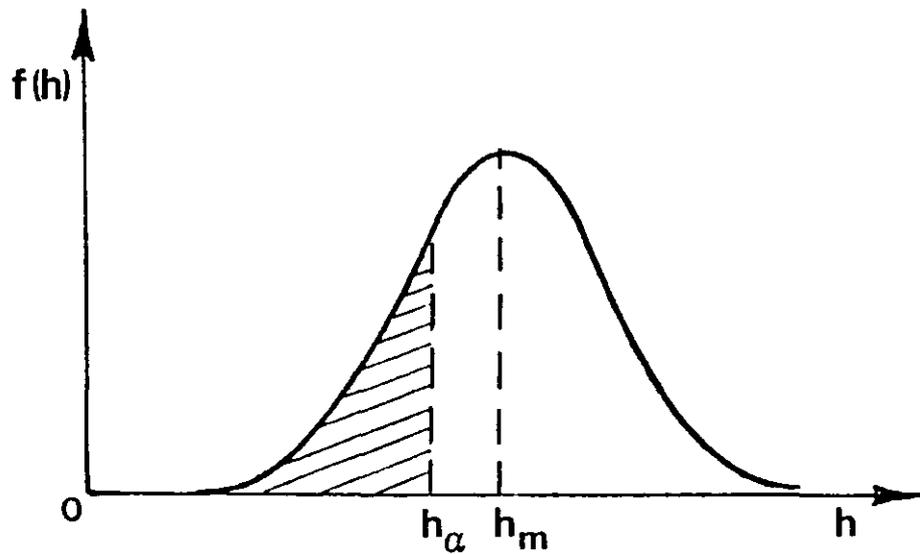
dove β e λ sono costanti positive dette rispettivamente *fattore di forma* e *fattore di scala*.

OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)



OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)

AFFIDABILITA'



Nei problemi di ottimizzazione interessa conoscere la probabilità che un utensile raggiunga una certa durata.

Data una certa distribuzione di frequenza, l'area tratteggiata rappresenta la frequenza cumulativa $F(h_\alpha)$ relativa alla durata h_α . Per definizione l'area sottesa da tutta la curva è uguale ad 1; la probabilità che ha un utensile di raggiungere la durata h_α è:

$$R(\alpha) = 1 - F(h_\alpha)$$

Tale quantità è detta *AFFIDABILITA'*.

OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)

DURATA PRODUTTIVA DELL'UTENSILE

$$h_p = h\alpha \cdot R(\alpha) + hR \cdot (1 - R(\alpha))$$

- 1° termine rappresenta il tempo produttivo degli utensili che raggiungono la durata $h\alpha$ (durata affetta da una affidabilità $R(\alpha)$),
- 2° termine rappresenta il tempo produttivo degli utensili rimanenti ($1 - R(\alpha)$) che, pur cedendo prematuramente, presentano una durata media hR e concorrono alla lavorazione.

PENALITA' DI TEMPO E DI COSTO

Penalità di tempo P_t

Se il cedimento non comporta lo scarto del pezzo, tale penalità può essere assunta pari a metà del tempo t necessario per l'operazione.

Se il cedimento comporta lo scarto del pezzo, la penalità di tempo è pari alla somma di tutti i tempi relativi alle lavorazioni precedenti più metà del tempo relativo all'operazione che vede l'utensile cedere.

Penalità di costo P_c

Il cedimento prematuro dell'utensile comporta, oltre alle penalità di tempo, anche penalità di costo imputabili, per esempio, a:

- scarto del materiale costituente il pezzo,
- lavorazioni o tempi di aggiustaggio supplementari,
- spese per approvvigionamento di un altro grezzo,
- penalità dovute a ritardo di consegna del pezzo finito, ecc..

OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)

COSTO DELLA LAVORAZIONE

$$C = t \cdot Co \cdot \left[1 + \frac{ta}{t} + \frac{ts}{h_p} + \frac{Ct}{Co \cdot h_p} + \right. \\ \left. + \left[1 - R(\alpha) \right] \left[\frac{Pt}{h_p} + \frac{Pc}{Co \cdot h_p} \right] \right]$$

- Co** costo dell'operatore al minuto
t tempo di lavorazione
ta tempi ausiliari (passivi)
ts tempo sostituzione tagliente
Ct Costo tagliente

In forma compatta l'espressione del costo può essere scritta nella forma:

$$C = Co \cdot t \cdot (1 + D/h_p)$$

dove $D = A + (1 - R(\alpha)) \cdot B$

essendo A il tempo di cambio utensile e B le penalità di tempo e di costo.

OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)

Siamo ora in grado di ottimizzare la linea automatica: cioè individuare (per ogni stazione) la durata produttiva ottimale di ciascun utensile.

Il procedimento è il seguente:

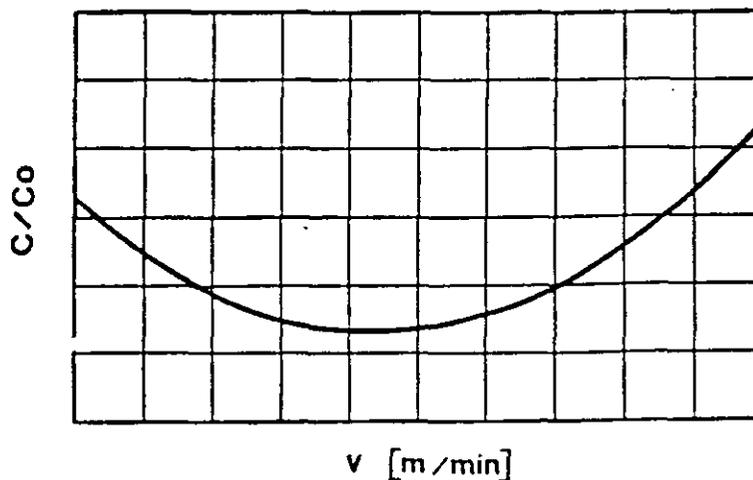
- valutare la distribuzione di frequenza che interpreta la legge di durata utensile,
- per diversi valori di affidabilità calcolare la durata utensile corrispondente $h\alpha$,
- calcolare la durata produttiva dell'utensile hp ,
- calcolare il costo C dell'operazione,
- individuare il minimo costo.

OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)

Il risultato ottenuto è un'ottimizzazione relativa ai parametri di taglio (velocità) utilizzati.

Per ottimizzare anche la velocità di taglio si procede nel modo seguente:

- procedere nel modo visto e determinare per una data velocità il valore del costo minimo,
- ripetere il calcolo per altri valori della velocità,
- fra tutte le coppie di valori velocità-costo minimo, la velocità economica sarà quella per la quale il costo è minore (minimo assoluto).



OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)

PROVE DI TORNITURA SU ACCIAIO DUPLEX AISI 329A

Velocità di taglio = 120 m/min

Avanzamento = 0,2 mm/giro

Profondità di passata = 1,5 mm

Inserto tipo: TNMG 160408 QM

Qualità inserto (Sandvik) GC235 (triplo riversimento TiN-TiC-TiN)

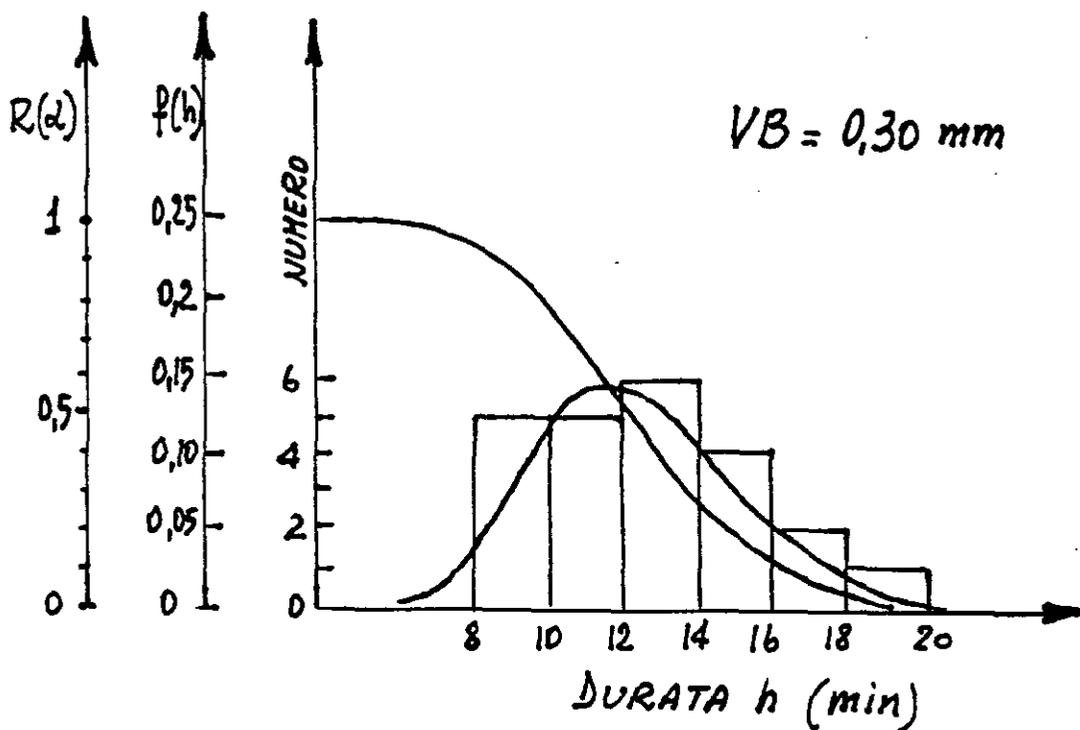
PROVA	DURATA [min]				
	VB = .10mm	VB = .15mm	VB = .20mm	VB = .25mm	VB = .30mm
1	1,77	3,06	4,83	7,89	12,88
2	2,28	4,56	9,18	13,56	15,77
3	1,85	3,79	6,76	13,68	19,24
4	1,86	3,76	10,03	12,51	13,8
5	2,89	5,91	11,12	14,61	16,65
6	2,91	5,88	10,75	13,42	15,03
7	2,17	5,35	10,19	11,8	12,85
8	2	4,21	9,46	12,63	14,25
9	2,21	4,91	9,52	11,42	12,6
10	1,5	2,69	4,58	7,26	9,06
11	1,99	4,03	6,5	8,19	9,34
12	1,37	3,11	6,35	7,38	8,02
13	1,78	3,34	6,55	9,66	11,18
14	1,79	3,51	6,7	8,94	10,2
15	1,29	2,27	3,92	7,31	9,17
16	1,35	6,32	8,24	9,03	9,59
17	1,74	3,15	6,64	12,05	13,63
18	3,2	5,42	8,15	11,26	14,21
19	2,07	3,59	5,81	10,81	16,77
20	2,6	4,89	8,14	10,71	12,39
21	2,38	5,31	8,15	9,54	10,47
22	2,02	3,87	7,21	9,71	11,12
23	1,88	3,92	9,13	10,62	11,55
MEDIA	2,04	4,21	7,74	10,61	12,60

Il fenomeno della durata utensile deve essere quindi interpretato con metodi statistici.

OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)

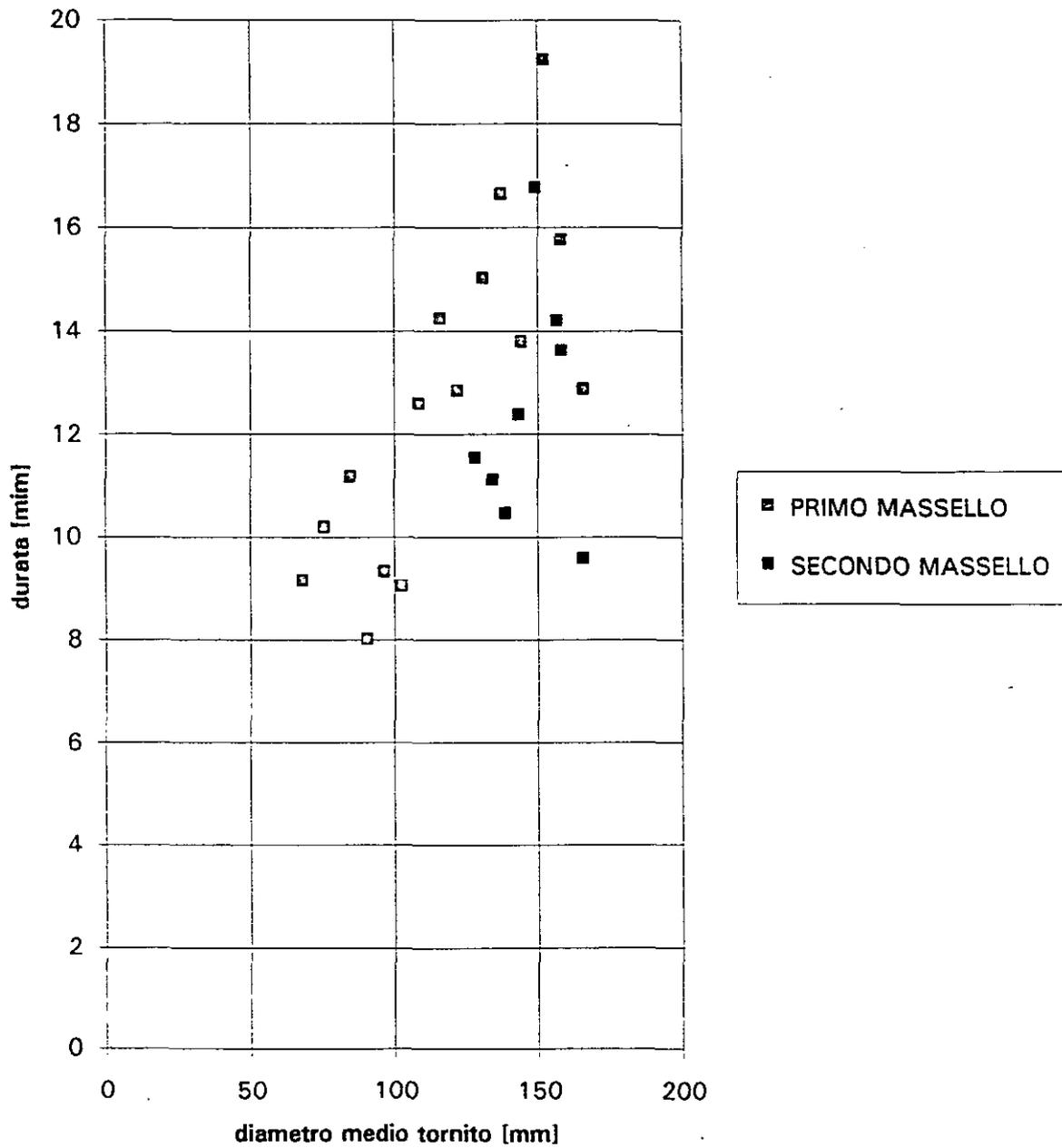
Risultati ottenuti mediante test statistici e relativi ai dati di durata utensile per un labbro di usura $VB = 0,30$ mm.

Distribuzione di frequenza: Log-normale,
durata media (log) $\mu = 2,206$
varianza (log) $\sigma^2 = 0,0516$



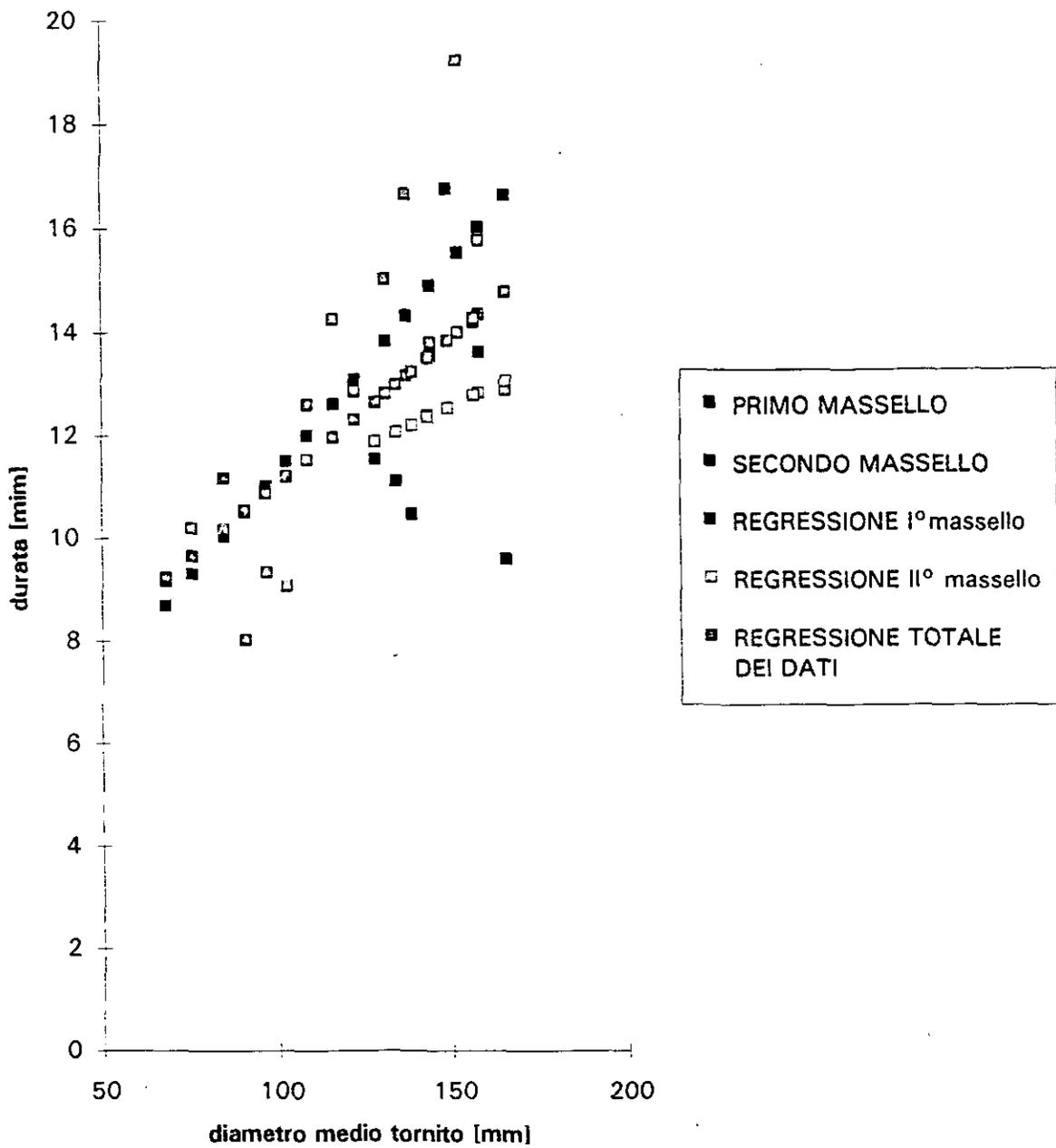
OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)

durata in funzione del diametro tornito



OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)

durata in funzione del diametro tornito



OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)

Consideriamo la seguente lavorazione di tornitura:

Lunghezza tornita = 100 mm
 Diametro tornito = 100 mm
 velocità di taglio 120 m/min
 avanzamento = 0,2 mm/giro

profondità di passata = 1,5 mm
 tempi ausiliari $t_a = 1$ min
 tempo sostituzione tagliente = 1 min
 costo tagliente = 5·Co

Nelle tabelle seguenti sono riportati i dati (in termini di affidabilità R_α , durata attesa h_α , tempo produttivo h_p , costo C/Co) per due valori della penalità di costo.

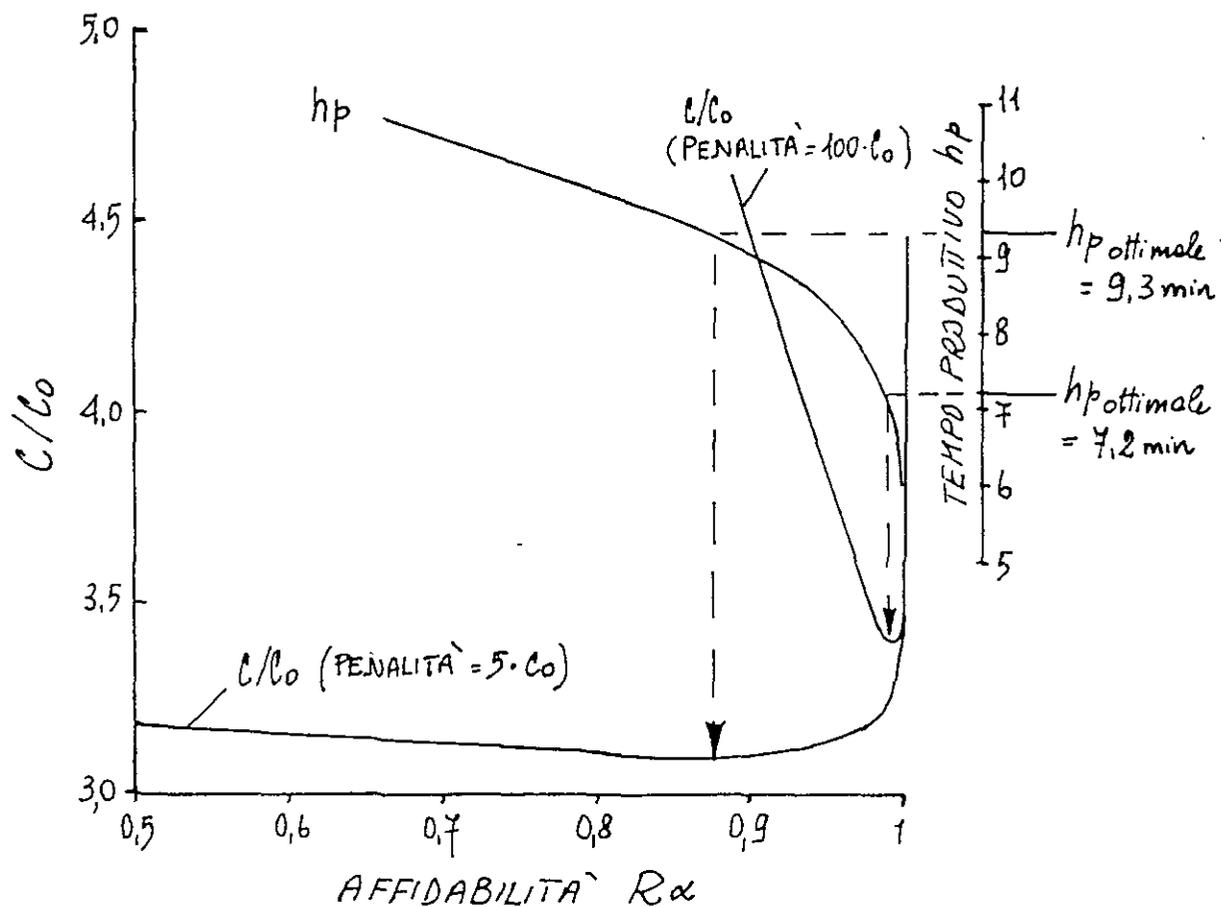
Penalita' di costo = 5 /Co

R_α	h_α	hr	hp	C/Co
0.999	6.074	5.074	6.073	3.387
0.990	7.218	6.218	7.208	3.226
0.977	7.780	6.780	7.757	3.174
0.933	8.716	7.716	8.649	3.122
0.900	9.163	8.163	9.063	3.112
0.841	9.765	8.765	9.606	3.112
0.752	10.501	9.501	10.253	3.125
0.663	11.140	10.140	10.803	3.145
0.500	12.256	11.256	11.756	3.179

Penalita' di costo = 100 /Co

R_α	h_α	hr	hp	C/Co
0.999	6.074	5.074	6.073	3.407
0.990	7.218	6.218	7.208	3.399
0.977	7.780	6.780	7.757	3.542
0.933	8.716	7.716	8.649	4.085
0.900	9.163	8.163	9.063	4.483
0.841	9.765	8.765	9.606	5.169
0.752	10.501	9.501	10.253	6.132
0.663	11.140	10.140	10.803	7.022
0.500	12.256	11.256	11.756	8.466

OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)



Penalità di costo basse (= 5 · Co)

tempo di lavoro $t = L/a \cdot n = 1,3 \text{ min}$

durata produttiva ottimale $h_p = 9,3 \text{ min}$

numero di lavorazioni eseguibili con un tagliente = $9,3/1,3 = 7,15 \rightarrow 7$

Penalità di costo alte (= 100 · Co)

tempo di lavoro $t = L/a \cdot n = 1,3 \text{ min}$

durata produttiva ottimale $h_p = 7,2 \text{ min}$

numero di lavorazioni eseguibili con un tagliente = $7,2/1,3 = 5,54 \rightarrow 5$

costo singola lavorazione $C/Co = 3,4$

OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)

Se avessimo usato l'approccio deterministico (cioè supporre una durata dell'utensile pari al valore medio $h = h_m = 12,6$ min), l'utensile verrebbe sostituito dopo:

$$12,6/1,3 = 9,7 \rightarrow 9 \text{ operazioni}$$

cui corrisponde un costo per ogni singola lavorazione (nel caso di alta penalità di costo) pari a:

$$C/C_0 = 8,4$$

OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)

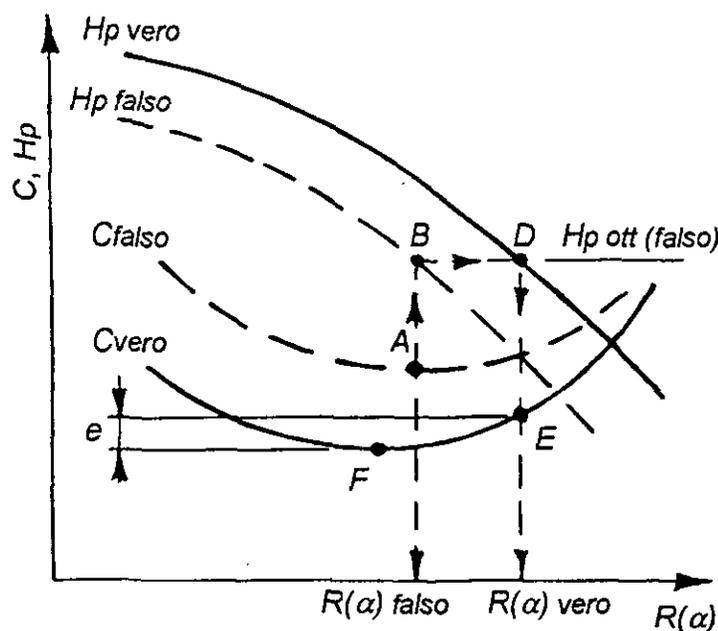
Poiché nella realtà industriale gioca un ruolo fondamentale il costo, vediamo di definire, prima qualitativamente e successivamente in termini quantitativi, l'errore e in termini di costo quando si hanno pochi dati a disposizione.

In figura sono riportati gli andamenti del costo C e del tempo produttivo hP nei due casi:

- *pochi dati a disposizione* (curve a tratti che chiameremo *false*),
- *molti dati a disposizione* (curve continue che chiameremo *vere*) cioè in numero sufficientemente alto da permettere di conoscere il reale comportamento dell'utensile.

Supponiamo di disporre di pochi dati e in base a questi si determinano la durata produttiva ottimale hP_{ott} (evidentemente affetta da errore), durata individuata dal punto B e dedotta dal valore di costo minimo (anch'esso affetto da errore e definito dal punto A). A tale valore di hP_{ott} non corrisponderà in realtà l'affidabilità $R(\alpha)_f$, ma quella "vera" $R(\alpha)_v$ ottenuta abbassando la verticale dal punto D . Il costo effettivo C (vero) sarà quello individuato dal punto E .

Se avessimo avuto molti dati a disposizione, saremmo riusciti a individuare il costo C minimo "vero" (punto F) e quindi lavorare in condizione effettivamente economiche. L'errore e è quindi dato dalla differenza delle ordinate dei punti E ed F .



OTTIMIZZAZIONE (approccio probabilistico)

Errore (in termini di costo) quando si hanno a disposizione i primi tre, quattro dati di durata utensile (i valori sotto riportati si riferiscono ad una penalità di tempo pari a 100.Co)

3 dati (durata media hm = 15,9)	errore e = 14 %
4 dati (durata media hm = 15,4)	errore e = 23 %
5 dati (durata media hm = 15,6)	errore e = 47 %
10 dati (durata media hm = 14,2)	errore e = 2,94 %
15 dati (durata media hm = 12,67)	errore e = \approx 0%

Prof. Ing. Pietro Maria Lonardo
Direttore dell'Istituto di Tecnologie e Impianti Meccanici
Università di Genova

FINIBILITA' DEGLI ACCIAI INOSSIDABILI
E CARATTERIZZAZIONE OTTICA DELLE SUPERFICI LAVORATE

Incontro tecnico
"Lavorazioni Meccaniche degli acciai inossidabili"
organizzato dal Centro Inox

Milano, 20 Aprile 1974

FINIBILITA' DEGLI ACCIAI INOSSIDABILI E CARATTERIZZAZIONE OTTICA DELLE SUPERFICI LAVORATE

P.M. Lonardo, A.A. Bruzzone, C. Gambaro

1. Introduzione

La qualità delle superfici costituisce uno degli aspetti più importanti delle lavorazioni meccaniche: infatti non solo si richiedono valori di rugosità contenuti, ma anche qualità microgeometriche appropriate alla funzione del prodotto.

La morfologia delle superfici lavorate dipende in larga misura dalla finibilità del materiale che è definita come la capacità di assumere una microgeometria quanto più vicina possibile a quella teorica. Pertanto, la finibilità, che può essere considerata un aspetto della lavorabilità, è una caratteristica determinante ai fini della scelta del materiale.

La definizione di finibilità è basata sulla constatazione che la superficie generata mediante l'asportazione di truciolo è il risultato di due componenti: una geometrica o teorica, definita dal profilo foggiate dell'utensile e dall'avanzamento adottato, l'altra di processo, che dipende dalle condizioni di taglio, dal sistema macchina-utensile e dal materiale in lavoro [1].

La sovrapposizione delle due componenti, di cui la prima ha andamento periodico e la seconda ha andamento stocastico, dà luogo ad una superficie che presenta una rugosità che non solo è generalmente più elevata di quella teorica, ma che risulta anche non costante e non prevedibile nella sua morfologia [2].

Un'altra caratteristica legata alla finibilità e su cui si sta verificando in questi ultimi anni un interesse crescente, è l'aspetto della superficie e cioè il suo comportamento ottico.

In particolare, in molte applicazioni, in alternativa o in aggiunta alle caratteristiche microgeometriche vengono richieste caratteristiche di lucentezza e di riflettività, che impongono opportune scelte dei processi di lavorazione [3].

Tra i materiali che sicuramente sono soggetti a tale tipo di interesse vi sono gli acciai inossidabili, in quanto queste leghe vengono generalmente impiegate tal quali, come ottenute dalla lavorazione meccanica, senza sottoporle a rivestimenti o verniciature, o al più trattate con processi di lucidatura [4].

Uno dei fattori che hanno contribuito al successo degli acciai inossidabili, oltre a quello fondamentale della resistenza alla corrosione, è proprio il loro aspetto, che ben si presta ad applicazioni in cui le qualità estetiche siano rilevanti.

In questo lavoro si intende presentare il risultato di un'ampia ricerca che è stata svolta con l'intento di studiare le caratteristiche di finibilità e di lucentezza di alcuni acciai inossidabili austenitici e martensitici.

Lo studio è stato condotto affrontando il problema dell'analisi delle superfici lavorate con un duplice approccio. Il primo, più tradizionale, è consistito nell'effettuare misurazioni della microgeometria superficiale con rugosimetri a tastatore, nel rilevare i profili ottenuti e nel confrontarli con quelli teorici.

Il secondo approccio, di tipo innovativo, è consistito nel considerare il comportamento ottico della superficie, cioè le modalità con cui la superficie riflette la luce incidente su di essa.

2. Preparazione delle superfici

Per effettuare le prove si sono presi in esame nove tipi di acciai inossidabili di cui quattro della serie AISI 300, forniti dalla Rodacciai, quattro della serie AISI 400 forniti dalla Cogne e un acciaio al rame-zolfo, denominato GVR, fornito ancora dalla Rodacciai. L'acciaio GVR è un austenitico derivato dal 303, con caratteristiche di resistenza alla corrosione e di lavorabilità migliorate [5].

In Tab. I sono riportate le sigle AISI e UNI dei suddetti acciai, insieme alla loro analisi chimica, mentre in Tab. II sono riportate le caratteristiche meccaniche, relative al carico di rottura R_m e all'allungamento percentuale dopo rottura A5%.

Tabella I Sigle e analisi chimica degli acciai

AISI	UNI	COMPOSIZIONE CHIMICA									
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	Cu
303	X10CrNiS 1809	.058	1.77	.53	.263	.032	17.74	8.67			
304	X5CrNi 1810	.041	1.76	.36	.025	.028	18.23	8.91			
316	X5CrNiMO 1712	.050	1.32	.30	.024	.026	16.73	10.65	2.02		
316TSL	X6CrNiMoTi 1712	.016	1.67	.64	.022	.020	17.85	10.75	2.17	.08	
GVR *	X6CrNiCuS 180902	.057	1.83	.20	.30	.029	17.50	8.26			1.78
410	X12Cr13	.110	.56	.44	.022	.019	12.21	.30			
416	X12CrS 13	.130	1.09	.35	.300	.021	12.05	.38	.21		
420B	X30Cr 13	.300	.43	.31	.005	.020	13.00	.37			
431	X16CrNi 16	.170	.39	.30	.004	.021	15.8	2.23			

* sigla non unificata

Da ogni tipo di acciaio si sono ricavate alcune provette cilindriche, ciascuna con diametro di 30 mm: alcune di queste sono state destinate a lavorazioni di rettifica, mentre altre sono state suddivise in quattro fasce larghe circa 20 mm per essere lavorate al tornio.

Le lavorazioni di rettifica sono state effettuate con mola al SiC.

Tabella II Carico di rottura e allungamento percentuale dopo rottura degli acciai

AISI	R_m [N/mm ²]	A5%
303	649.1	65.6
304	568.7	69.1
316	563.3	69.0
316TSL	562.9	69.1
GVR	646.1	64.6
410	726	19
416	764	19.2
420B	860	18

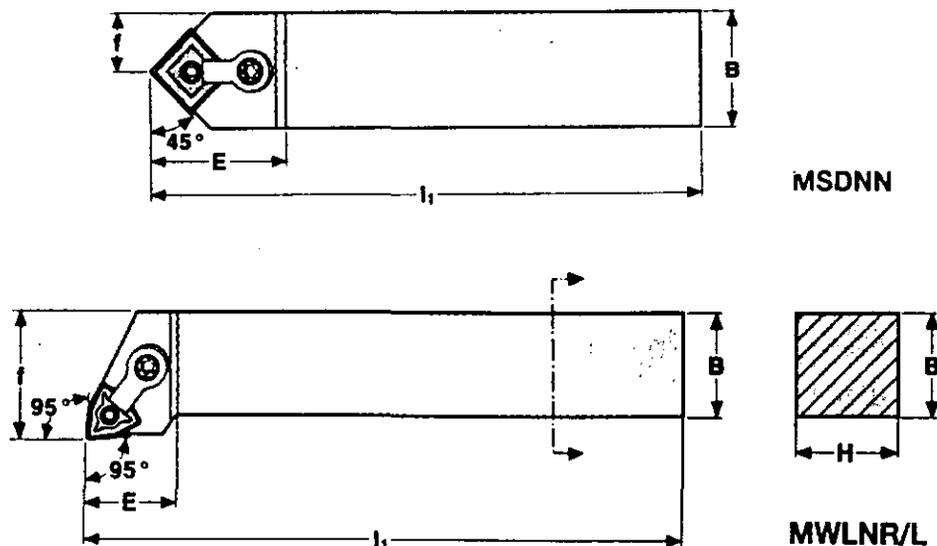


Fig. 1. Utensili adottati (dal Manuale SECO Tornitura, 1993)

Le torniture sono state effettuate su tornio parallelo munito di variazione continua della velocità usando utensili finitori.

Si sono adottati allo scopo quattro tipi di inserti della SECO: due quadrati con raggi di raccordo di 0,8 e di 1,2 mm e due esagonali, con raggi di raccordo di 0,4 e di 0,8 mm.

La lavorazione è stata effettuata con fissaggio tra le punte e ogni fascia è stata tornita con un tagliente nuovo.

I tipi di inserti e relativi utensili utilizzati per ogni fascia sono indicati in Tab. III e rappresentati in figura 1.

I parametri di taglio adottati per le torniture sono i seguenti:

$$v_c = 200 \text{ m/min}$$

$$f = 0,2 \text{ mm/giro}$$

$$a_p = 2 \text{ mm.}$$

Tabella III Utensili e inserti adottati

UTENSILE	INSERTI	FASCIA
MSDNN 2020 K12	SNMG 120408 MF2 TP25	1
	SNMG 120412 MF3 TP25	3
PWLNR 2020 K06	WNMG 060404 MF2 TP25	2
	WNMG 060408 MF2 TP25	4

3. Studio della finibilità

Al fine di studiare le caratteristiche di finibilità delle superfici lavorate si sono effettuati rilievi dei profili utilizzando due rugosimetri a stilo. Il primo, TS10 della Rank Precision Industries, caratterizzato da un raggio della punta del tastatore di $2,5 \mu\text{m}$, ha fornito una serie di parametri di rugosità, quali R_a , R_q , R_t , S_k .

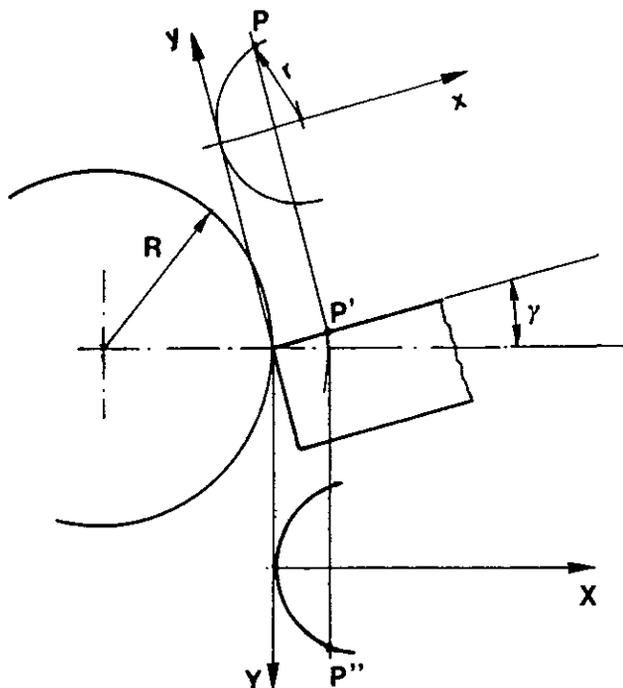


Fig. 2 Costruzione del profilo foggiate per l'utensile quadrato

Il secondo, Hommel Tester T della Hommelwerke, con raggio della punta di di $5\mu\text{m}$, è stato usato per acquisire i profili microgeometrici. Infatti questo rugosimetro è interfacciato con personal computer, mediante scheda di acquisizione A/D a 12 bit e software appositamente realizzato in Istituto. Il numero massimo di punti acquisibili è 2048 e la frequenza massima di acquisizione è di 1 kHz cui corrisponde un passo di acquisizione di $0,025\ \mu\text{m}$ alla minima velocità di esplorazione. Nelle prove eseguite si è adottato un passo di acquisizione di $0.5\ \mu\text{m}$.

Per poter effettuare una valutazione della rugosità teorica generata dagli utensili si sono analizzati i profili foggianti relativi.

L'inserto quadrato opera con un angolo di spoglia γ negativo, per cui il suo profilo costituito da un arco di cerchio di raggio r viene trasformato come indicato in figura 2, passando dal piano della proiezione normale (x,y) a quello della sezione radiale (X, Y) .

Se nel piano (x,y) il profilo del tagliente è caratterizzato da un arco di cerchio di equazione:

$$y = r - \sqrt{r^2 - x^2} \quad (1)$$

nel piano radiale (X,Y) si ha un profilo che ha per coordinate:

$$X = x \ ; \ Y = \sqrt{R^2 + y^2 + 2Ry \cos\gamma} - R \ ; \quad (2)$$

ove R è il raggio del pezzo, γ è l'angolo di spoglia e y è dato dalla (1).

Anche l'inserto esagonale presenta un raccordo costituito da un arco di cerchio con raggio r , ma è disposto in modo che il tagliente secondario formi un angolo χ' con la generatrice del cilindro lavorato per cui se l'avanzamento f è maggiore di $2r \cdot \sin\chi'$ il profilo foggiate è rappresentato dall'arco di cerchio AB e dal tratto rettilineo BC tangente in B al cerchio.

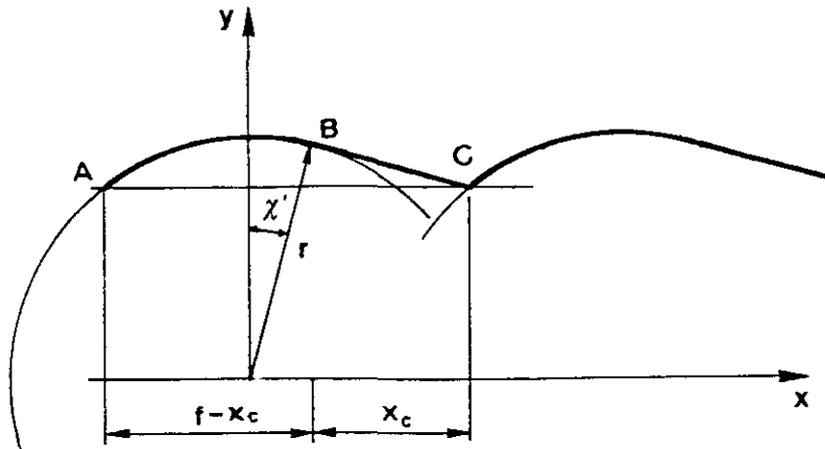


Fig. 3. Costruzione del profilo foggiate per l'utensile esagonale

Con riferimento alla figura 3, l'equazione del tratto AB è:

$$y = \sqrt{r^2 - x^2} \quad \text{per } x_A \leq x < x_B \quad (3)$$

e l'equazione del tratto BC è data da:

$$y = mx + n \quad \text{per } x_B \leq x < x_C \quad (4)$$

ove: $m = -\tan \chi'$

$$n = r(\cos \chi' - \sin \chi').$$

Questo profilo dà luogo, a parità di raggio di raccordo, ad una rugosità teorica leggermente minore di quella del profilo completamente ad arco.

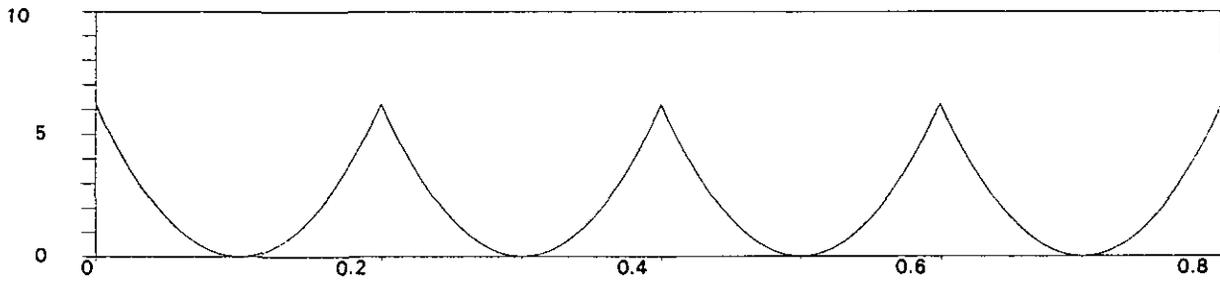
Nella figura 4 sono rappresentati i profili teorici calcolati con le equazioni descritte.

Nella tabella IV si riportano i valori dei parametri teorici di rugosità R_a , R_q , R_t , i valori della skewness S_k e del rapporto R_q/R_a calcolati per i profili ideali generati dagli inserti quadrati (S) ed esagonali (W) con un avanzamento di 0,2 mm/giro.

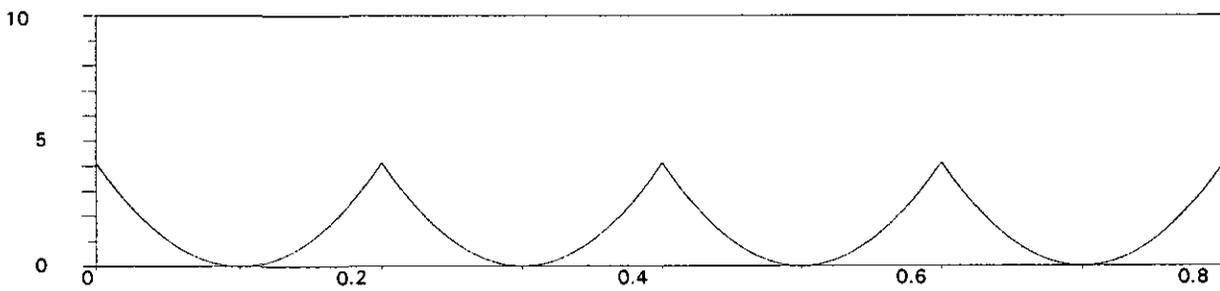
Tab. IV Valori dei parametri calcolati sui profili ideali

	S08	S12	W04	W08
r =	0,8	1,2	0,4	0,8
R_a	1.59	1.06	2.38	1.57
R_q	1.85	1.23	2.72	1.81
S_k	0.6415	0,640	0,58	0,36
R_t	6,21	4,13	5,93	8,71
R_q/R_a	1,16	1,16	1,15	1,14

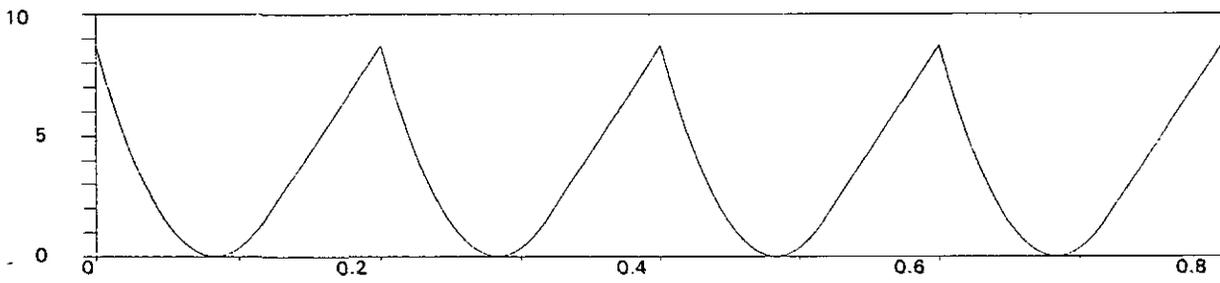
S08



S12



W04



W08

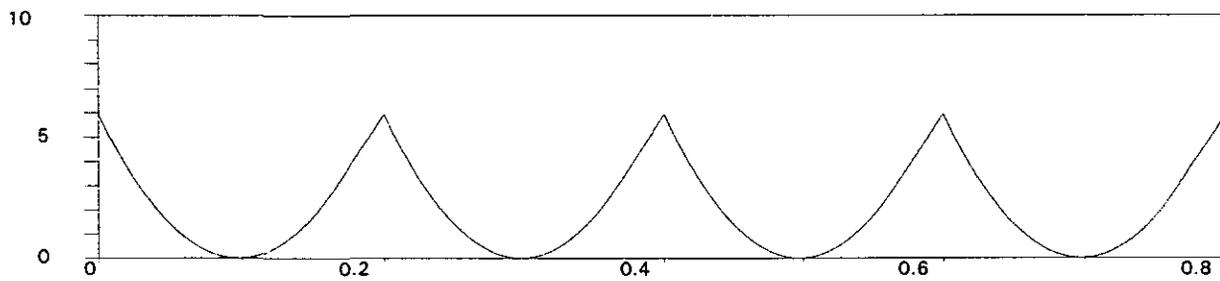
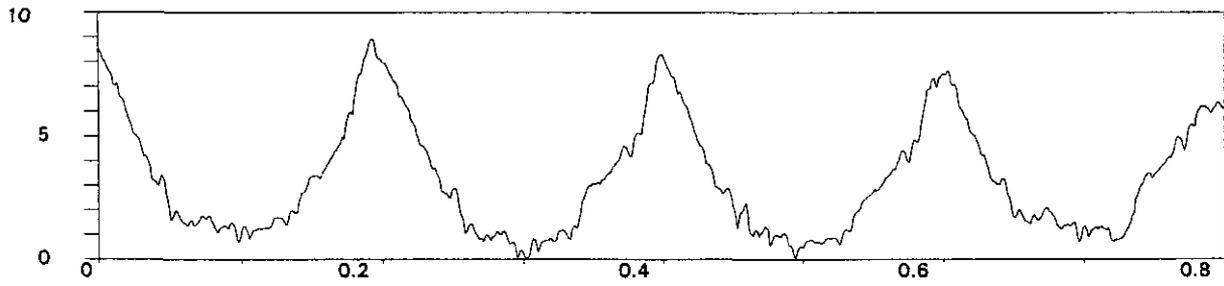
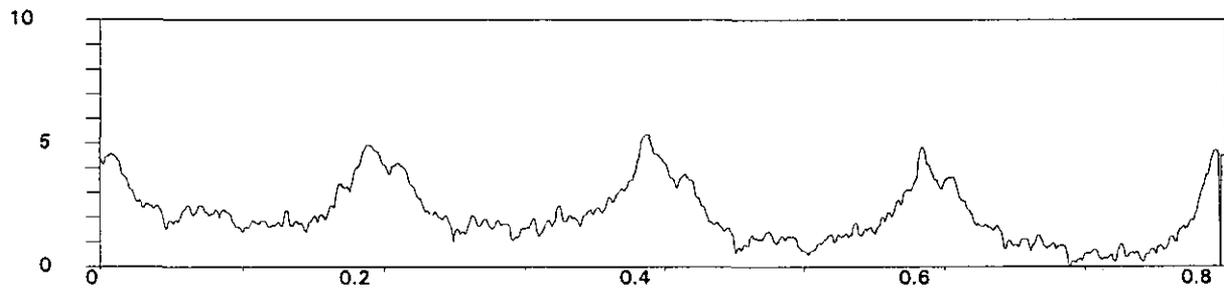


Fig. 4. Profili teorici di rugosità per i diversi tipi di utensili

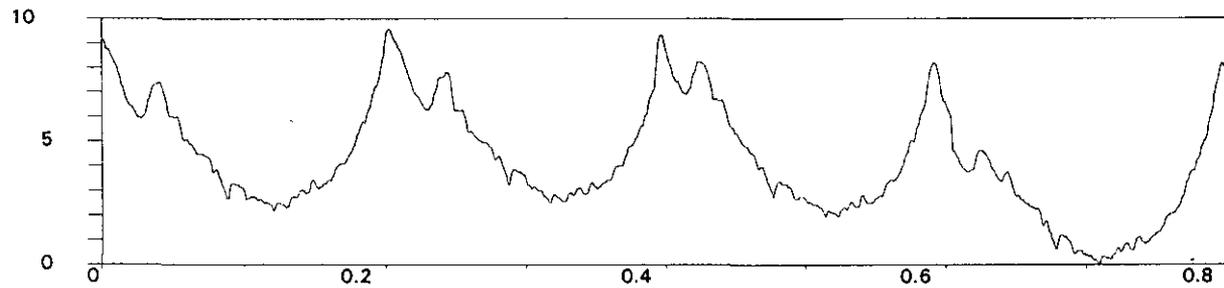
GVR1 - S08



GVR3 - S12



GVR2 - W04



GVR4 - W08

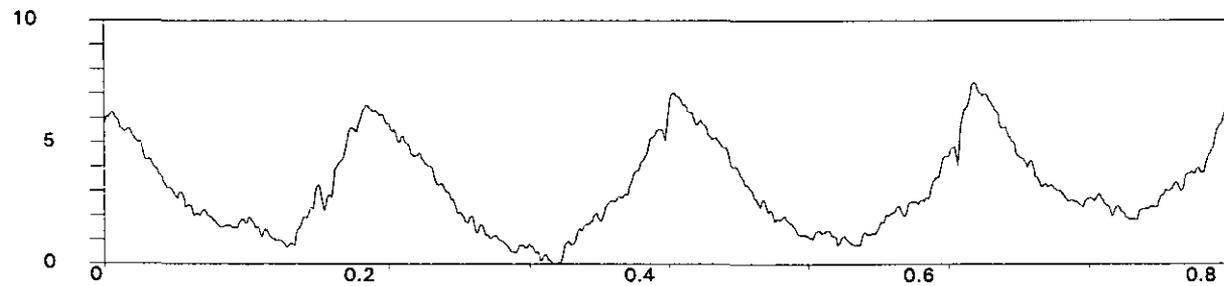


Fig. 5. Profili acquisiti non filtrati, relativi all'acciaio GVR

Tabella V Valori medi della rugosità Ra

	S08	S12	W04	W08	RETT.
303	1.78	1.75	1.97	1.25	.45
304	1.68	1.09	2.32	1.46	.65
316	1.81	1.085	2.8	1.22	.63
316TSL	1.71	1.11	1.94	1.57	.61
GVR	1.76	0.91	1.59	1.45	.77
410	1.66	0.96	2.23	1.46	.50
416	1.82	0.96	2.26	1.53	.48
420B	1.64	1.17	1.86	1.72	.48
431	1.43	1.3	1.92	1.63	.48

Tabella VI Valori medi della rugosità Rq

	S08	S12	W04	W08	RETT.
303	2.08	2.20	2.42	1.50	0.45
304	2.10	1.33	2.74	1.78	0.83
316	2.15	1.33	3.30	1.56	0.82
316TSL	1.99	1.35	2.33	1.93	0.79
GVR	2.08	1.09	1.88	1.70	1.0
410	1.90	1.17	2.68	1.76	0.63
416	2.18	1.18	2.56	1.85	0.61
420B	2.03	1.43	2.24	2.15	0.62
431	1.79	1.75	2.32	2.30	0.62

Tabella VII Valori medi della Skewness Sk

	S08	S12	W04	W08
303	.34	0.90	.20	0.34.
304	.45	0.30	.45	0.69
316	.31	0.20	.22	0.05
316TSL	.50	0.35	.70	0.75
GVR	.46	0.55	.57	0.40
410	.46	0.43	.30	0.65
416	.58	0.34	.43	0.35
420B	.30	0.70	.70	0.45
431	.81	1.2	.48	1.8

Nelle tabelle V, VI VII si riportano i valori di Ra, Rq e Sk misurati sulle superfici lavorate con i diversi utensili. I valori sono ottenuti come medie di almeno 5 letture per ogni tipo di combinazione lavorazione-materiale. L'ultima colonna riporta i valori relativi alle superfici rettificate. Tutte le misurazioni sono state effettuate con cut-off di 0,8 mm.

Dai valori riportati non è agevole ricavare informazioni sulla finibilità dei diversi acciai. Ogni parametro infatti fornisce informazioni parziali, che vanno opportunamente interpretate e integrate tra loro.

Dall'osservazione della figura 5, che riporta i profili acquisiti non filtrati degli acciai GVR, si nota come la microgeometria sia alterata rispetto a quella teorica per: discontinuità nel taglio, vibrazioni e solcature sul tagliente. E' da notare che questi fenomeni avvengono sin dai primi metri di percorso del tagliente e che sono tanto più accentuati, quanto minore è la lavorabilità del materiale.

Il risultato di queste azioni è un'alterazione dell'altezza del profilo, che viene rilevata da Ra, ma anche una alterazione della forma del profilo che viene misurata dalla skewness Sk e in parte da Rq.

Si è quindi proposto di valutare la finibilità adottando due parametri derivati.

Il primo è la differenza assoluta DSk tra Sk misurata e Sk teorica, che indica quanto la distribuzione delle altezze si discosta da quella teorica (Tab. VIII).

Tabella VIII Valori della differenza DSk

	S08	S12	W04	W08	Σ
303	0.30	0.26	0.16	0.24	0.96
304	0.19	0.34	0.09	0.11	0.73
316	0.33	0.44	0.14	0.08	0.99
316TSL	0.14	0.29	0.34	0.17	0.94
GVR	0.18	0.09	0.21	0.18	0.66
410	0.18	0.21	0.06	0.07	0.52
416	0.06	0.30	0.07	0.23	0.66
420B	0.34	0.06	0.34	0.13	0.87
431	0.17	0.56	0.12	1.22	2.07
Σ	1.89	2.55	1.53	2.43	

Il secondo è la differenza assoluta DR tra il rapporto Rq/Ra misurato e quello teorico, che indica quanto il profilo è alterato da contenuti con più alte frequenze (Tab. IX).

Da questi dati è possibile mettere in evidenza gli acciai più finibili che risultano quelli con i valori dei parametri DSk e DR più bassi. Le sommatorie effettuate per righe forniscono delle indicazioni complessive della finibilità di ogni tipo di acciaio. Le sommatorie effettuate per colonne forniscono invece delle indicazioni complessive sulla attitudine di ogni utensile a fornire buone caratteristiche di finibilità, alle condizioni sperimentate.

Per quanto riguarda gli acciai, in particolare, si può osservare l'ottimo comportamento del tipo GVR, specialmente se riferito all'acciaio 303. Al contrario sembrano poco finibili i tipi 316 e 431.

Per le lavorazioni si può osservare che i raggi di raccordo minori forniscono superfici migliori.

Tabella IX Valori della differenza DR

	S08	S12	W04	W08	Σ
303	1	10	8	6	25
304	9	6	3	8	26
316	3	6	3	14	26
316TSL	0	6	5	9	20
GVR	2	4	3	3	12
410	2	6	5	7	20
416	4	7	2	7	20
420B	8	6	5	11	30
431	9	19	6	27	41
Σ	38	70	40	92	

4. Rilevazioni della lucentezza

La lucentezza delle superfici ("gloss") è una caratteristica soggettiva come il colore che si percepisce osservando un oggetto e, non diversamente dal colore, dipende dal tipo di sorgente luminosa e dalla posizione dell'osservatore.

Quando una superficie che separa due mezzi viene colpita da un raggio luminoso, parte dell'intensità luminosa viene trasmessa e parte viene riflessa. Per una superficie perfettamente speculare si verifica la riflessione di tipo geometrico con angolo di riflessione uguale a quello di incidenza.

Il rapporto tra l'intensità del raggio riflesso e l'intensità di quello incidente definisce il fattore di riflessione ρ . Questo fattore dipende dalla lunghezza d'onda della luce, dal materiale e dall'angolo di incidenza θ . Per incidenza normale ($\theta = 0$) si ha:

$$\rho(0) = \left(\frac{1-n}{1+n} \right)^2 \quad (5)$$

ove n è l'indice di rifrazione del materiale.

Per i mezzi isotropi trasparenti, ρ assume valori piuttosto piccoli, mentre per i metalli la precedente relazione diventa:

$$\rho(0) = \frac{(1-\nu)^2 + \chi^2}{(1+\nu)^2 + \chi^2} \quad (6)$$

ove ν è l'indice di rifrazione e χ è l'indice di assorbimento del metallo. Siccome queste costanti dipendono dalla lunghezza d'onda, la luce riflessa ha in generale uno spettro diverso da quello della luce incidente.

Se un metallo viene osservato in luce bianca esso appare colorato e il suo colore è complementare di quello trasmesso.

Per la luce visibile (radiazione gialla del sodio con $\lambda = 0,5893 \mu\text{m}$) il fattore di riflessione degli acciai è stimato intorno a 0,60, dipendendo dalla loro composizione chimica, mentre per l'argento vale 0,953.

Per le superfici non perfettamente speculari il fattore di riflessione viene modificato in funzione della rugosità, diminuendo con essa, secondo leggi che dipendono dalla distribuzione e dalla morfologia delle asperità.

L'aspetto lucente di una superficie non è comunque solo dato dal valore del fattore di riflessione, ma anche da come la luce viene riflessa. Tanto più la superficie è vicina al comportamento di uno specchio, tanto più è alta la sensazione di lucentezza.

Al contrario, più la luce viene diffusa nel semipiano, tanto meno la superficie appare lucente, fino al caso del diffusore perfetto, per il quale l'intensità riflessa è proporzionale al coseno dell'angolo di riflessione. La figura 6 mostra il caso di una superficie perfettamente speculare, quello di una superficie reale e quello di un diffusore perfetto.

Esistono molti criteri per misurare la lucentezza di una superficie [6], ma nessun metodo ottico consente di ricavare parametri che siano correlabili in maniera sicura con quelli di rugosità [7,8].

E' però possibile effettuare misurazioni comparative che valgono per determinate condizioni sperimentali.

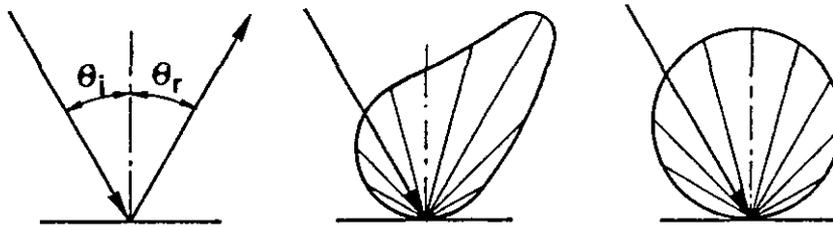


Fig. 6. Distribuzione dell'intensità riflessa per una superficie perfettamente speculare, una superficie reale e un diffusore perfetto.

Per effettuare valutazioni della lucentezza delle superfici ottenute dai diversi acciai e dalle diverse lavorazioni, si è messo a punto un banco ottico, con il quale si manda un raggio di luce parallelo sulla superficie in esame e si rileva con telecamera la distribuzione della luce riflessa dalla superficie.

La sorgente luminosa è una lampada ad alogeni, per avere una radiazione con spettro continuo. La dimensione del fascio luminoso è di 6 mm. Sul diaframma di campo è posto un filo diametrale che viene proiettato sulla superficie come un'ombra sottile. Questo è stato usato come riferimento per la messa a fuoco e per trarre informazioni sulla qualità dell'immagine riflessa dalla superficie. La telecamera, che simula l'osservatore umano, è posta con l'obiettivo ad una distanza dalla superficie di 250 mm e con il suo asse ottico inclinato di 80° rispetto all'asse del raggio incidente. A causa della curvatura della superficie, il cui raggio è di 15 mm, il fascio di luce riflesso dalla superficie ha forma tronco-conica. Questo fascio è intercettato dall'obiettivo della telecamera e su ogni elemento del sensore (CCD) viene raccolta l'intensità luminosa emessa da un determinato

punto della superficie. Se la superficie fosse perfettamente speculare tutta l'intensità riflessa dal punto sarebbe concentrata sull'elemento, ma se presenta difetti superficiali parte della luce riflessa dal punto non viene intercettata dal sistema ottico e non raggiunge l'elemento.

Operando con il banco ottico descritto sono state acquisite le immagini relative alle diverse superfici considerate, mediante una scheda VIGA 32+ applicata a personal computer.

Le acquisizioni sono state effettuate con 256 livelli di grigio e con matrice di 640x480 pixel.

In figura 7 si rappresentano due esempi di immagini: la prima è ricavata da acciaio 303 tornito (S08), la seconda da acciaio 303 rettificato.

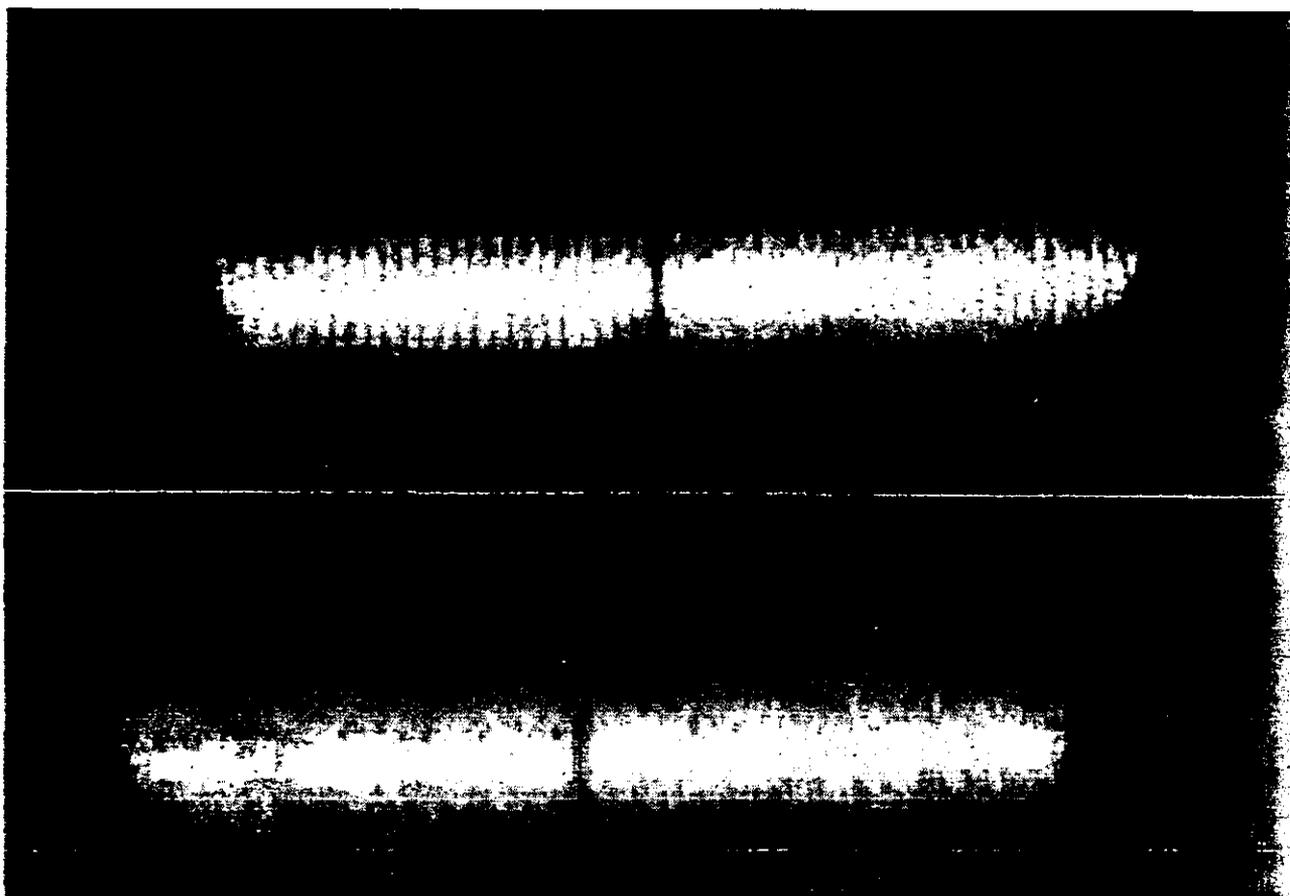


Fig. 7 Esempi di immagini acquisite: una superficie tornita e una superficie rettificata. L'acciaio è AISI 303. Il tratto nero centrale è l'immagine del filo proiettato in diascopia.

Mediante un programma appositamente sviluppato sono stati rilevati i livelli di grigio su una retta intersecante l'immagine trasversalmente alla sua lunghezza, e cioè parallelamente al piano di incidenza, in modo da tracciare la curva di riflessione della superficie.

In figura 8 si presentano, a titolo di esempio, le curve di riflessione relative a due acciai, per le 5 lavorazioni considerate.

In tabella X si riportano i valori dei massimi misurati e in tabella XI si riportano gli integrali delle curve rilevate per tutte le combinazioni acciaio-lavorazione considerate: questi integrali rappresentano l'intensità luminosa riflessa dal piano di incidenza entro l'angolo di osservazione (angolo di apertura della telecamera).

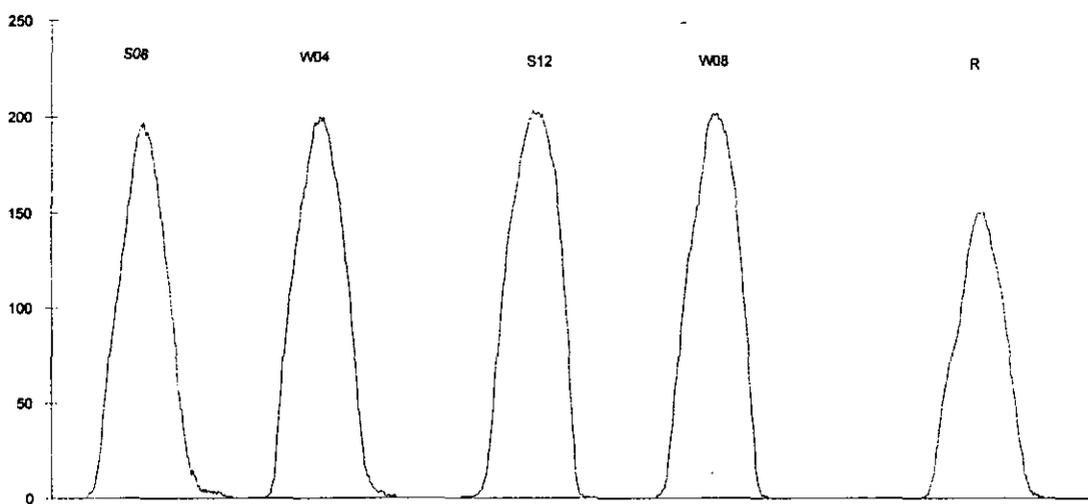
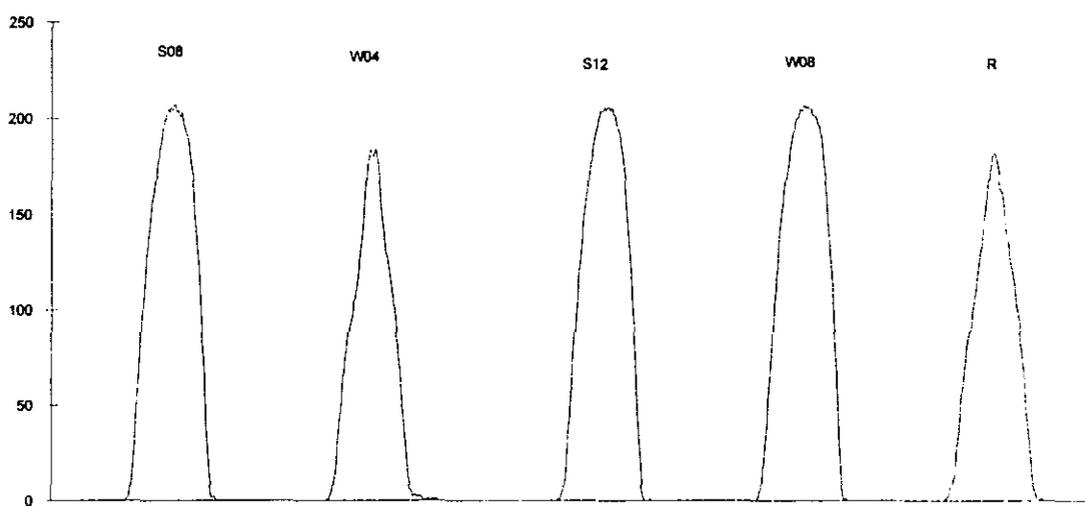
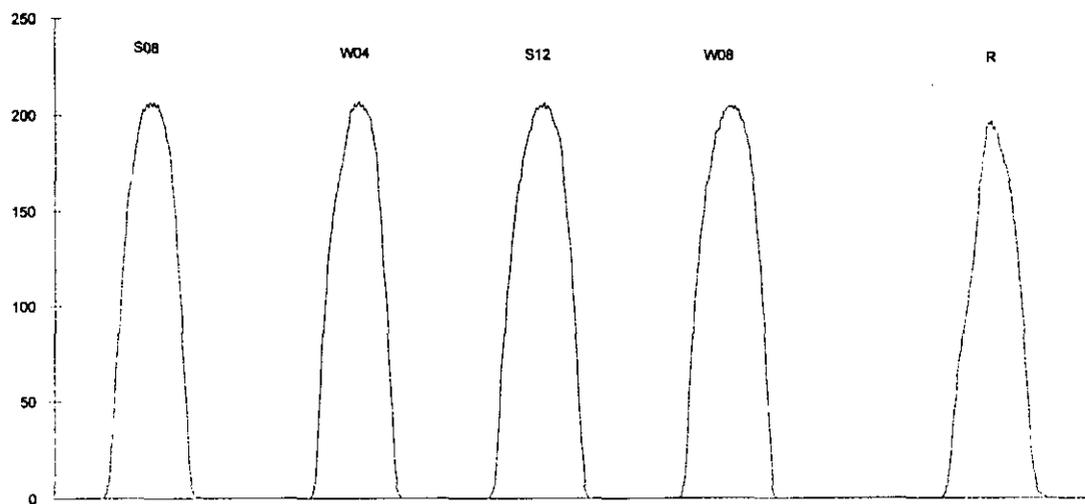


Fig. 8. Curve di riflessione per gli acciai AISI 316TSL, AISI 410 e GVR

Tabella X Valori dei massimi delle curve di riflessione

materiali	S08	W04	S12	W08	TOTALE	R
303	205	201	202	205	1116	204
304	193	195	185	197	1074	203
316	198	203	203	205	1125	163
316T	207	207	207	205	826	197
GVR	197	200	203	201	801	150
410	207	184	206	207	1214	182
416	195	195	192	197	1195	194
420	206	203	204	201	1234	205
431	203	205	201	202	1242	187
TOTALE	1811	1793	1803	1820		1685

Tabella X I Valori degli integrali delle curve di riflessione

MATERIALI	B1	B2	B3	B4	TOTALE	R
303	1110	9693	9672	9834	30612	11091
304	8352	8290	7510	8505	32961	10707
316	9471	10435	9466	10085	39773	6622
316T	10384	10343	11309	11298	43334	9215
GVR	8636	9208	9599	9199	36642	6610
410	10176	7305	9964	10327	38182	7656
416	9066	8595	8275	8693	35045	8475
420	10358	9549	9700	9095	39122	9966
431	9619	9651	9292	9320	38313	7743
TOTALE	77172	83069	84787	86356		78085

Sia i massimi che gli integrali sono correlati con la lucentezza, avendosi valori più alti quanto più la superficie si comporta specularmente.

Come ulteriore indagine si sono rilevati i livelli di grigio secondo la retta intersecante l'immagine longitudinalmente: dai relativi diagrammi si possono ricavare tutte le informazioni sulla tessitura della superficie. In Figura 9 si riportano tre esempi di diagrammi relativi agli acciai AISI 303, 316 e 431 per la stessa lavorazione.

Complessivamente, gli acciai che hanno dato risultati di maggiore lucentezza, in relazione alle lavorazioni considerate, sono gli acciai 303, 304 e 420.

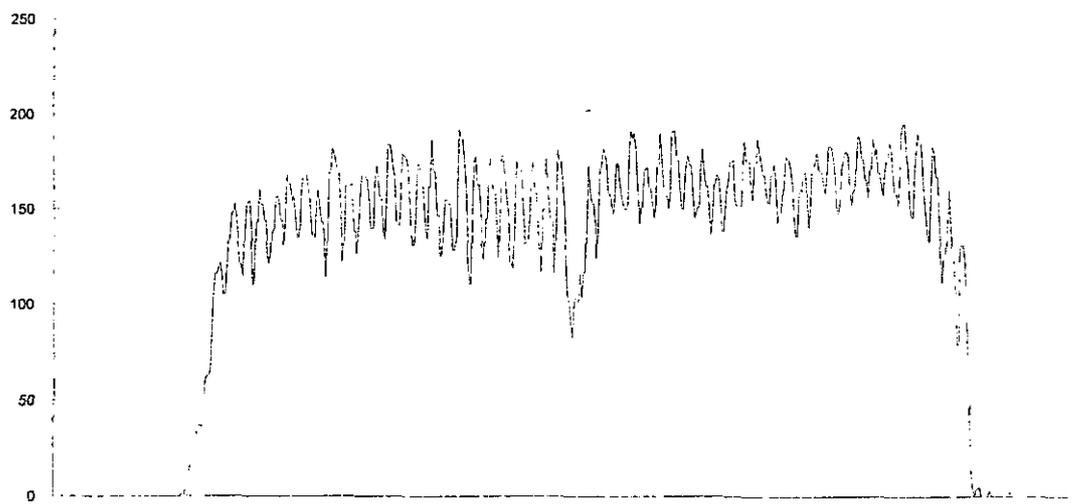
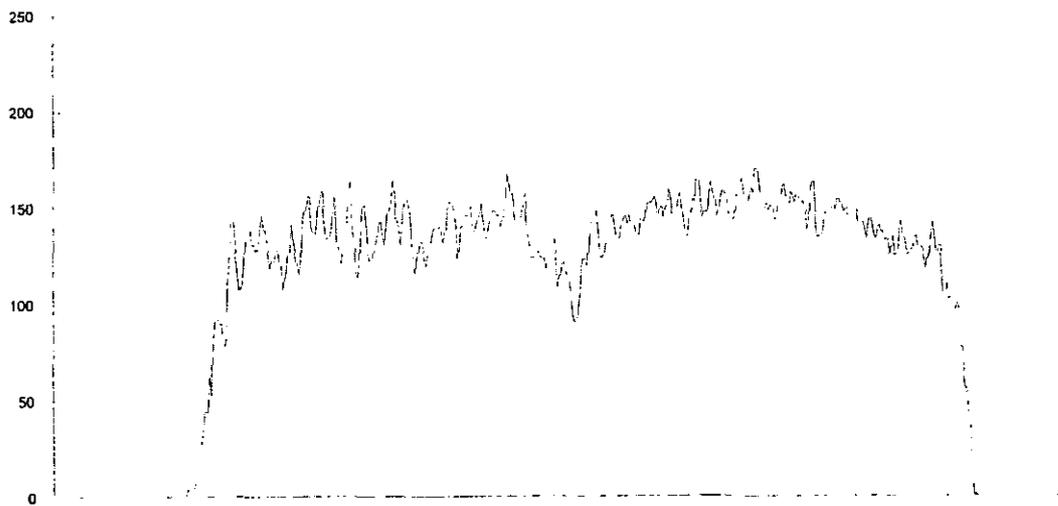
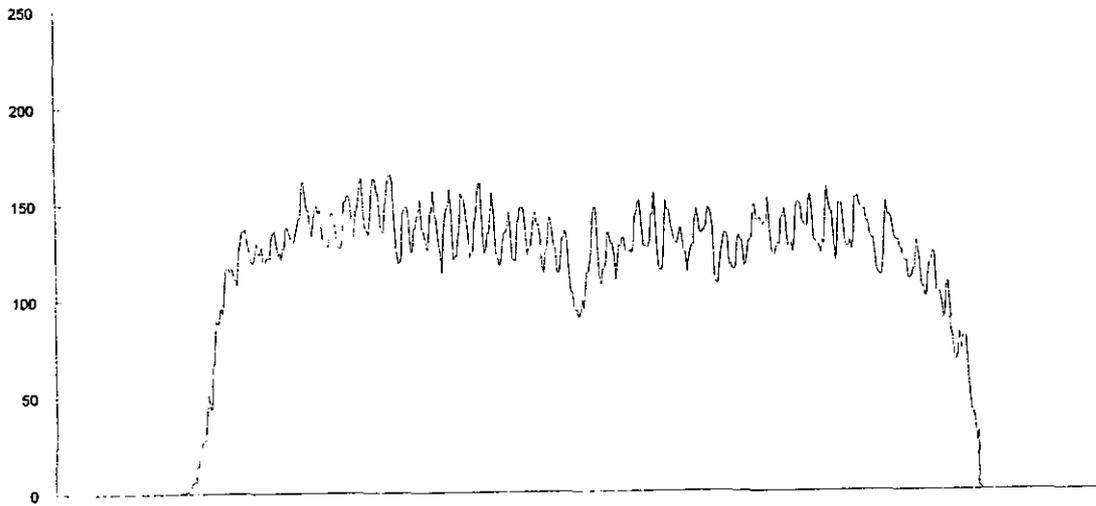


Fig. 9. Esempi di diagramma dei livelli di grigio misurati longitudinalmente per tre acciai e la stessa lavorazione.

Ringraziamenti

Si desidera ringraziare le Società Cogne, Rodacciai e Seco Italia per il supporto fornito a questa ricerca. Il lavoro è stato eseguito con il contributo parziale del M.U.R.S.T. 60% e 40%.

Bibliografia

[1] Lonardo P, "La misura della lucentezza per la valutazione delle superficie finemente lavorate", Quaderni di Ricerca n.1, 1972

[2] Lonardo P., Bruzzone A., Lo Nostro G., "Procedure di generazione ed analisi nella simulazione di superfici lavorate", VII congresso AIMETA , 1984

[3] Whitehouse D. J., " A Philosophy of linking manufacture to function - an example in optics", IMechE, 1993

[4] Namba Y., Tsuwa H., "Surface Properties of Polished Stainless Steel", Annals of the CIRP, Vol. 29/1, 1980

[5] Cusolito M., Melotti G., "Technical and Economic Performances of a Free Cutting Tailor-Made Stainless Steel"

[6] Hammond III K., "Gloss", ASTM Standardization News, Vol. 15 n.2, 1987

[7] Whitehouse D. J., "Comparison Between Stylus and Optical Methods for Measuring Surfaces", Annals of the CIRP, Vol. 37/2, 1988

[8] Lonardo P., "Theoretical Determination of the Reflection Curves and Introduction of a New Method for Measuring Surface Gloss", Annals of the CIRP, Vol. 24/1, 1975.

Carlo Nardi
Capo Servizio Tecnico Commerciale della Seco Tools Italia

"GLI ACCIAI INOSSIDABILI SONO DIFFICILI DA LAVORARE ?"

Incontro tecnico
"Lavorazioni Meccaniche degli acciai inossidabili"
organizzato dal Centro Inox

Milano, 20 Aprile 1994

PRODUZIONE DI ACCIAIO E PRODUZIONE DI ACCIAIO INOX

Nonostante la produzione di acciaio sia in una fase di stagnazione, quella di acciaio inox è in continua fase di crescita: circa il 5% in più ogni anno.

Il risparmio energetico, la necessità di ridurre gli interventi di manutenzione, i processi di fabbricazione che si svolgono a temperature sempre più elevate e, spesso, in ambienti che possono innescare la corrosione, hanno determinato la crescente richiesta di acciai inox.

MA CHE COSA SONO GLI ACCIAI INOX?

Se i tipi di acciai da costruzione sono qualche migliaia, i tipi di acciai inox sono almeno qualche centinaia.

Le diverse sigle proposte dai fabbricanti, molto spesso confondono le idee agli utilizzatori; un sicuro riferimento per la denominazione degli acciai inox è fornito dall'americana A.I.S.I ma non sempre questa codifica risponde alle reali necessità degli utilizzatori e dei fabbricanti.

Definizione di Acciaio Inossidabile

Perchè un acciaio sia resistente alla corrosione (inossidabile) deve contenere:

Carbonio	C	1,2%	MAX
Cromo	Cr	10,5%	MIN

(Definizione CEE del 7 settembre 1987),

Altri elementi in lega vengono utilizzati per migliorare la resistenza meccanica e/o la resistenza alla corrosione.

Principali famiglie di acciai inox

Una bassa percentuale di C(0,15max) ma elevata di Cr caratterizzano una struttura FERRITICA.

Gli acciai inox Ferritici hanno un'ottima resistenza alla corrosione ma pessime caratteristiche meccaniche; a questa famiglia appartengono gli AISI 405 e 430

Aumentando la percentuale di C (fino ad 1,2%) la struttura diventa MARTENSITICA; le caratteristiche meccaniche migliorano notevolmente e la resistenza all'usura rimane inalterata.

A questa famiglia appartengono gli AISI 410 e 420.

Se si mantiene la percentuale di C a livelli contenuti (max 0,12%) ma si aggiunge Ni ad un acciaio ferritico, si ottengono gli acciai inox AUSTENITICI che hanno un'ottima resistenza alla corrosione, ottima saldabilità e buone caratteristiche meccaniche generali; a questa famiglia appartengono gli AISI 304 e 316 (NON MAGNETICI).

Gli elevati costi del Nickel hanno stimolato la ricerca di leghe diverse che mantenessero inalterate le caratteristiche degli acciai AUSTENITICI; con una percentuale di Ni del 7% max, in combinazione con trattamenti termici particolari, la micro-struttura dell'acciaio diventa AUSTENITICO-FERRITICA con ottime proprietà sia meccaniche che di saldabilità che di resistenza alla corrosione; per questi tipi di acciai inox diminuisce la lavorabilità per asportazione di truciolo: a questa famiglia appartengono gli AISI 309 e 329.

Effetti di alcuni elementi sulla resistenza alla corrosione

Cromo - Cr

Il Cr consente la formazione di una pellicola protettiva sull'acciaio (Cr_2O_3)

Molibdeno - Mo

Il Molibdeno è 3 volte più efficace del Cr contro la formazione della corrosione.

Azoto - N

L'azoto, che si combina con il Ferro ed il Carbonio è 30 volte più efficace del Cr contro la formazione della corrosione.

Nickel (Ni) - Titanio (Ti) - Niobio (Nb)

Questi elementi sono utilizzati per migliorare le caratteristiche degli acciai inox; in alcuni casi formano carburi che peggiorano la lavorabilità.

Lavorazione degli acciai inox mediante l'asportazione truciolo

Considerando che i tipi di acciai inox sono innumerevoli, che le loro caratteristiche meccaniche sono molto diverse, anche a parità di resistenza alla corrosione, e che le sigle "ufficiali" e commerciali non consentono una classificazione per "indice di lavorabilità", la Seco ha deciso di adottare il valore del P.R.E. (PITTING RESISTENCE EQUIVALENT) fattore di resistenza alla corrosione come parametro di riferimento.

P.R.E e LAVORABILITA'

Il P.R.E. si calcola nel modo seguente:

$$P.R.E = (\% Cr) + (3,3x\% Mo) + (30x\% N)$$

Come si può notare il P.R.E. è un "numero" che si può facilmente calcolare conoscendo l'analisi chimica dell'acciaio inox considerato.

PIU' ELEVATO E' IL VALORE DEL P.R.E., MENO L'ACCIAIO INOX CONSIDERATO E' LAVORABILE MEDIANTE L'ASPORTAZIONE TRUCIOLO.

ACCIAI INOX

Famiglie principali

			AISI - ASTM		
ACCIAI C 0.15 max	+	Cr Cromo	=	FERRITICI Cr 12-30, Mo0-4, C 0.02-0.15	405 430
INOX Ferritici	+	C Carbonio	=	MARTENSITICI Cr 12-18, C 0.15-1.2	410, 420 440
				PH 12-18, Cr 3-8 Ni	(17-4 PH)
INOX Ferritici	+	Ni Nickel	=	AUSTENITICI Cr 17-25, Ni 8-35 C 0.02-0.12, M 0-7	304 316
INOX Austenitici	-	Ni Nickel	=	AUSTEN.-FERRITICI DUPLEX Cr18-28, Ni4-7, C0.02-0.15, Mo0-3	329 (2304) (F44-F51)

Importanti caratteristiche degli acciai inossidabili in tornitura

Confrontando le curve di prova a trazione degli acciai inossidabili si possono capire i diversi comportamenti del truciolo nelle operazioni di tornitura. Il test viene svolto applicando un carico su un campione di acciaio, ad es. tirando una provetta alle due estremità. Le deformazioni (allungamento) ed il carico vengono registrate costantemente.

All'inizio l'acciaio è elastico, il che significa che se si stacca la provetta, questa tornerà alla sua lunghezza originaria.

Ad un determinato carico di snervamento (R_p), il materiale comincia a subire una deformazione plastica.

Quando si staccano i pesi, dopo aver superato il carico di snervamento, si noterà un aumento permanente di lunghezza. Questo fenomeno è chiamato deformazione plastica.

Gli acciai inossidabili ferritici e martensitici si comportano più o meno nello stesso modo degli acciai al C debolmente legati, rispettivamente a basso ed alto contenuto di C.

Acciai inossidabili ferritici

Gli acciai ferritici hanno un basso snervamento (R_p) ed un basso carico di rottura (R_m). L'allungamento prima della rottura (livello di deformazione plastica) è basso, un basso valore A5.

Ciò significa che è richiesta poca energia per formare il truciolo (basse forze di taglio) ed il truciolo è fragile e cioè di facile evacuazione, riducendo così il rischio di martellamento.

L'area al di sotto della curva rappresenta l'energia necessaria per formare il truciolo, si tratta cioè di una misurazione indiretta delle forze di taglio, il che sta ad indicare che alti carichi di rottura ed elevati allungamenti prima della rottura (A5) provocano elevate forze di taglio.

Acciai inossidabili martensitici

Gli acciai inossidabili martensitici hanno un elevato snervamento ed anche un elevato carico di rottura (alta tenacità), ma la duttilità (capacità di deformazione plastica) è bassa; basso valore A5. Le forze di taglio occorrenti saranno in relazione al carico di rottura. Le forze di taglio occorrenti per il taglio degli acciai inossidabili martensitici incruditi e temprati sono identiche a quelle generate per il taglio delle leghe austenitiche.

Una bassa duttilità sta ad indicare in molti casi un facile controllo del truciolo ed un ridotto rischio di martellamento del truciolo stesso.

Acciai inossidabili austenitici

Come si può notare dal grafico gli acciai inossidabili austenitici si comportano in modo completamente diverso.

Il carico di snervamento per un acciaio austenitico ricotto è basso, ma durante la deformazione plastica le forze aumentano notevolmente. Questo determina l'incrudimento del materiale ed un conseguente aumento del carico di rottura.

L'elevato allungamento prima della rottura, (elevato valore A5), sta ad indicare un'elevata duttilità.

Gli acciai martensitici possono essere paragonati ad una gomma che si comporta in modo elastico prima di raggiungere il punto di rottura.

Un acciaio inossidabile austenitico è molto simile ad una gomma da masticare che subisce una deformazione plastica quando gli viene applicato un carico.

Quando si devono tagliare acciai austenitici, la duttilità e l'incrudimento del pezzo comportano la formazione di trucioli discontinui; la forza di taglio aumenta sino a superare il carico necessario per lo strappamento del truciolo stesso.

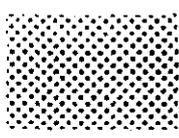
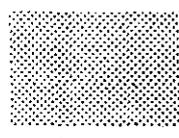
Il materiale viene compresso sino al punto in cui non può più "rifiutare" il taglio; a questo punto si stacca un truciolo a forma lamellare che provoca una repentina diminuzione del carico esercitato dall'utensile sul pezzo; il ciclo riprende con una nuova compressione del materiale.

I trucioli a forma lamellare sono tipici dei materiali ISO-M, dei quali gli acciai inossidabili austenitici costituiscono il gruppo principale.

Rispetto alle leghe ferritiche e martensitiche, le leghe austenitiche sono caratterizzate da elevate forze di taglio e bassa conduttività termica. Il calore generato viene trasmesso all'utensile che deve quindi resistere e lavorare a temperature molto elevate.

Ad elevati parametri di taglio (velocità ed avanzamento), la combinazione di alti carichi ed elevate temperature nella zona di taglio produce la deformazione plastica dell'utensile.

Classificazione ISO DEL METALLO DURO

Gruppo principale d'aspenazione di truciolo e relativa colorazione	Gruppo d'applicazione			Senso di accrescimento delle caratteristiche
	Simbolo ISO	Materiali da lavorare *	Procedimenti e condizioni di lavoro *	
<p>P</p> <p>Materiali ferrosi a truciolo lungo e leghe che provocano grandi logoramenti sulla faccia dell'utensile (craterizzazione)</p>  <p>Blu</p>	P 01	Acciaio, acciaio in getti	Tornitura, alesatura di finitura e lavorazione senza vibrazioni. Elevata velocità di taglio, piccola sezione di truciolo, tolleranze ristrette, elevata qualità della superficie lavorata	<p>↑ Velocità di taglio</p> <p>↓ Avanzamento di taglio</p> <p>↑ Resistenza al logoramento</p> <p>↓ Tenacità</p>
	P 10		Tornitura, tornitura a copiare, taglio di filettature ed anche fresatura Elevata velocità di taglio, piccola o media sezione di truciolo	
	P 20	Acciaio, acciaio in getti, ghisa malleabile a truciolo lungo	Tornitura, tornitura a copiare e fresatura Media velocità di taglio, media sezione di truciolo Piallatura con piccola sezione di truciolo	
	P 30		Tornitura, fresatura e piallatura anche in condizioni sfavorevoli ** Media e piccola velocità di taglio, grande e piccola sezione di truciolo	
	P 40	Acciaio, acciaio in getti con inclusioni di sabbia e con soffiature	Tornitura, piallatura, stozzatura e lavorazione su macchine automatiche Bassa velocità di taglio, grande sezione di truciolo, possibilità di angolo di spoglia superiore ampio, condizioni di lavoro sfavorevoli **	
	P 50	Acciaio, acciaio in getti di media e bassa resistenza meccanica con inclusioni di sabbia e con soffiature	Tornitura, piallatura, stozzatura e lavorazione in cui al carburo metallico è richiesta una buona tenacità Bassa velocità di taglio, grande sezione di truciolo, possibilità di angolo di spoglia superiore ampio, condizioni di lavoro sfavorevoli **	
<p>M</p> <p>Materiali ferrosi a truciolo lungo e corto e leghe che provocano medi logoramenti sulla faccia o sul fianco dell'utensile</p>  <p>Giallo</p>	M 10	Acciaio, acciaio in getti, acciaio al manganese, ghisa grigia, ghisa grigia legata	Tornitura Media ed elevata velocità di taglio, piccola e media sezione di truciolo	<p>↑ Velocità di taglio</p> <p>↓ Avanzamento di taglio</p> <p>↑ Resistenza al logoramento</p> <p>↓ Tenacità</p>
	M 20	Acciaio, acciaio in getti, acciai austenitici, acciai al manganese, ghisa grigia	Tornitura e fresatura Media velocità di taglio, media sezione di truciolo	
	M 30	Acciaio, acciaio in getti, acciai austenitici, ghisa grigia, leghe resistenti ad alte temperature	Tornitura, fresatura e piallatura Media velocità di taglio, media e grande sezione di truciolo	
	M 40	Acciai per macchine automatiche, acciai a bassa resistenza, metalli non ferrosi, leghe leggere	Tornitura, tornitura su sagoma e troncatura, particolarmente su macchine automatiche	

(segue prospetto)

(segue)

(seguito del prospetto)

Gruppo principale d'asportazione di truciolo e relativa colorazione	Gruppo d'applicazione		Senso di accrescimento delle caratteristiche	
	Simbolo ISO	Materiali da lavorare *		Procedimenti e condizioni di lavoro *
<p>K</p> <p>Materiali ferrosi a truciolo corto, materiali non ferrosi, materiali non metallici e materiali che provocano grandi logoramenti sul fianco dell'utensile</p>  <p>Rosso</p>	K 01	Ghisa, ghisa molto dura, getti di ghisa in conchiglia con durezza Shore maggiore di 85, leghe di alluminio ad elevato tenore di silicio, acciaio temprato, materie plastiche molto abrasive, carta bachelizzata, materiali ceramici	Tornitura, tornitura di finitura, alesatura, fresatura di finitura e raschiatura	<p>↑</p> <p>Velocità di taglio</p> <p>Avanzamento di taglio</p> <p>Resistenza al logoramento</p> <p>Tenacità</p> <p>↓</p>
	K 10	Ghisa grigia con durezza Brinell maggiore di 220, ghisa malleabile a truciolo corto, acciaio temprato, leghe di alluminio con silicio, leghe di rame, materie plastiche, vetro, ebanite, carta bachelizzata, porcellana, pietre	Tornitura, fresatura, foratura, allargatura, alesatura, brocciatura e raschiatura	
	K 20	Ghisa grigia con durezza Brinell non maggiore di 220, metalli non ferrosi (rame, ottone e alluminio), legno compensato molto abrasivo	Tornitura, fresatura, piallatura, allargatura e brocciatura in cui al carburo metallico è richiesta un'elevata tenacità	
	K 30	Ghisa grigia a bassa durezza, acciai a bassa resistenza meccanica, legno compensato	Tornitura, fresatura, piallatura e stozzatura Possibilità di ampio angolo di spoglia superiore, condizioni di lavoro sfavorevoli **	
	K 40	Legni teneri e duri allo stato naturale, metalli non ferrosi		

* La suddivisione dei materiali da lavorare, i procedimenti e le condizioni di lavoro sono dati a titolo indicativo.

** Condizioni di lavoro sfavorevoli si presentano, per esempio, nel caso di: materiali con croste di fusione o di forgiatura, durezza variabile, profondità di taglio variabile, taglio interrotto e presenza di vibrazioni.

3. Note

3.1. Si fa notare che un gruppo di applicazione non è una gradazione di carburo metallico sinterizzato e non deve essere confuso come tale. Esso definisce solamente il campo di applicazione e le condizioni di lavoro all'interno delle quali i fabbricanti sono tenuti a classificare le loro gradazioni. Le gradazioni classificate in un medesimo gruppo di applicazione da differenti fabbricanti possono essere diverse le une dalle altre in relazione alle loro proprietà per lavorazioni con asportazione di truciolo; questo perché alcune combinazioni di gruppi d'applicazione e di gradazioni di carbuti metallici sinterizzati non possono essere considerati come rappresentanti un « prospetto comparativo di gradazioni di carbuti metallici sinterizzati ».

Questa è la ragione per la quale le lettere P, M e K, esclusivamente destinate alla classificazione generale dei gruppi principali d'asportazione di truciolo, non devono essere mai impiegate né separatamente, né congiuntamente con un'altra lettera, per la designazione commerciale di una stessa gradazione; i gruppi d'applicazione, che sono essenzialmente designati con queste lettere, non possono in effetti essere identificati con le gradazioni dei carbuti metallici sinterizzati; quest'ultime non possono per conseguenza avere la medesima designazione.

Come deve essere l'utensile

La lavorazione degli inox austenitici richiede utensili con caratteristiche spesso contraddittorie.

La caratteristica più importante dell'utensile è la tenacità. *Un utensile robusto eviterà:*

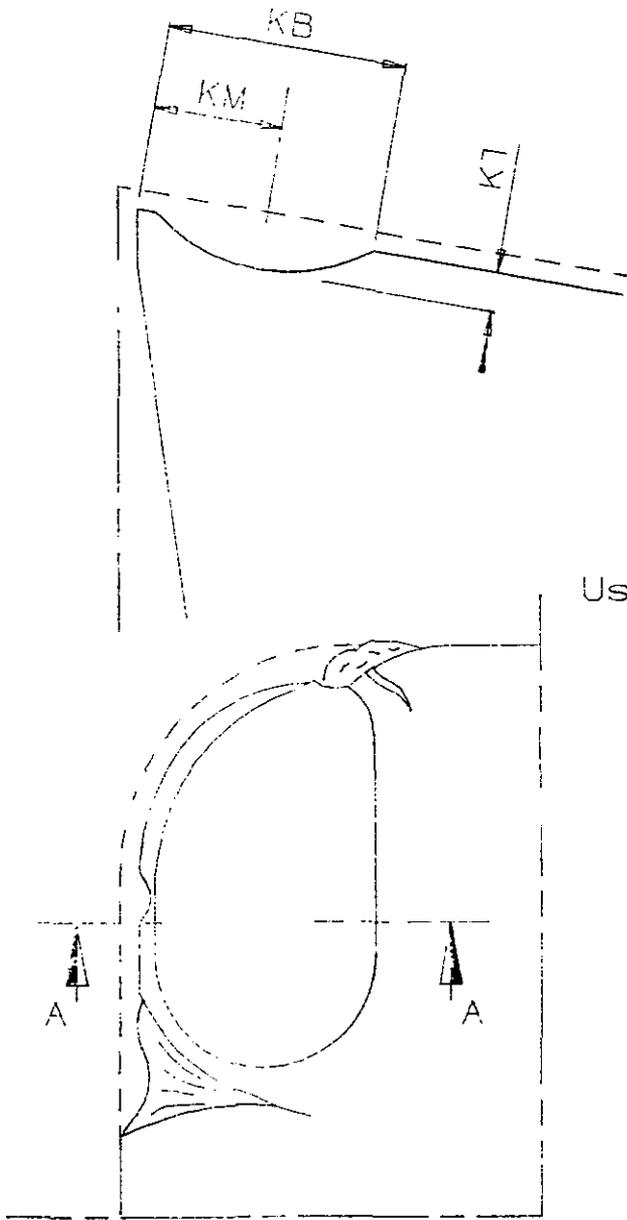
- le rotture causate dal martellamento quando i trucioli sono molto spessi e duri. A causa del continuo cambiamento della direzione di formazione dei trucioli, questi ultimi trovano sempre nuovi punti di strisciamento e c'è sempre il rischio che una parte non protetta del tagliente venga danneggiata.

-Scheggiature ed intagli dell'inserto dovuti allo strisciamento dei trucioli che asportano micro particelle di metallo duro. Questo fenomeno si manifesta specialmente quando vi sono frequenti entrate ed uscite dal pezzo poichè viene continuamente modificata la temperatura ottimale di distacco truciolo proprio nella zona corrispondente alla profondità di taglio.

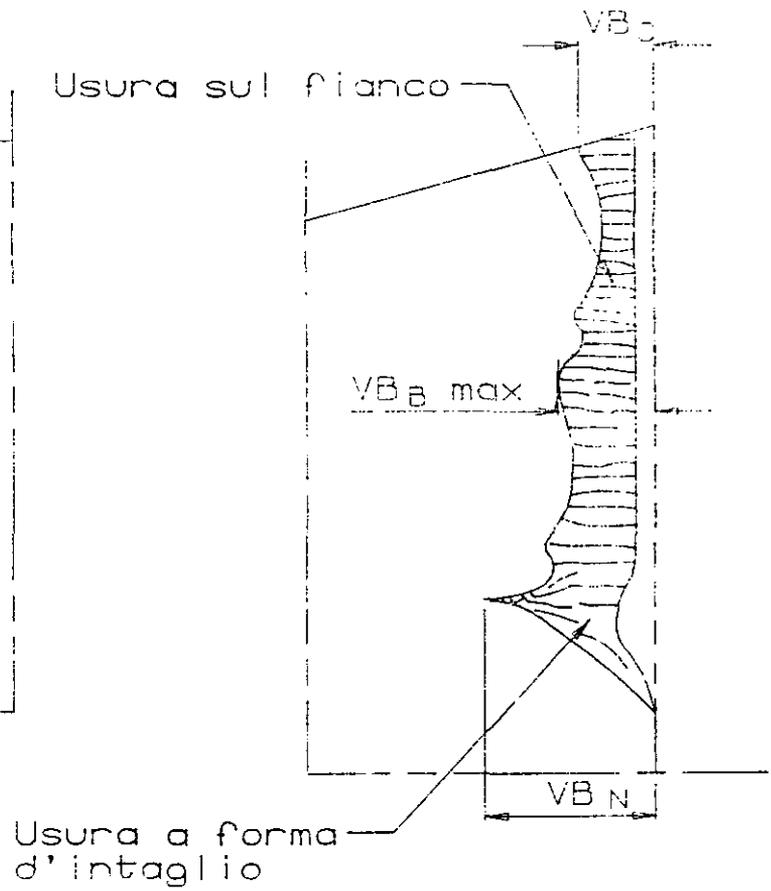
- Rotture e scheggiature quando si utilizza un inserto positivo e affilato per minimizzare:

- 1) la formazione dei trucioli lamellari;
- 2) l'incrudimento del pezzo;
- 3) la formazione del tagliente di riporto;
- 4) le forze di taglio.

Ma è necessaria anche la resistenza all'usura per evitare: 1) la deformazione plastica ad elevate temperature e carichi; 2) l'usura per abrasione derivante dall'ossido di alluminio o da altre inclusioni di carburi presenti negli acciai inossidabili o determinata da superfici incrudite da lavorazioni precedenti.



KB larghezza del cratere
 KM distanza dal centro del cratere
 KT profondita' del cratere



SECO

Acciai inossidabili Duplex

La lavorazione di acciai inox duplex presenta molti dei problemi già visti nel caso degli acciai inox austenitici (martellamento del truciolo, usura ad intagli) causati dalla forma lamellare dei trucioli.

Come si può notare sul diagramma delle curve di allungamento, *le caratteristiche dei duplex sono una integrazione di quelle degli acciai inox martensitici ed austenitici.*

L'austenite, inclusa nella matrice di ferrite, domina, comunque, il processo di taglio e gli acciai inossidabili duplex presentano lo stesso livello di difficoltà di quelli austenitici. Il valore PRE può essere utilizzato come guida per la loro lavorabilità.

Il fatto che le leghe duplex richiedono forze di taglio specifiche più basse e che la conduttività termica è superiore rispetto alle leghe austenitiche indicherebbe che si possono utilizzare velocità di taglio più elevate prima che si verifichi la deformazione plastica del tagliente.

La deformazione plastica è comunque un criterio da utilizzare quando si devono lavorare gli acciai inossidabili Duplex.

Tipiche sono invece le scheggiature e l'usura ad intagli, causate dal forte attrito esercitato dai trucioli sul tagliente o dal tagliente di riporto.

Formazione dei trucioli e forze di taglio

Il centro di ricerca e sviluppo Seco ha effettuato uno studio sul meccanismo di formazione dei trucioli dei diversi tipi di acciaio inossidabile. Gli elementi più rilevanti di tale studio sono riassunti di seguito.

Gli acciai sono stati acquistati da un unico fornitore per ottenere distribuzione e composizione delle inclusioni il più simile possibile. Sette qualità di acciai inox *sono state selezionate:*

1. AISI 420 Martensitico	PRE 14
2. AISI 304 Austenitico	PRE 19
3. AISI 304 Austenitico+Ca	PRE 19
4. AISI 316 Austenitico	PRE 27
5. AISI 317LN Austenitico	PRE 34
6. UNS 31803 Duplex	PRE36
7. X2CrNiMoN 2018 6 Superduplex	PRE 46

Riassumendo si può affermare quanto segue:

- La forza di taglio specifica aumenta con valori PRE più alti per le leghe austenitiche.

- La lega duplex presenta forze di taglio specifiche inferiori rispetto alle leghe austenitiche comparate allo stesso livello di PRE.

- La lega martensitica, indurita e temprata, presenta una forza di taglio specifica più contenuta ma nella gamma degli austenitici con basso PRE.

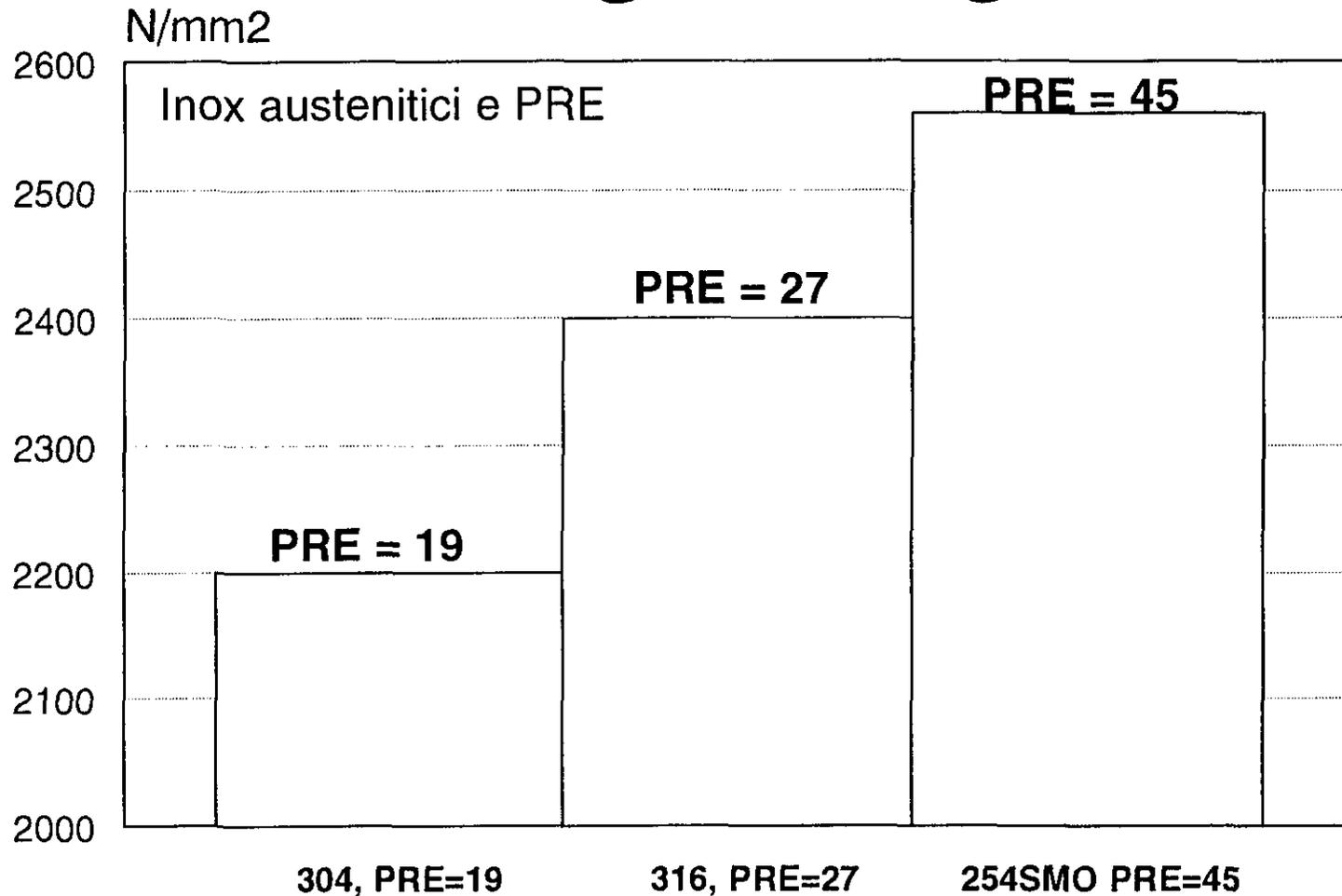
- Gli Austenitici 304 trattati al Ca non richiedono forze specifiche di taglio più basse rispetto gli standard AISI 304.

- Il coefficiente di frizione (definito come rapporto tra forze assiali-radiali e forze tangenziali) si dimostra più basso per i materiali trattati al Calcio e più alto per gli acciai duplex austenitici altamente legati. Esiste una relazione tra il coefficiente di frizione e la tendenza dei materiali a formare il tagliente di riporto.

- L'esame dei trucioli ottenuti nella lavorazione dei 7 inox, ha dimostrato che tutti, ad esclusione dell'AISI 420 martensitico, hanno forma lamellare (ISO-M). La forma dei trucioli dell'AISI 420 è riconducibile al tipo
ISO-P

La forte adesione dei trucioli sul tagliente e la diffusione chimica provocano il distacco di particelle dal materiale da taglio.

Forze di taglio tangenziali



CNMM 120408-R6, TP40

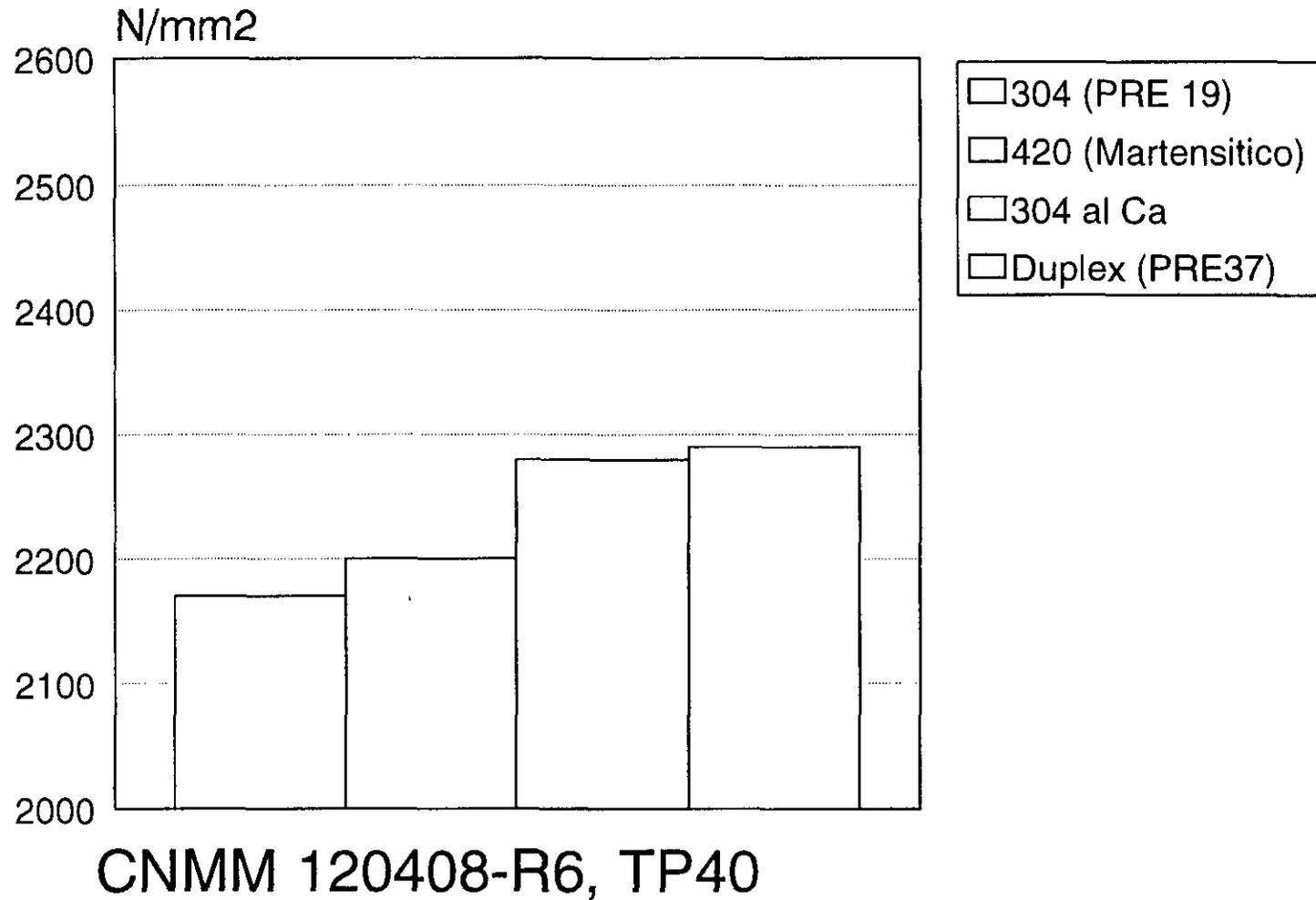
P.D.T. = 1-5 mm

f = 0,2-0,5 mm/giro

V_c = 70 m/min



Forze di taglio tangenziali



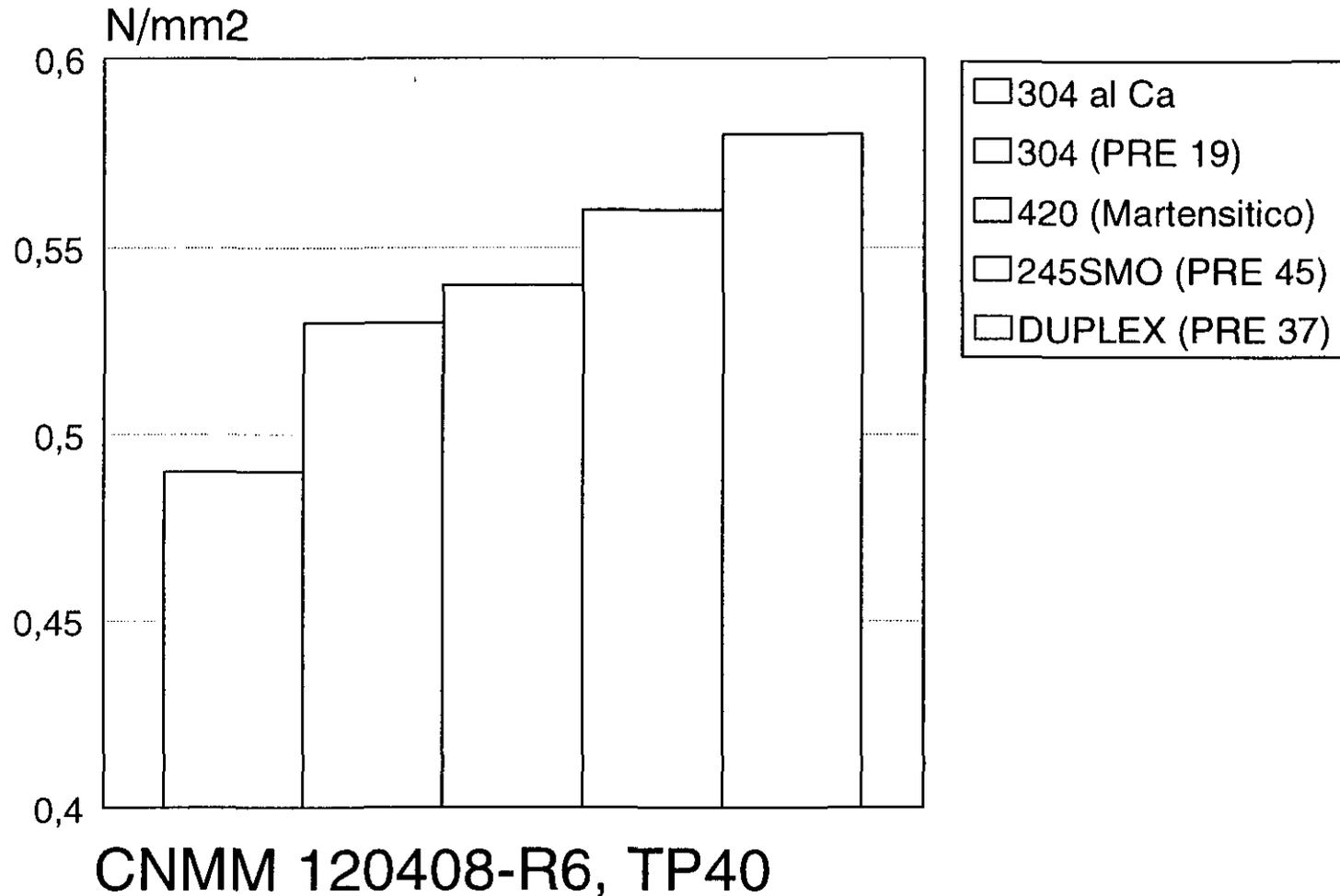
P.D.T.= 1-5 mm

f=0,2-0,5 mm/giro

Vc= 70 m/min



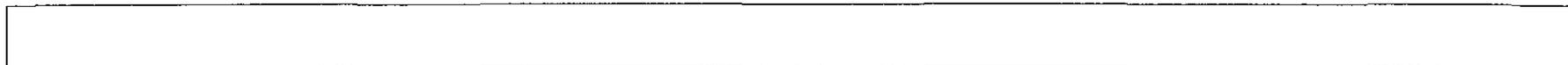
Coefficiente d'attrito



P.D.T.= 1-5 mm

f=0,2-0,5 mm/giro

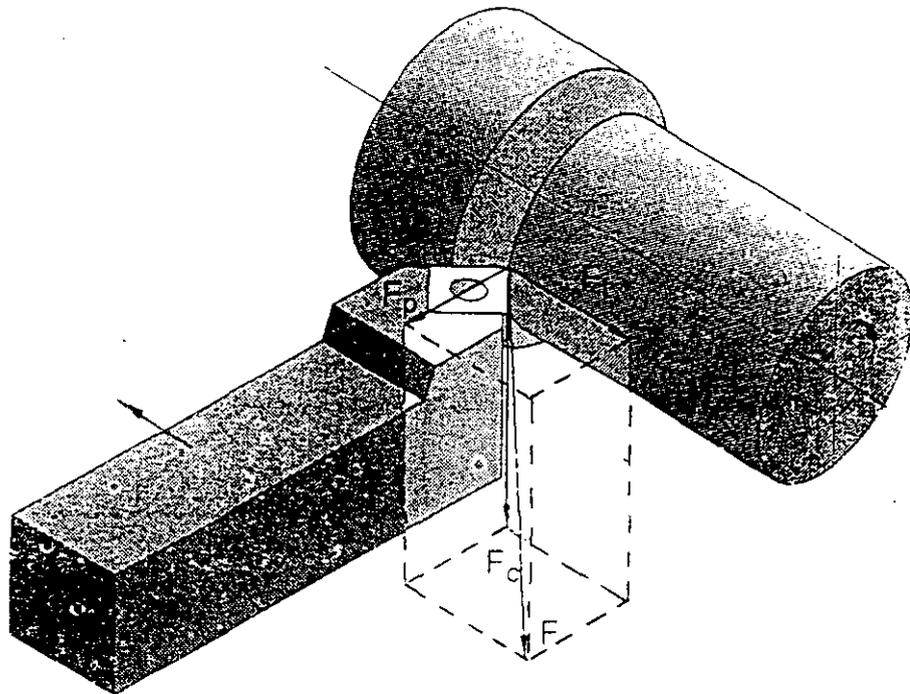
Vc= 70 m/min



FORZE DI TAGLIO IN TORNITURA

Le forze che agiscono sull'utensile e sul pezzo durante la lavorazione dipendono da: materiale lavorato, sezione truciolo asportata, geometria dell'utensile, angolo di registrazione, velocità di taglio, ecc.

Esiste una forza risultante F non facilmente individuabile. Allo scopo di analizzare le influenze delle molte variabili in gioco risulta più comodo scomporre la forza risultante nelle sue tre componenti principali: F_c o forza tangenziale, F_p o forza radiale, F_f o forza assiale.



Le forze di taglio possono essere misurate con l'ausilio di un dinamometro e vengono espresse in Newton.

Nuovi prodotti per la Tornitura degli acciai inossidabili

Le esigenze a cui deve far fronte un inserto per la tornitura degli acciai inossidabili sono numerose ed a volte contraddittorie.

L'esigenza fondamentale è quella di evitare la formazione di micro scheggiature che possono portare ad un'usura non uniforme o generare scheggiature a V.

I trucioli duri e tenaci asportano particelle di metallo duro. La forma geometrica degli inserti influenza notevolmente questi effetti, ma le caratteristiche della qualità sono ciò che più conta.

Gli acciai inox più legati (alto valore di PRE) richiedono M.D. resistenti alle scheggiature.

La soluzione è quella di minimizzare la coesione tra materiale da tagliare e materiale da taglio. Con un inserto ricoperto la coesione è di natura fisica e per questo *la Seco ha sviluppato alcune qualità multistrato con una superficie esterna molto liscia per ridurre al minimo il tempo di contatto tra truciolo e tagliente.*

I diversi tipi di rivestimento sono stati studiati per specifiche applicazioni.

TP40 per materiali difficili. PRE>35.

Per gli acciai inossidabili altamente legati, PRE elevato, è stato studiato un rivestimento multistrato con 7 diversi strati di TiC (carburo di Titanio), TiCN (carbonitruro di titanio) e TiN (nitrato di titanio) per uno spessore totale di 5 micrometri (0,005 mm).

Per migliorare ulteriormente la resistenza al martellamento del truciolo, questo tipo di rivestimento è stato applicato ad un substrato tenace.

Il risultato è Seco TP40: la qualità di metallo duro più tenace oggi disponibile sul mercato.

Questa qualità può essere utilizzata per la lavorazione di tutti gli acciai inossidabili e rappresenta la prima scelta per:

- i materiali con i più alti PRE
- le operazioni di tornitura con taglio interrotto.

TP40 ha eccellenti prestazioni anche in operazioni di semifinitura e finitura (MF3) con bassi avanzamenti e profondità di taglio contenute.

Il tipo di rompitruciolo è di primaria importanza e la Seco sta attualmente provando con successo una nuova geometria per operazioni di finitura (SSF>MF.)

Quando si lavorano acciai inossidabili duplex con alti valori PRE , i problemi causati dal tagliente di riporto o dalle conseguenti usure ad intaglio possono essere risolti abbinando una geometria positiva alla tenacità del TP40.

Il principale punto di forza del TP40 è comunque la sua straordinaria resistenza in operazioni di tornitura con taglio interrotto su tutti i tipi di acciai inossidabili.

TP35 per materiali di media difficoltà. PRE<35

Lo stesso tipo di rivestimento, ma con spessore leggermente superiore, è stato utilizzato per applicazioni su acciai inossidabili austenitici mediamente legati, con valori PRE inferiori a 35. E' la qualità Seco TP35.

La prerogativa essenziale del TP35 è l'elevata resistenza all'usura combinata ad un'elevata tenacità. Queste caratteristiche si ottengono grazie ad una nuova tecnologia di sinterizzazione d'avanguardia, utilizzando un substrato tenace in grado di sopportare elevate temperature senza essere soggetto alla deformazione plastica.

Durante la sinterizzazione nel substrato si forma una zona superficiale più tenace. Scheggiature e rotture iniziano sempre con una crepa che si fermerà nello strato superficiale più tenace. Lo strato superficiale è profondo e ricco di cobalto. Inoltre i grani di cobalto sono posizionati parallelamente alla superficie. *Tenacità ed affidabilità sono le caratteristiche principali del TP35.*

TP35 è una qualità per impiego generico e può essere utilizzata sia per finitura che per sgrossatura anche in operazioni con taglio interrotto. *Rappresenta la scelta di base per gli acciai inossidabili in genere per lavorare con velocità di taglio più elevate del TP40.* Con TP35 e geometria MR5 si possono gestire gran parte delle operazioni di tornitura su inox.

Il principale campo d'impiego è comunque la lavorazione degli acciai inossidabili austenitici 316 e soprattutto di valvole e corpi pompa ottenuti per fusione.

TP25 per materiali di minor difficoltà. PRE<22

Quando si lavorano acciai inossidabili scarsamente legati (basso PRE), come austenitici AISI 304 (Precipitation hardened) 17-4PH e acciai martensitici la resistenza alla scheggiatura non è il fattore più importante. *Per questi materiali è stata sviluppata una qualità più resistente all'usura: Seco TP25.*

La principale caratteristica è la capacità di lavorare ad elevate velocità combinata ad un'elevata resistenza alla deformazione plastica.

Lo spessore del rivestimento è superiore rispetto alle altre due qualità, circa 8 micrometri, ma è anche formato da numerosi strati per far fronte a diverse esigenze. Inoltre gli strati di base del TP25, costituiti di TiC, TiCN e TiN, sono protetti da uno strato di Al₂O₃ che rappresenta una barriera termica per le elevate velocità di taglio.

Come già detto, quando si lavorano gli acciai inossidabili, la tenacità è il parametro più importante e TP25 è una qualità tenace, sebbene non come il TP35. La tenacità è stata raggiunta tramite un'altra nuova tecnologia di sinterizzazione. Scaricando la zona superficiale dai fragili carburi cubici e facendoli precipitare più all'interno del substrato, il cobalto migra nella zona superficiale.

La profondità di arresto delle eventuali crepe è inferiore rispetto al TP35 e l'effetto negativo sulla resistenza della deformazione plastica è poco rilevante rispetto alla tenacità acquisita.

TP25 e la geometria MF3, un binomio ampiamente testato, rendono gli inserti adatti a lavorare una vasta gamma di materiali.

Usando TP25 in combinazione con geometrie di taglio più robuste (M5 ed MR7) ad elevate velocità di taglio, si può operare in un'area dove solitamente si usa il TP35 (AISI 316). *TP25, che può essere impiegata anche per lavorazione di acciai al carbonio e di ghise, si è rivelata una qualità veramente versatile.*

Sistema di scelta

Per dare ai clienti Seco la possibilità di trovare il giusto inserto viene proposto un sistema di scelta facilitata.

Selezionando il materiale da lavorare ed il tipo di operazione da effettuare (sgrossatura, lavorazione media o finitura) l'utente è completamente guidato per la scelta dell'inserto (in qualità di metallo duro e geometria specifici) e dei relativi parametri di taglio.

Leghe austenitiche e Duplex

Il valore PRE per le leghe austenitiche e duplex può essere usato per classificare individualmente tali leghe dando così dei parametri di velocità di taglio più precisi. PRE può inoltre essere utilizzato quando si conosce solo la composizione della lega e non si sa a quale gruppo di materiale Seco appartenga.

Leghe martensitiche e ferritiche

Esistono alcuni acciai inossidabili martensitici legati con Ni che hanno mantenuto l'austenite nella matrice martensitica e sono molto più simili alle leghe austenitiche in tornitura.

Queste leghe hanno generalmente un valore PRE pari a 20. Se si classificano tutte le leghe ferritiche e martensitiche in funzione del loro valore PRE (che è basso) si osserva che è possibile lavorarle con qualità più resistenti all'usura e dati di taglio più elevati, tipici degli acciai al carbonio.

Acciai trattati al Ca

Un acciaio inossidabile trattato al Ca può essere classificato con il suo valore PRE. Questo consente poi di scegliere un inserto ottimale con i giusti parametri di taglio. Una qualità più resistente all'usura può comunque essere utilizzata a velocità di taglio più elevate.

Questa scelta può essere utilizzata anche quando si lavorano leghe martensitiche ricotte e ferritiche a basso PRE.

In breve:

Qualità

- TP25 va utilizzato per materiali con:

PRE < 22

gruppo materiali Seco 8

- TP35 per materiali con:

PRE < 35

gruppo materiali Seco 9

- TP40 per materiali con:

PRE > 35

gruppo materiali Seco 10

In breve:

Tipo di operazione:

- Operazioni semplici senza taglio interrotto e superfici grezze in buone condizioni:

geometria - MF3

- Operazioni più difficili, taglio interrotto, superfici grezze o parti tagliate alla fiamma: utilizzare un tagliente più robusto:

geometria - MR7

La geometria MR5 viene scelta per la sua versatilità e può essere impiegata per entrambi i tipi di operazioni in modo accettabile ma non ottimale. TP25-M5 va scelto invece di MR5 per la versatilità anche in applicazioni su acciai al C.

Questa metodologia è illustrata nella brochure Secolor per la lavorazione degli acciai inossidabili.

Velocità di taglio

In genere non è possibile aumentare la durata dello utensile diminuendo la velocità di taglio a causa di scheggiature ed usura ad intagli. Di conseguenza **UTILIZZATE LA VELOCITA' PIU' ELEVATA POSSIBILE** e lasciate che sia la deformazione plastica a porre il limite.

Un altro limite può essere il martellamento del truciolo che è il principale ostacolo per qualità più resistenti all'usura ad elevate velocità.

Se utilizzate le velocità di taglio consigliate e l'utensile resiste pochi minuti significa che ci sono precoci formazioni di scheggiature e di usura ad intagli; questi problemi possono essere risolti usando una qualità più resistente all'usura o diminuendo la velocità di taglio.

Durata utensile

Le velocità di taglio sono relative ad una durata di 20 min., basate sulla valutazione della deformazione plastica e/o dell'usura.

La durata attesa dell'utensile è di 20 minuti quando le condizioni del sistema macchina - componente - utensile sono ottimali. Per lavorazioni difficili con taglio interrotto, la durata può risultare inferiore.

Angolo di taglio

Il modo più semplice per risolvere i problemi di scheggiatura o di usura ad intagli è quello di diminuire lo spessore dei trucioli ed aumentarne la velocità, preferibilmente diminuendo l'angolo di taglio o più semplicemente *aumentando il raggio di punta*.

Raggio di punta

Contrariamente a quanto si pensava, molti test hanno dimostrato che un grande raggio di punta ha un effetto positivo.

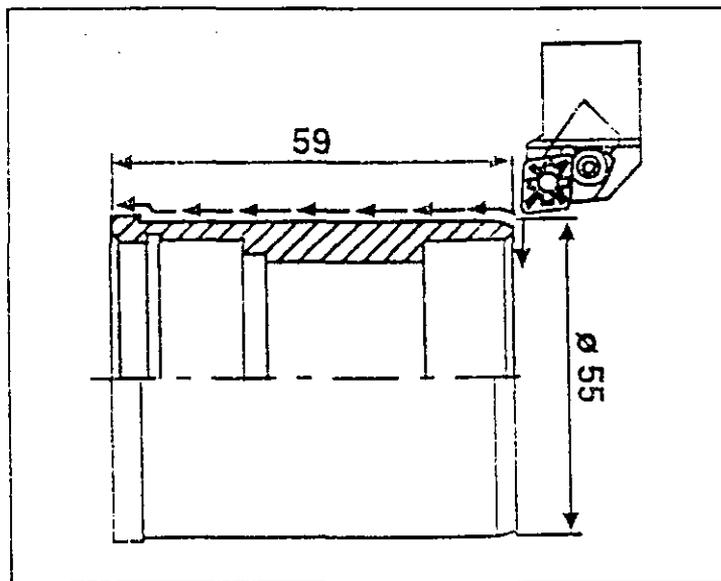
Inoltre la dimensione del raggio di punta non influenza l'incrudimento della superficie del pezzo.

Ciò che deve interessare è l'aumento delle forze radiali che in alcune applicazioni potrebbero porre dei limiti.

**UTILIZZATE IL RAGGIO DI PUNTA PIU' GRANDE
POSSIBILE.**

ACCIAI INOX

Operazione: Sfacciatura e tornitura
 Materiale: Inox austenitico - Gr. Seco 8
 TUBO AISI 304 PRE=19
 Utensile: PCLNL 2525-12
 Inserto: CNMG 120408-xx
 Dati di taglio $a_p=1.5$ mm, $f=0.25$ mm/giro
 $v_c=220$ m/min.
 T.L. $t_e=20$ sec.
 Condizioni: Refrigerante
 Criteri: Bave e/o finitura
 Componente: Boccola

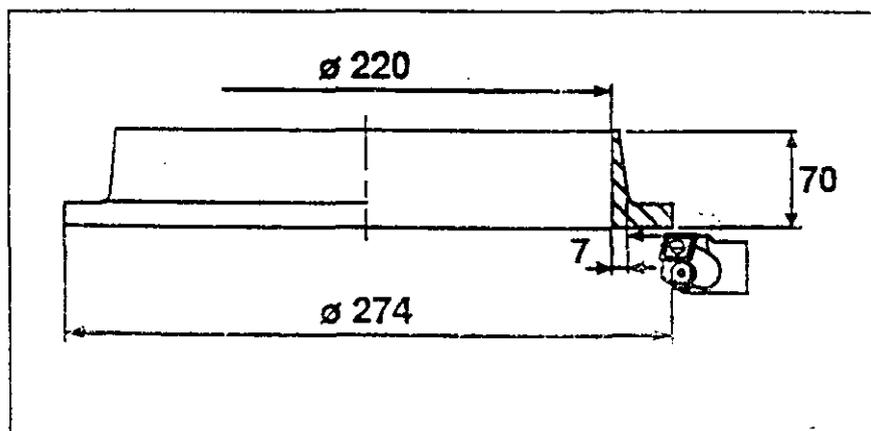


Risultati

Prova	Qualità	Geometria inserti	No pezzi	VB max mm	Note
1	SECO TP25	-MF3	40	0.70	Intagli - bave
2	P25 RICOP.	-NUP	35	1.00	Usura eccessiva
3	SECO TP25	-M5	29	0.95	Usura eccessiva
4	SECO TP30	-MF3	25	1.05	Usura eccessiva

ACCIAI INOX

Operazione: Intestatura
Materiale: Inox austenitico - Gr. Seco 9
Fusione AISI 316 PRE=26
Utensile: PCKNL 2525-12
Inserto: CNMX 120408-xx
Dati di taglio $a_p=3$ mm, $f=0.3$ mm/giro
 $v_c=120$ m/min.
T.L. $t_e=55$ sec.
Condizioni: Refrigerante
Criteri: Finitura o tolleranze
Componente: Flangia

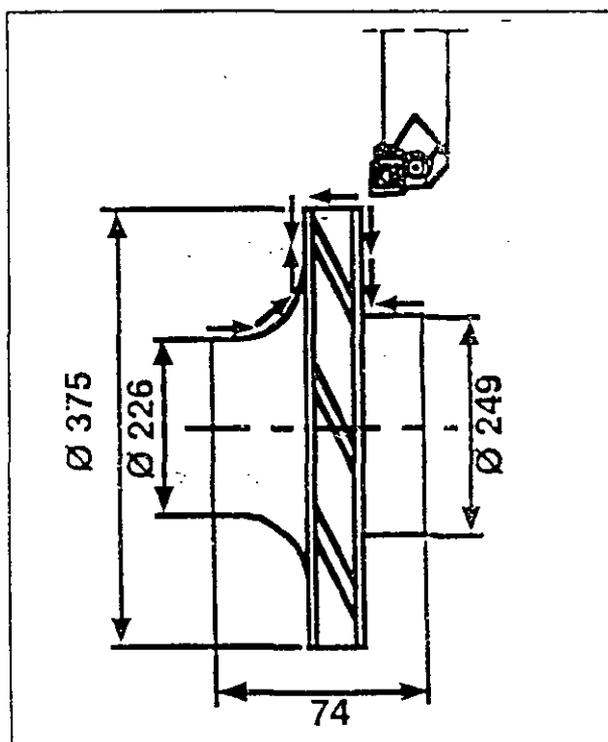


Risultati

Prova	Qualità	Geometria inserti	No pezzi	VB max mm	Note
1	SECO TP35	G-MR5	18	1.39	Bave
2	SECO TP35	G-MR7	16	1.35	Bave
3	P25 RICOP.	M-NHP	15	1.13	Scheggiature
4	SECO TP35	G-MF3	5	0.68	Vibrazioni

ACCIAI INOX

Operazione: Copiatura e spallamenti
Materiale: Duplex (ferritico-austenitico) AISI
329 - Gr. Seco 10 PRE=35
Utensile: PCLNL 3225-12
Inserto: CNMG 120412-xx
Dati di taglio $a_p=2-5$ mm, $f=0.3$ mm/giro
 $v_c=80$ m/min.
Condizioni: Refrigerante
Criteri: Finitura e/o rottura
Componente: Girante pompa



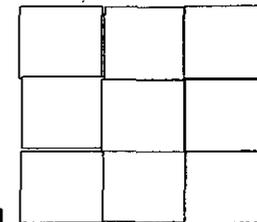
Risultati

Prova	Qualità	Geometria inserti	No pezzi	VB max mm	Note
1	SECO TP40	-MR5	1.0	1.15	Finitura
2	P35 RICOP.	-QM	0.2		Rottura

**Gli acciai inossidabili sono
difficili da lavorare?**

NO!

Con Secolor



LA SCELTA E' FACILE



Dr. Ing. Dario Agalbato
Direttore dell'IGQ - Istituto di Garanzia della Qualità

"SISTEMI QUALITA': ORGANIZZARSI PER LAVORARE MEGLIO"

Incontro tecnico
"Lavorazioni Meccaniche degli acciai inossidabili"
organizzato dal Centro Inox

Milano, 20 Aprile 1994

INTRODUZIONE

La qualità dei prodotti o dei servizi forniti da ogni impresa costituisce indubbiamente uno dei principali fattori di successo sul mercato. Tale qualità deve però mantenersi costante nel tempo, ed essere ottenuta grazie a un continuo controllo e ad un impegno organizzativo costante piuttosto che ad una serie di eventi fortunati. Tale organizzazione aziendale assume, in gergo, il nome di sistema qualità.

Il sistema qualità di una data impresa è determinato dagli obiettivi dell'impresa, dal prodotto o dal servizio e dalle procedure specifiche dell'impresa; conseguentemente il sistema qualità varia da un'impresa all'altra.

Allo scopo di razionalizzare, dal punto di vista generale, i vari approcci al problema del sistema qualità propri dei vari paesi o dei singoli settori industriali, è stata emanata, dalla ISO (International Organisation For Standardization), una serie di norme conosciute come ISO 9000, ISO 9001, ISO 9002, ISO 9003, ISO 9004.

Gli obiettivi fondamentali di tali norme sono:

- chiarire le differenze e le relazioni esistenti fra i principali concetti di qualità;
- offrire delle guide per la scelta e l'utilizzazione di una serie di norme internazionali concernenti i sistemi qualità che possano trovare applicazione per propositi di gestione della qualità interna all'azienda e per propositi di qualità all'esterno dell'azienda.

Esse hanno inglobato cinque concetti fondamentali, di seguito descritti:

<i>Politica qualitativa:</i>	è rappresentata dall'insieme delle intenzioni e delle direttive di una impresa relativamente alla qualità, così come sono state espresse dalla direzione o direttamente dalla proprietà.
<i>Gestione della qualità:</i>	è rispecchiata nella funzione generale di gestione che determina e sostiene le politiche qualitative.
<i>Sistema qualità:</i>	è la struttura organizzativa, con le responsabilità, le procedure, i procedimenti e le risorse necessarie per sostenere e gestire la qualità.
<i>Controllo della qualità:</i>	è l'insieme delle tecniche operative e delle attività che sono impiegate per ottenere i prefissati risultati qualitativi
<i>Garanzia della qualità:</i>	è costituita da tutte le azioni pianificate e sistematiche necessarie per fornire una adeguata fiducia che un prodotto o un servizio soddisfi i requisiti qualitativi richiesti.

L'importanza delle norme internazionali suddette risulta evidente qualora si abbia la percezione che esse sono state formulate sostanzialmente per aiutare le imprese a realizzare i seguenti obiettivi:

- Conseguire e mantenere la qualità del manufatto o servizio prodotto in modo da soddisfare con continuità i desideri dichiarati (o, comunque, impliciti) dell'acquirente;
- dare fiducia al management aziendale che gli obiettivi che esso si prefiggeva in termini organizzativi e di qualità sono stati raggiunti e mantenuti;
- dare fiducia all'acquirente che la qualità che questi si aspettava sul prodotto o servizio fornito è stata raggiunta e si manterrà nel tempo.

La relazione fra i concetti e le definizioni sopra illustrate è riportata nella Figura 1.

Nella stessa figura è mostrata anche l'influenza di aspetti qualitativi esterni ad una impresa (ad esempio i fornitori) sul problema generale del sistema qualità.

Le norme ISO sopra menzionate pubblicate nel 1987 sono state integralmente recepite come norme Europee e pubblicate come serie EN 29000 alla fine dello stesso anno. Con il nome di UNI EN serie 29000 sono pubblicate, in italiano, dall'UNI fin dal 1988 ed hanno costituito, nel 1990, 1991 e 1992 il *best seller* della normativa. Nel seguito ci riferiremo dunque in generale alle norme En della serie 2900. Esse costituiscono una serie di cinque norme di base e di altre norme destinate a settori particolari (servizi) o di ulteriore chiarimento. La serie base è costituita da:

EN 29000: Norme per la gestione della qualità e per la garanzia della qualità. Guide per la loro scelta ed uso.

EN 29004: Guide per la gestione della qualità ed elementi del Sistema della Qualità.

EN 29001: Sistemi della Qualità: modello per la garanzia della qualità nella progettazione, sviluppo, produzione, installazione e servizi

EN 29002: Sistemi della Qualità: modello per la garanzia della qualità nella produzione e nelle installazioni.

EN 29003: Sistemi della Qualità: modello per la garanzia della qualità per i controlli finali e il collaudo.

Il quadro normativo si compone dunque di due norme a carattere esplicativo e di indirizzo per la costituzione di un sistema qualità (EN 29000 e EN 29004). Le altre tre norme (EN 29001, EN 29002 ed EN 29003) hanno invece carattere contrattuale e contengono tutte le prescrizioni riguardanti il sistema qualità del fornitore, graduato in livelli secondo il seguente criterio:

- requisiti che coprono tutte le attività di progettazione, di produzione, di ispezione finale del prodotto, di installazione e di assistenza dopo vendita;
- requisiti che coprono solo le attività di produzione, ispezione, installazione;
- requisiti che coprono solo le attività di ispezione.

Il Manuale della qualità

La figura 3 riporta la cosiddetta *piramide di Grizi* che illustra la relazione gerarchica tra POS, procedure e manuale.

Le normative UNI EN della serie 29000 richiedono che da parte dell'azienda che mette a punto e rende operativo un sistema qualità che sia preparato un documento ufficiale noto con il nome di *manuale della qualità*.

La finalità di tale manuale è quella di poter disporre di un riferimento scritto da cui sia possibile avere una chiara e completa comprensione di tutti gli aspetti del sistema qualità installato conformemente ad una specifica normativa.

Visto in tale ottica, il manuale della qualità non è necessariamente la raccolta delle procedure operative; esso è una cosa diversa in quanto si pone delle finalità diverse.

Infatti esso serve all'interno dell'azienda, ma anche all'esterno dell'azienda per dare una testimonianza di come è stato articolato il sistema qualità e quali provvedimenti organizzativi e procedurali sono stati adottati per conformarsi alla norma di riferimento. Il manuale, quindi, ha un'importante funzione come utile riferimento per la piena comprensione dei principi di garanzia della qualità, mentre per la effettiva e pratica gestione del sistema qualità gli strumenti indispensabili sono le *procedure aziendali*, e le *pratiche operative standard*.

Occorre infine tenere presente che il manuale è un documento che, dovendo rappresentare le modalità e caratteristiche salienti del sistema qualità non solo nella fase iniziale della sua installazione ma anche nel successivo sviluppo, deve essere gestito dinamicamente, ossia deve essere soggetto alle necessarie revisioni che si rendessero necessarie a seguito di mutate condizioni.

Il manuale deve dunque:

- Essere un utile *riferimento*, all'interno dell'azienda, per tutti coloro che hanno una qualche responsabilità nell'ambito del sistema qualità.
- Costituire un documento-chiave per essere prontamente utilizzato dalla committenza per la *qualificazione* dell'azienda.
- Essere uno strumento molto importante, e talvolta decisivo, per lo *sviluppo* delle attività commerciali.
- Costituire un documento fondamentale per la compilazione delle *liste di controllo* essenziali per la conduzione degli *audit* all'interno e all'esterno dell'azienda.

Tenendo quindi presente quanto detto, e considerato che il manuale può e deve essere oggetto di diffusione esterna all'azienda (specie in riferimento ai potenziali committenti), è necessario che nel compilarlo siano tenuti presenti i seguenti criteri:

- *Tutti* gli argomenti contemplati nella norma scelta per il sistema qualità debbono essere oggetto di una qualche trattazione.

- Occorre *evitare* l'utilizzo di procedure o di pratiche operative standard come descrizione di un dato argomento, in quanto ciò, generalmente, risulterebbe troppo oneroso o complicato per chi non ha una completa familiarità della situazione tecnica e organizzativa dell'azienda e dei principi propri della garanzia della qualità (cosa abbastanza consueta da parte della clientela). Oltre a ciò si può anche rischiare di divulgare notizie e dati che fanno parte del *know-how* e quindi della propria capacità competitiva.
- E' necessario che ciascun argomento sia sviluppato in maniera *comprensibile* e *completa* in sé, senza rimandare a documenti, procedure, pratiche operative standard di difficile o impossibile accesso da parte di molti cui il manuale è destinato.
- Uno sviluppo troppo *sintetico* dei vari argomenti può rendere incomprensibile ai più il sistema qualità e, soprattutto, le finalità che esso si pone e quindi generare rifiuto e sfiducia.
- Dal punto di vista estetico il manuale deve risultare *serio* e *piacevole* ed invogliare alla sua lettura.

Occorre infine tenere presente che il manuale è un documento che, dovendo rappresentare le modalità e caratteristiche salienti del sistema qualità non solo nella fase iniziale della sua installazione ma anche nel successivo sviluppo, deve essere gestito dinamicamente, ossia deve essere soggetto alle necessarie revisioni che si rendessero necessarie a seguito di mutate condizioni.

Per conformarsi a tale situazione, è bene che il manuale sia confezionato in modo tale da poter cambiare agevolmente le pagine senza dover eliminare completamente il manuale stesso.

Circa le modalità di distribuzione del manuale della qualità, tradizionalmente ne vengono impiegate due:

Distribuzione controllata: I destinatari di edizioni controllate (specificamente quelli che fanno parte della organizzazione aziendale) acquisiscono il diritto di avere tutti gli *aggiornamenti* e le *revisioni* al manuale stesso che man mano si rendono necessarie.

Distribuzione non controllata: I destinatari di edizioni non controllate (in particolare quelli che non fanno parte dell'azienda) possiederanno il manuale aggiornato al momento della sua consegna *che non sarà più soggetto* ad aggiornamenti e a revisioni.

Le Procedure

Passando in rassegna i vari criteri che formano la norma di riferimento (ad esempio la UNI EN 29002), ci si accorgerà che la maggioranza di essi riguardano aspetti del sistema che debbono essere oggetto di apposite procedure se si vogliono inserire nella logica del sistema qualità.

Solo alcuni dei criteri (come ad esempio quelli sulla responsabilità della direzione, sui principi del sistema qualità, ecc.) non richiedono il ricorso a procedure in quanto

richiamano in effetti solo delle vere e proprie dichiarazioni o descrizioni di fatti organizzativi o gestionali.

Analogamente, i criteri che si riferiscono al controllo della produzione ed al controllo del processo di produzione vengono risolti, generalmente, nell'ambito della logica delle pratiche operative standard e della loro amministrazione ed applicazione.

In tale ottica, di seguito vengono elencate e descritte alcune delle più importanti procedure GQ.

VERIFICHE ISPETTIVE DEL SISTEMA (AUDIT)

Riguarda il modo utilizzato da determinati enti aziendali per selezionare e qualificare il personale che dovrà svolgere anche il compito di ispettore del sistema (auditor); le modalità per programmare e preparare tramite liste di controllo le visite ispettive (audit) di diversi settori aziendali; i rapporti che debbono essere preparati e le azioni correttive da pianificare a seguito di eventuali non-conformità metodologiche rilevate.

RIESAME DEL CONTRATTO

E' la descrizione dettagliata delle modalità operative che determinati enti aziendali impiegano per poter acquisire degli ordini che presentino il minimo rischio qualitativo nel rispetto della politica dichiarata per la qualità.

APPROVVIGIONA- MENTO

Per i materiali ed i servizi acquistati e che costituiscono parte integrante degli aspetti qualitativi finali dei prodotti posti sul mercato (o li influenzano), occorre determinare criteri appropriati per la selezione e qualificazione dei fornitori (per la preparazione della così detta *lista dei fornitori autorizzati* e stabilire le metodologie per una chiara e inequivocabile richiesta di approvvigionamento o per eventuali controlli in entrata.

IDENTIFICAZIONE E RINTRACCIABILITA'

I materiali, i semilavorati ed i prodotti che fluiscono nell'ambito del processo produttivo debbono essere identificati allo scopo di minimizzare il pericolo di mescolamenti e perdita dell'identità qualitativa. I criteri di identificazione ed i *lotti minimi di identificazione* vanno scelti caso per caso in funzione della complessità e tipologia produttiva.

E' importante che, tramite l'identificazione, sia possibile rintracciare facilmente tutta la documentazione conservata in grado di ricostruire la *storia produttiva* del lotto di identificazione.

STATO DELLE PROVE, CONTROLLI E COLLAUDI

E' la descrizione di tutte le prassi operative, della loro sequenza e della esecuzione pratica dello svincolo delle prove, controlli e collaudi che debbono essere superati per poter inoltrare prodotti alle fasi produttive successive o al cliente.

**CONTROLLO
APPARECCHIATURE DI
MISURA E PROVE**

Riguarda le modalità messe in atto dall'azienda per assicurare che tutte le apparecchiature che servono per compiere controlli qualitativi o per evidenziare e guidare determinati processi produttivi siano in grado di fornire la precisione progettuale. Si tratta quindi di un sistema organizzativo che consenta periodiche tarature o calibrature eseguite dal sistema nazionale di taratura o da enti aziendali correttamente qualificati.

NON CONFORMITA'

Il sistema qualità ha, fra i suoi obiettivi principali, anche quello di individuare e correggere tutte le cause di potenziali insuccessi qualitativi. Ciò è possibile se viene opportunamente organizzato un razionale sistema di raccolta di tutte le così dette *non-conformità* che riguardino i materiali, i prodotti ed anche le metodologie proprie del sistema; che sia possibile la loro catalogazione e che siano prontamente attivate tutte le più opportune azioni per la loro risoluzione.

AZIONI CORRETTIVE

Costituiscono l'insieme dei provvedimenti metodologici ed organizzativi che sono intrapresi dall'azienda per raccogliere le cause che possono attivare meccanismi o processi negativi per la qualità e studiarne la loro eliminazione tramite, ad esempio, formali *piani di miglioramento*.

**CONTROLLO DELLA
DOCUMENTAZIONE**

Riguarda tutte le prassi che debbono essere attuate per consentire la razionale formulazione, approvazione, revisione, distribuzione ed archiviazione di tutta la documentazione ufficiale del Sistema qualità.

**ADDESTRAMENTO DEL
PERSONALE**

E' la descrizione dei provvedimenti organizzativi che l'azienda mette in atto per assicurare un costante addestramento di personale specifico su specifici temi del Sistema qualità al fine di una corretta gestione del Sistema stesso. Qualora nell'ambito aziendale vengano eseguiti anche dei così detti *processi speciali* (saldature, trattamenti termici speciali, controlli non distruttivi, ecc.) dovranno anche essere attivate le metodologie per la qualificazione del relativo personale da parte di istituzioni ufficiali esterne.

Le Pratiche Operative e le Istruzioni

Sono *pratiche operative* (PO) tutti i dati e le informazioni contenuti in documenti aziendali ufficiali, che nel loro complesso descrivono le metodologie standard di impiego dei materiali, degli impianti e del personale per produrre ogni semilavorato o prodotto. Tali descrizioni debbono soddisfare le normali esigenze di tutti gli *enti* aziendali.

Le PO sono normalmente suddivise in sei categorie, riferite alla descrizione di:

- Prodotti
- Materiali
- Impianti
- Requisiti operativi
- Sequenze di lavorazione (cicli)
- Metodi.

Le PO devono essere descritte in documenti che abbiano i seguenti requisiti:

- Essere identificati chiaramente, approvati e resi disponibili, con la necessaria autorità, affinché vengano sempre utilizzati.
- Essere disponibili per gli operatori interessati al loro uso
- Essere datati e tenuti aggiornati.
- nei luoghi di lavoro dove questi documenti sono in uso deve esistere solo l'edizione più aggiornata.

Ciascun responsabile aziendale, direttamente o tramite un suo rappresentante, è tenuto alla gestione corrente delle PO (e naturalmente del loro elenco) del proprio stabilimento. Gestione non vuole solo dire controllo sull'uso, ma analisi critica costante di documenti, di concerto con gli operatori che li usano, per valutare i possibili miglioramenti.

L'elenco delle PO aziendali deve riportare le seguenti informazioni concernenti ciascuna pratica operativa standard:

- Titolo e codifica
- Ente responsabile dell'elaborazione e dell'emissione
- Ente responsabile dell'approvazione
- Documento nel quale è rappresentata o dovrebbe essere rappresentata
- Elenco degli enti (e delle persone) che debbono ricevere copia delle pratiche operative standard.

La messa a punto del sistema qualità

Per installare un sistema qualità basato sui principi propri della garanzia della qualità non è però sufficiente formalizzare procedure e scrivere il manuale.

La cosa più importante consiste nel *mettere in atto efficacemente* ciò che è stato sviluppato sulla carta in modo che i comportamenti dei componenti la comunità aziendale vengano sostanzialmente modificati al fine di rendere possibile la conquista di una nuova cultura nei riguardi della Qualità.

Il mezzo principale per conseguire tale obiettivo è costituito dall'*addestramento*, che permette a tutti indistintamente di conoscere il proprio lavoro, di svolgerlo

correttamente, di mantenersi aggiornati e di essere motivati nello svolgimento delle proprie mansioni.

Ne consegue, quindi, che tutti coloro che in azienda hanno il compito di organizzare, coordinare, e realizzare i programmi di addestramento relativi al Sistema qualità debbono rendersi conto della loro cruciale responsabilità e quindi agire conseguentemente.

Un'altra caratteristica importante del sistema qualità risiede nella conservazione di *specifiche documentazioni* riguardanti l'attuazione di tutte le procedure aziendali. Tali documentazioni costituiscono un patrimonio importantissimo per l'azienda, garantiscono la possibilità di analizzare gli elementi dell'intero processo produttivo, dall'acquisizione dell'ordine alla consegna al cliente, minimizzando gli errori. Queste registrazioni debbono essere tenute a disposizione degli auditor interni, degli auditor degli enti di certificazione, ma molti clienti importanti le richiedono per valutare, in maniera diretta, le capacità dell'azienda.

Con questo spirito, che non deve però rendere un'unità produttiva simile ad un ministero, si riesce a conservare per un determinato periodo di tempo (solitamente 10 anni) tutta la documentazione aziendale, gestendola in maniera strettamente controllata, per trarne costantemente il massimo beneficio. I documenti relativi a ciascuna commessa, con particolare cura per gli aspetti produttivi e qualitativi, costituiscono, in ultima analisi la miglior guida aziendale per soddisfare il proprio cliente, che è in definitiva uno dei principali obiettivi del sistema qualità.

Certificazione

Il sistema qualità costituisce la base fondamentale per la concessione da parte di organismi indipendenti di opportune certificazioni, che sono essenziali per garantire che specifici prodotti presenteranno un adeguato comportamento alle esigenze di impiego.

In Italia la funzione della certificazione per le aziende produttrici di metalli e prodotti in metallo è svolta, quale terza parte indipendente dall'IGQ — Istituto Italiano di Garanzia della Qualità per i Prodotti Metallurgici. Esso opera secondo i criteri europei definiti per gli organismi di certificazione.

L'IGQ ha la forma giuridica di una associazione riconosciuta dallo Stato e non persegue scopo di lucro.

Come tutti gli organismi di certificazione indipendenti l'IGQ è espressione di tutte le parti interessate al processo di certificazione e cioè produttori, utilizzatori, pubblica amministrazione e enti di controllo, scientifici e di normazione.

Fattori di successo e insuccesso nella messa a punto di un sistema qualità aziendale "certificabile"

Innanzitutto va chiarito che, in questo contesto, con le parole "successo" o "insuccesso" ci si riferisce esclusivamente alla certificazione. In altre parole, nulla esclude che ci si possa dotare di un sistema qualità di successo, che centra in pieno gli obiettivi

qualitativi fissati, indipendentemente dalla conformità ad una normativa specifica, e quindi dalla certificazione.

Le norme della serie EN 29000 tuttavia forniscono, oltre che un'utile guida per identificare i fattori che concorrono ad influenzare la qualità del prodotto o servizio fornito, anche dei criteri per valutare il livello qualitativo di un fornitore sempre più diffusi e accettati a livello internazionale.

La certificazione di terza parte indipendente rappresenta per migliaia di aziende in tutto il mondo un modo efficace ed economicamente efficiente per dimostrare ai propri clienti di possedere i requisiti tecnico-organizzativi richiesti. Il grande risparmio di risorse rappresentato dalla riduzione o dall'eliminazione delle attività di qualificazione e di controllo dei fornitori sta finalmente portando anche i grandi committenti pubblici e privati a riconoscere il ruolo della certificazione di sistema qualità.

Detto questo, a giustificazione della necessità di sottoporre il proprio sistema qualità alla valutazione di *sconosciuti ficcanaso*, è importante evidenziare alcuni dei problemi che si incontrano comunemente.

Le aziende possono dividersi in due categorie:

- aziende che sono già dotate di un sistema qualità, solitamente conforme alle specifiche dei loro maggiori clienti (particolarmente se si tratta di clienti del settore metalmeccanico).
- aziende operanti su mercati in cui solo recentemente ha cominciato a diffondersi l'esigenza di fornitori con sistema qualità certificato.

Nel primo caso il mestiere del valutatore risulta molto semplificato; si ha a che fare con interlocutori esperti e con sufficiente conoscenza della normativa. Le modifiche da apportare al sistema per renderlo conforme ai criteri di certificazione sono di solito lievi, e tutto procede speditamente.

Più difficili possono presentarsi i casi appartenenti alla seconda categoria. Sovente si tratta di aziende di piccole dimensioni, che si sono affidate ad un consulente esterno per la realizzazione del proprio sistema e sono ancora frequenti i casi di aziende che non hanno ben valutato i criteri espressi dalle norme.

I sistemi qualità "sovradimensionati"

Per quanto possa sembrare paradossale, sono molto frequenti i casi in cui le difficoltà nascono da interpretazioni troppo restrittive delle norme. Queste danno luogo a sistemi sovradimensionati, con manuali e procedure complessi, che contengono prescrizioni di difficile applicazione. Spesso inoltre questa complessità non è giustificata dalla relativa semplicità del processo produttivo o dagli effettivi requisiti qualitativi del mercato.

In questi casi si riscontrano non conformità relative alla mancata applicazione delle stesse regole che l'azienda si è data e, in queste condizioni, la certificazione non può essere concessa.

Per evitare situazioni di questo tipo è bene ricordare, soprattutto se si fa ricorso all'assistenza di un consulente esterno, che il ruolo del consulente non è quello di fornire un

prodotto preconfezionato, ma di fornire aiuti, stimoli, metodologie e modelli di riferimento in un processo in cui è pur sempre l'azienda che svolge il ruolo di protagonista, per la realizzazione di un sistema "su misura".

I sistemi qualità "tecnocentrici"

Un ulteriore problema che si incontra con una certa frequenza, a volte associato al precedente, nasce dall'equivoco di fondo che il sistema qualità, la sua gestione e i problemi connessi riguardino le sole funzioni aziendali direttamente coinvolte nell'attività produttiva.

Ciò può dipendere a volte da uno scarso interesse ed impegno da parte della direzione aziendale, che porta di conseguenza all'insufficiente coinvolgimento delle funzioni commerciale, acquisti, personale, spedizioni, magazzino ecc., oppure ad un concetto di qualità, ormai superato, legato esclusivamente alle caratteristiche tecniche del prodotto.

Secondo questa visione delle cose, la qualità è un problema esclusivamente dei tecnici di produzione e processo, che non riguarda gli altri livelli dell'organizzazione.

Vorrei invece sottolineare che il sistema "certificabile" secondo EN 29000 deve invece avere le caratteristiche di un sistema globale per la soddisfazione delle esigenze del cliente; deve quindi fornire garanzie non solo sulle caratteristiche tecniche del prodotto, ma anche sulla corretta gestione ed evasione degli ordini, sulla impossibilità che si verifichino mescolamenti o che il prodotto possa essere danneggiato in magazzino o durante il trasporto, che i tempi e le modalità di consegna siano rispettati, e così via.

Per concludere, anche se l'elenco dei problemi potrebbe continuare, credo che si possa affermare che il "successo" di un sistema qualità, sempre per quanto riguarda la sua certificazione secondo una norma della serie EN 29000, sia determinato essenzialmente da tre fattori:

- a) Impegno e coinvolgimento della direzione aziendale, che porta come conseguenza l'impegno e il coinvolgimento dell'intera struttura organizzativa.
- b) Competenza e autorità del responsabile aziendale del sistema qualità.
- c) Attenzione nel valutare ed interpretare i criteri della normativa alla luce delle necessità reali dell'azienda e del mercato in cui si trova ad operare.

Consulenza per la qualità?

Il sistema qualità deve nascere *su misura* per le esigenze aziendali, quindi non può nascere senza il coinvolgimento da parte dei vertici aziendali degli operatori dei vari livelli coinvolti (tutti in generale!), ma spesso per motivi di indisponibilità e comunque di opportunità è necessario rivolgersi ad un esperto esterno, un consulente. Sebbene le associazioni di categoria svolgano un importante ruolo di assistenza e l'UNI abbia recentemente varato un programma di qualificazione delle società di consulenza per i sistemi qualità aziendali, va posta molta attenzione nella scelta del consulente: ce ne sono infatti di bravi e di ciarlatani!

La cosa importante è capire che il consulente non può sostituirsi all'azienda, il suo compito essendo quello di fornire aiuti, stimoli, metodologie e modelli di riferimento. L'azienda deve partecipare attivamente comunque a questa fase e il risultato deve essere quindi assorbito e fatto proprio da tutto il tessuto aziendale. In altri termini un sistema

qualità non è un prodotto che si possa comprare preconfezionato, ci si può fare aiutare ma fondamentalmente bisogna farlo, e viverlo, in prima persona.

E' chiaro inoltre che deve esistere una netta divisione fra consulenza e certificazione, per ovvi motivi non solo di etica professionale ma anche di credibilità della certificazione nei confronti dei clienti delle aziende certificate.

La necessità di questa distinzione viene sempre più sottolineata sia a livello internazionale che nazionale costituendo infatti uno degli elementi discriminanti per l'accreditamento da parte del SINCERT.

Questo non vuol dire che gli enti di certificazione non debbano diffondere cultura della Qualità, conservando un ruolo attivo nello sviluppo dei concetti della qualità nel tessuto industriale del Paese. Questa attività si esplica attraverso una presenza costante a livello di organismi nazionali ed internazionali ai dibattiti su questi argomenti, e nei contatti più diretti con le imprese e le loro organizzazioni attraverso veri e propri punti di riferimento, i cosiddetti sportelli tecnologici promossi dal CISQ,

Essi hanno la funzione di fornire tutte le indicazioni e tutto l'aiuto necessario agli imprenditori che vogliano intraprendere il cammino verso la certificazione. Alcuni sono già attivi, come quelli di Massa, Brescia, Milano, Bolzano, Firenze e Napoli, sono tutti di tipo multisettoriale e gestiti dalle associazioni industriali locali o consorzi ed organizzazioni ed essi legati. Altri sportelli sono di prossima apertura, ma mancano ancora punti di riferimento altamente specializzati, che apportino anche un ampio contenuto di settore.

Questo compito può essere egregiamente svolto anche da Istituti come Centro Inox che costituisce un riferimento continuo per le aziende del settore quale consulente tecnico per le applicazioni e gli usi dell'acciaio inossidabile.

FIGURA 1: La spirale della Qualità

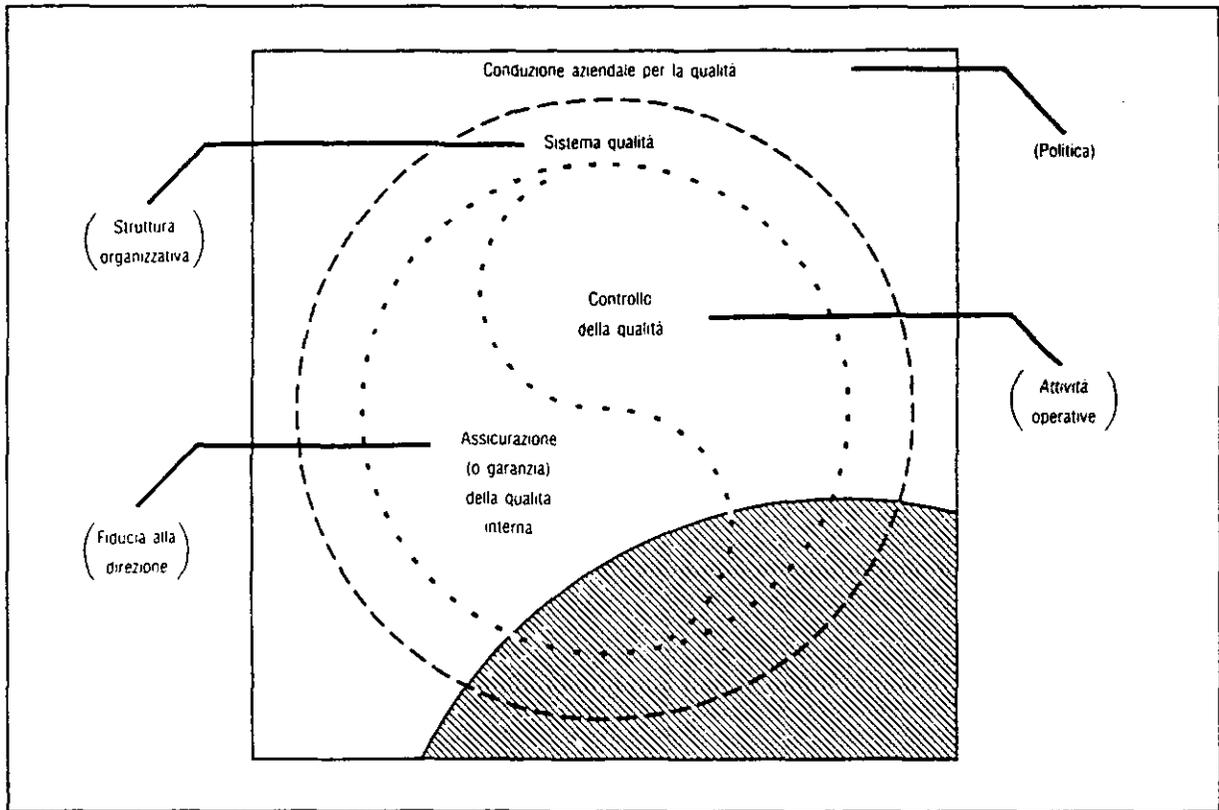


FIGURA 2: I criteri della garanzia della qualità secondo la normativa del gruppo UNI EN 29000

N.	29004	Criteri	9001	2	3
1	▪	Responsabilità della Direzione	▪	▪	▪
2	▪	Principi del Sistema qualità	▪	▪	▪
3	▪	Verifiche ispettive del sistema	▪	▪	-
4	▪	Aspetti economici-Costi della qualità	-	-	-
5	▪	Qualità a livello commerciale-Riesame contratto	▪	▪	-
6	▪	Controllo della progettazione	▪	-	-
7	▪	Approvvigionamento	▪	▪	-
8	▪	Controllo del processo produttivo	▪	▪	-
9	▪	Controllo della produzione	▪	▪	-
10	▪	Identificazione e rintracciabilità	▪	▪	▪
11	▪	Stato delle prove, controlli e collaudi	▪	▪	▪
12	▪	Prove, controlli e collaudi	▪	▪	▪
13	▪	Controllo apparecchiature di misura e prove	▪	▪	▪
14	▪	Non conformità	▪	▪	▪
15	▪	Azioni correttive	▪	▪	-
16	▪	Movimentazione, immagazzinaggio, imballaggio, consegna	▪	▪	▪
17	▪	Assistenza dopo vendita	▪	-	-
18	▪	Controllo documentazione della qualità	▪	▪	▪
19	▪	Documenti di registrazione della qualità	▪	▪	▪
22	▪	Addestramento del personale	▪	▪	▪
21	▪	Sicurezza e responsabilità del prodotto	-	-	-
22	▪	Tecniche statistiche	▪	▪	▪
23	-	Prodotti forniti dal committente	▪	▪	-

FIGURA 3: La piramide di Grizi

