

❖ CORSO DI “Gestione della qualità”



Facoltà di Ingegneria

CAPACITA' DI PROCESSO (*PROCESS CAPABILITY*)

Carlo Noè

Università Carlo Cattaneo
Istituto di Tecnologie

e-mail: cnoe@liuc.it

❖ CAPACITA' DI PROCESSO

Il problema fondamentale per garantire in produzione il rispetto delle specifiche progettuali è la scelta del processo di produzione “**capace**”, in grado cioè di consentire il raggiungimento dello scopo suddetto non trascurando il fatto che i risultati possono variare, anche nel caso di parti prodotte consecutivamente e/o automaticamente.

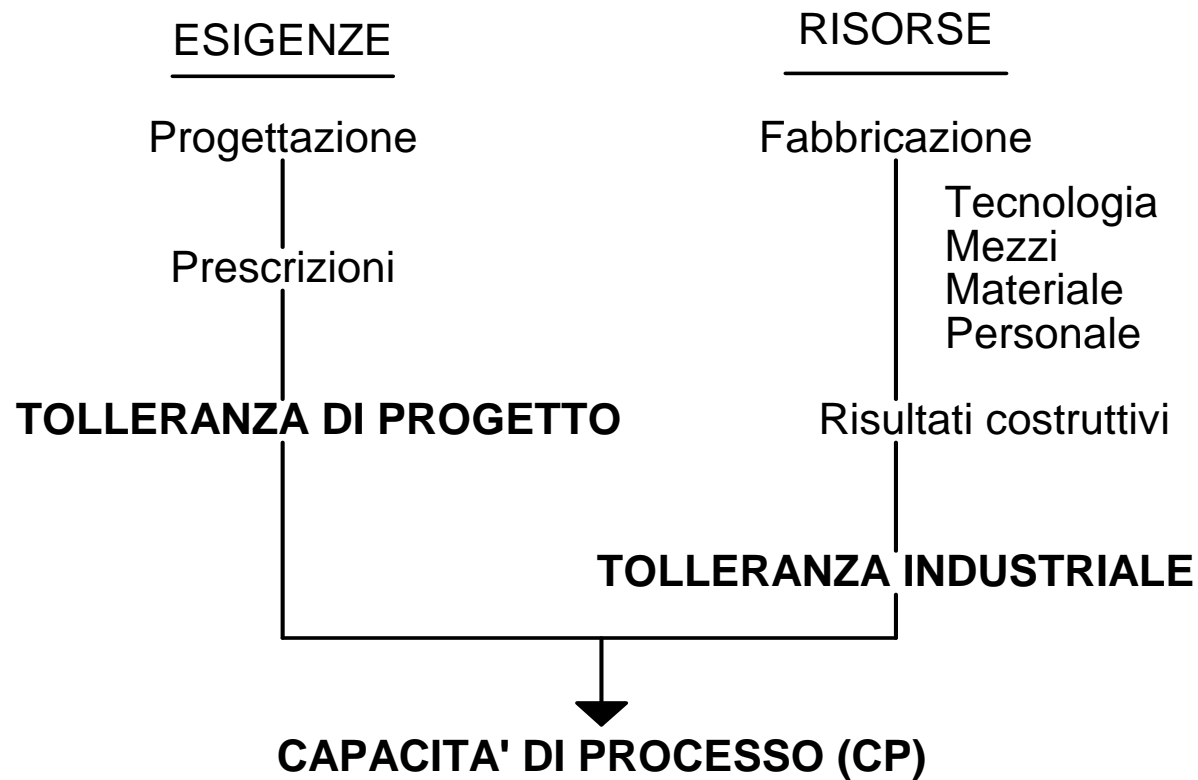
❖ CAPACITA' DI PROCESSO

In sostanza ogni processo è caratterizzato dalla sua **Tolleranza Industriale** che si può determinare attraverso un'indagine sistematica. La tolleranza industriale di un processo dipende infatti da più elementi – la tecnologia impiegata, il materiale in lavorazione, il mezzo operatore (utensile) impiegato, l'operatore –, che concorrono a determinare il risultato finale.

Il confronto della tolleranza industriale con la **Tolleranza di Progetto** imposta (le specifiche) consente di valutare la capacità di processo e di decidere di conseguenza se impiegarlo o meno per le operazioni da svolgere.

❖ CAPACITA' DI PROCESSO

Lo schema di riferimento per valutare la **Capacità di Processo** o **Process Capability** è dunque il seguente:



❖ CAPACITA' DI PROCESSO

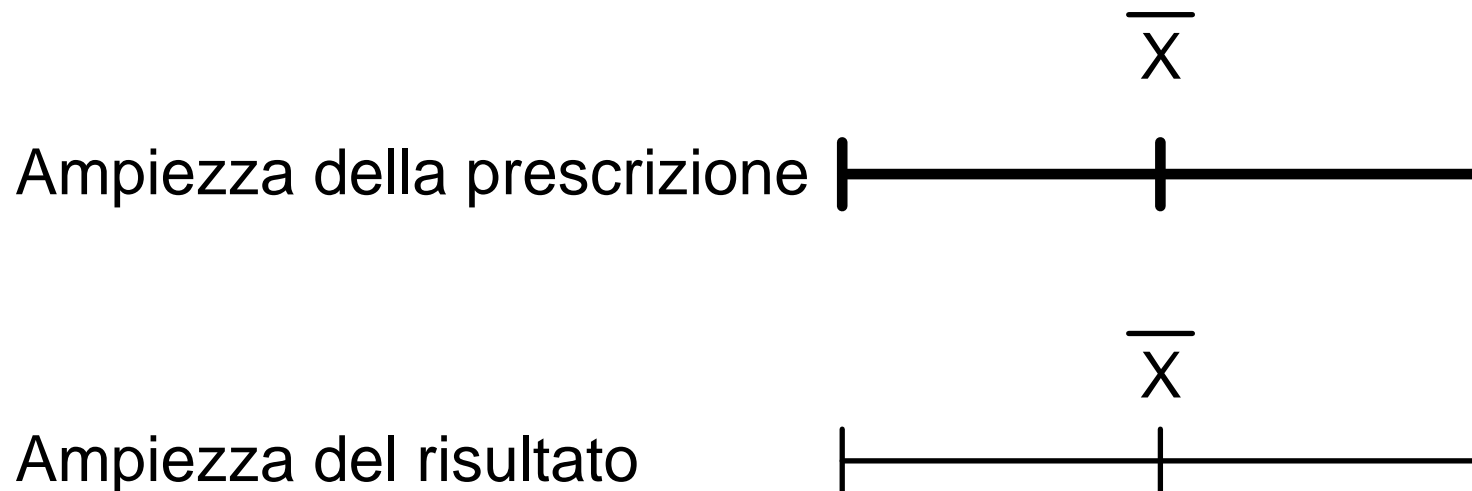
La **Capacità di Processo (CP)** è il parametro che stabilisce i limiti di un sistema di produzione in confronto alla rispondenza alle specifiche delle parti realizzate:

$$CP = \frac{\text{Specifica (campo di tolleranza di progetto)}}{\text{Risultato (campo di tolleranza del risultato)}}$$

❖ CAPACITA' DI PROCESSO

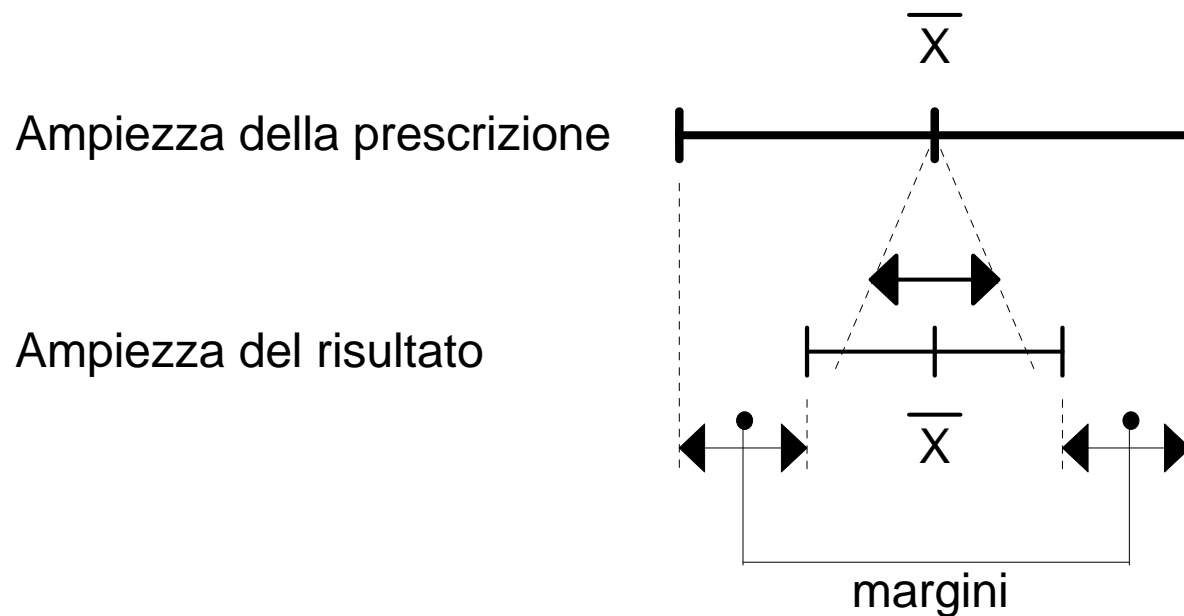
Se **CP = 1**, il campo dei risultati riscontrati è pari all'ampiezza della tolleranza richiesta.

Ammesso che il valore medio sia coincidente, non si avrà produzione di scarto.



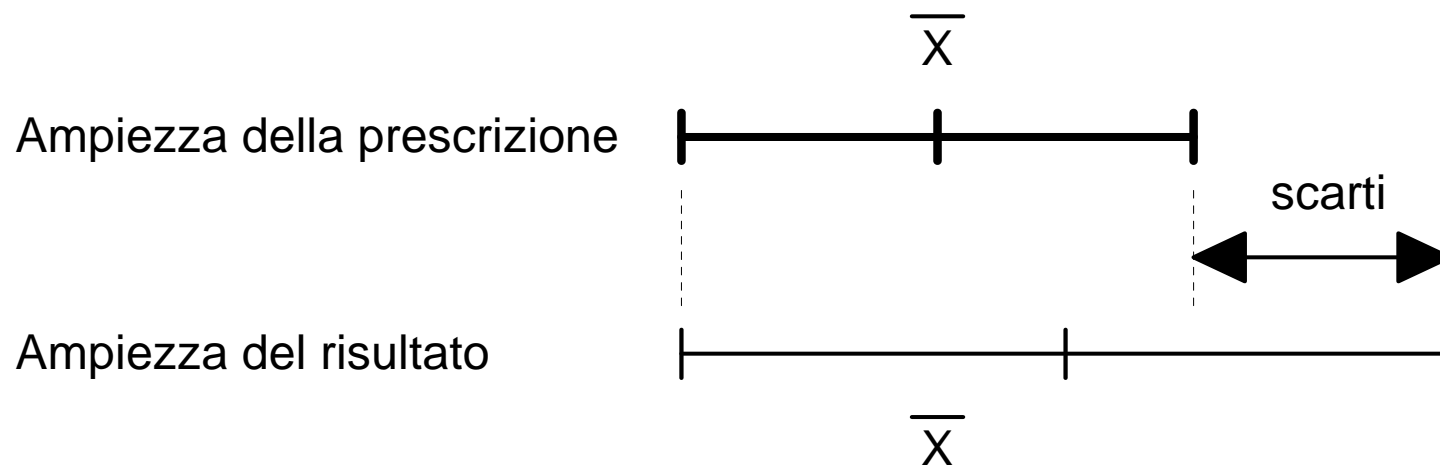
❖ CAPACITA' DI PROCESSO

Se **CP > 1**, il campo dei risultati riscontrati è inferiore alla tolleranza richiesta. Significa che le specifiche si rispettano ugualmente con risultati inferiori. La cosa si traduce in pratica nella possibilità di recuperare margini di produttività.



❖ CAPACITA' DI PROCESSO

Se $CP < 1$, la tolleranza richiesta è inferiore all'ampiezza del campo dei risultati; questo significa che sicuramente ci sarà della produzione di scarto in percentuale dipendente dalla variabilità della distribuzione di frequenza.



❖ TOLLERANZA INDUSTRIALE

Come agiscono i vari elementi che concorrono a determinare la **tolleranza industriale** ?

Ogni **macchina operatrice** (tecnologia) che si impieghi è caratterizzata, per come è stata costruita, dalla propria **tolleranza naturale**, vale a dire dalla propria precisione.

I **materiali** in lavorazione generano variabilità nei risultati perché **non** sono del tutto **uniformi**.

Il **mezzo operatore (utensile)** impiegato è soggetto ad usura; di conseguenza i risultati derivano nel tempo in funzione della legge di usura. Visto che deve essere scelto o progettato e data per nota la legge di usura, le tolleranze di costruzione del mezzo operatore possono essere assegnate in modo da portare la tolleranza industriale allo stesso livello della tolleranza di progetto.

L'**operatore** Per il momento non lo si considera.

❖ TOLLERANZA INDUSTRIALE

Tolleranza naturale

La **tolleranza naturale** esprime la variabilità che possiede un sistema produttivo o una macchina di operare, entro un determinato campo di tolleranza, senza alcun intervento correttivo manuale, e considerando le prestazioni del sistema o delle macchine non affette da fattori esogeni. Per convenzione si assume che la tolleranza naturale abbia una ampiezza pari a:

$$T_{\text{nat}} = \pm 3s$$

Dove **s** = scarto tipo della grandezza intorno alla media

Si ricorda che nell'intervallo **$\pm 3s$** è compreso il 99,73% di quanto prodotto.

Variazioni medie del materiale

Le variazioni del materiale possono dipendere da:

- irregolarità della forma e delle dimensioni,
- proprietà meccaniche,
- composizione chimica,
- tasso di umidità,
-

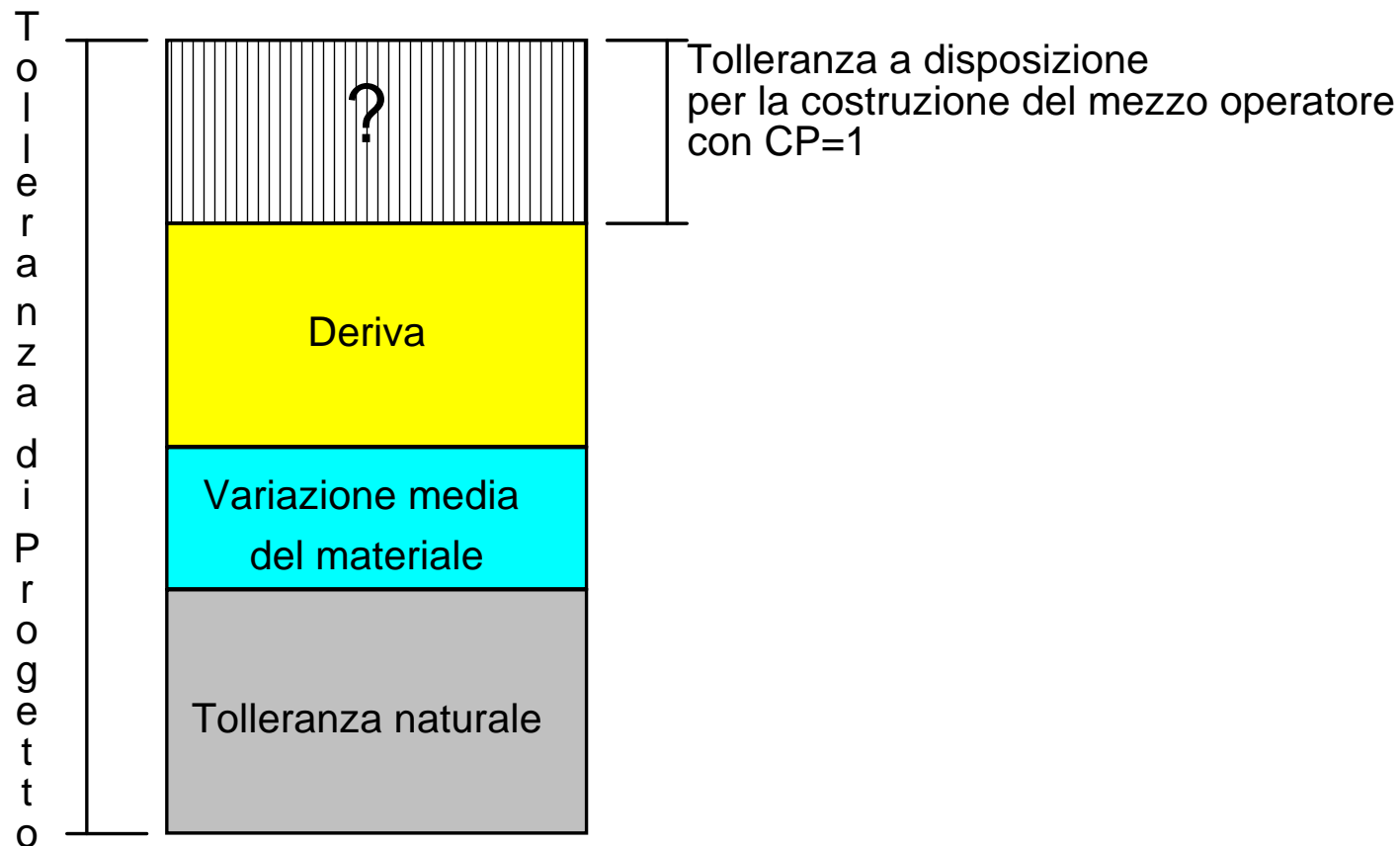
Provocano una variabilità V con uno scarto tipo v dal valore medio tale che $V = \pm 3v$ per comprendere il 99,73% di quanto prodotto.

❖ TOLLERANZA INDUSTRIALE

macchina operatrice	⇒	tolleranza naturale
operatore	⇒	
materiale	⇒	variazione dei valori medi
mezzo operatore	⇒	tolleranza di costruzione del mezzo
usura	⇒	deriva dei valori medi

❖ TOLLERANZA INDUSTRIALE

Nello schema seguente sono evidenziate le componenti della tolleranza industriale in confronto con la tolleranza di progetto.



Tolleranza di costruzione del mezzo operatore

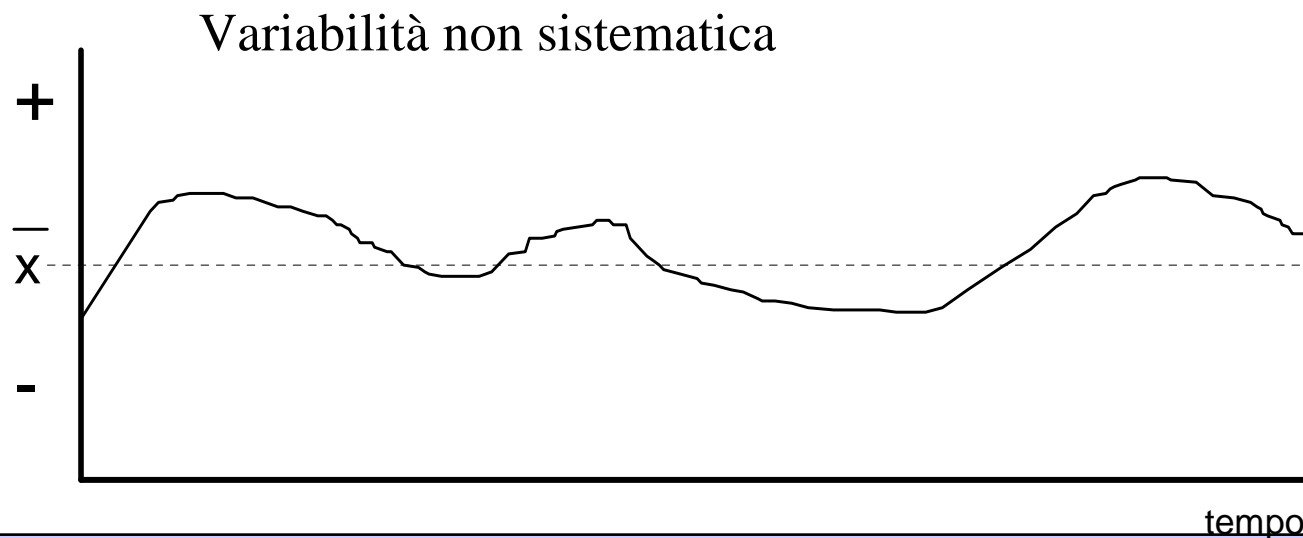
Significa che nel disegno costruttivo del mezzo operatore alla quota che determinerà il risultato dovrà essere assegnata un campo di tolleranza adeguato.

Saranno quindi accettati tutti i mezzi operatori che presenteranno misure di quella quota comprese nella tolleranza. Naturalmente la misura più probabile sarà quella centrale, le altre saranno man mano sempre meno probabili fino a quelle corrispondenti ai valori estremi secondo una distribuzione gaussiana.

Deriva dei valori medi

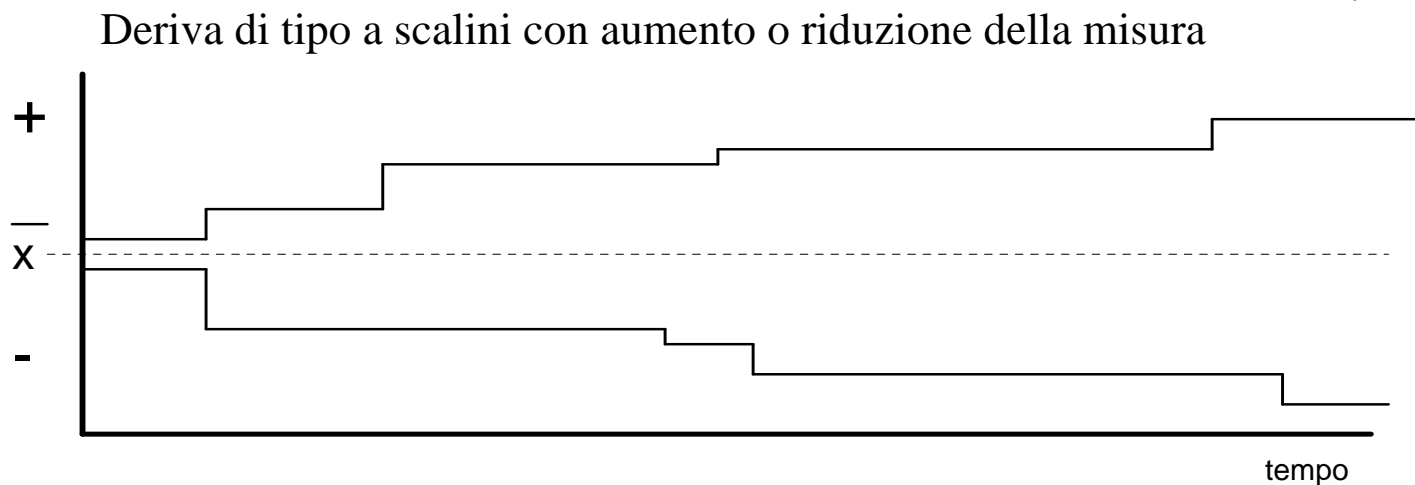
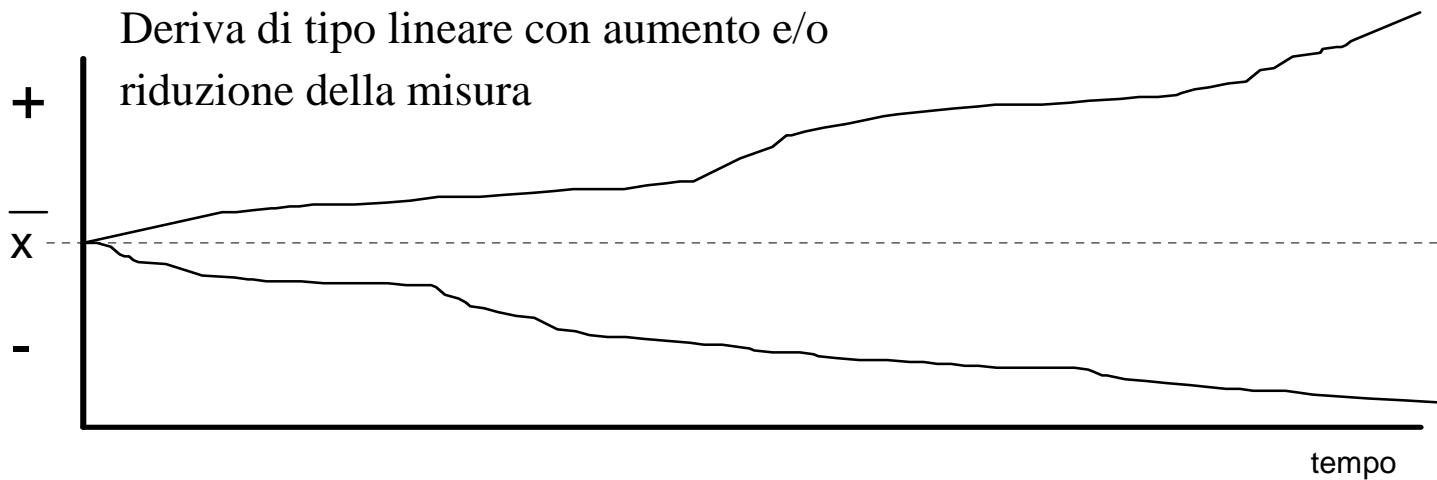
La **deriva** è lo scostamento progressivo dai valori iniziali della misura, dovuto all'usura del mezzo operatore (o della macchina); la direzione della deriva può essere sistematica che non sistematica.

Esempi dei tipi di derivate sono i seguenti:



❖ TOLLERANZA INDUSTRIALE

Deriva dei valori medi



❖ CAPACITA' DI PROCESSO

Per la presenza del fenomeno della deriva sistematica i risultati variano tendenzialmente con il volume cumulato della produzione realizzato con lo stesso mezzo operatore soggetto a usura.

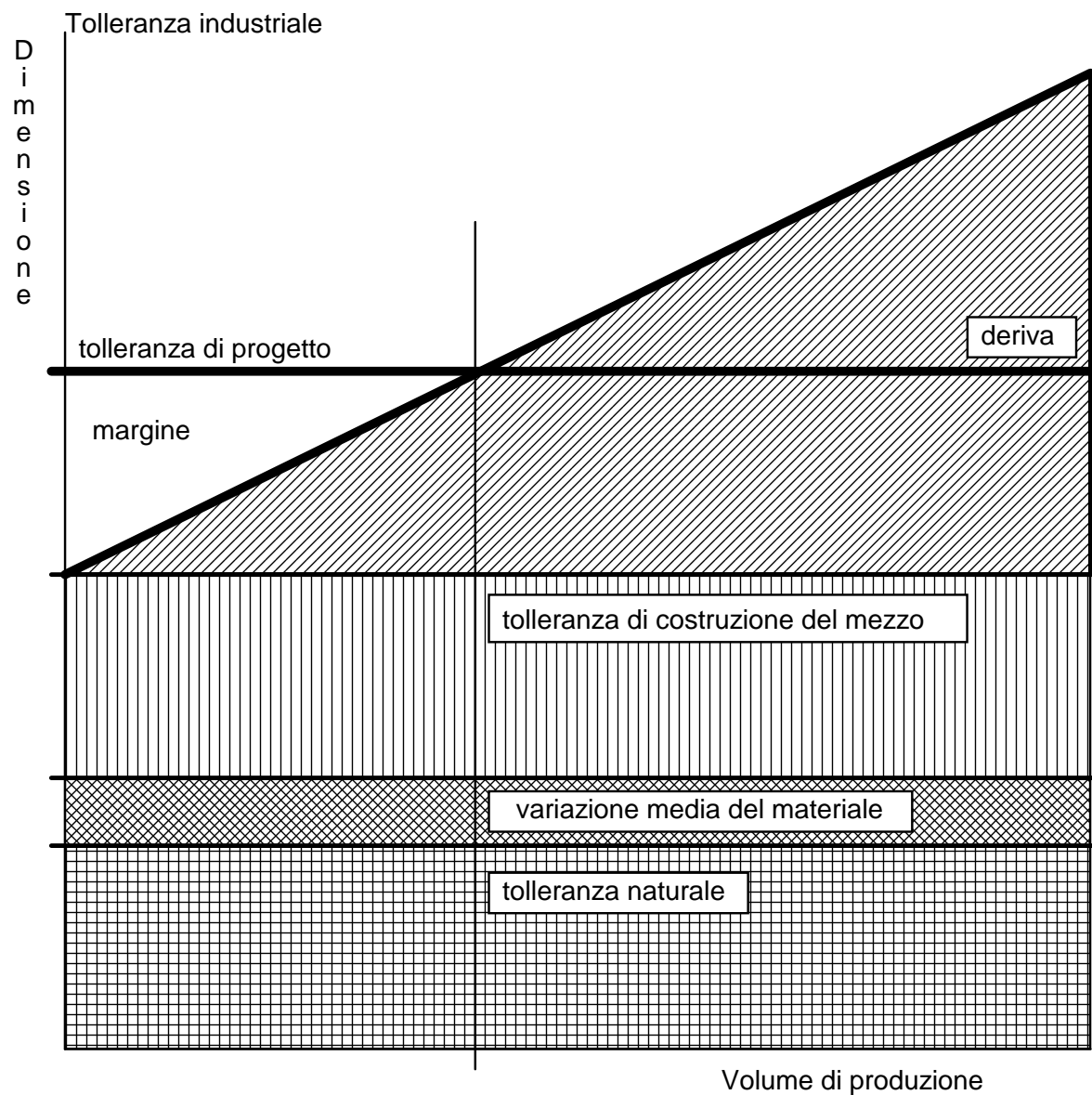
Pertanto, come si può notare nel grafico seguente, in fase di definizione della tolleranza industriale se le componenti “tolleranza naturale”, “variazione media del materiale” e “tolleranza di costruzione del mezzo operatore” devono essere considerate costanti in relazione al volume cumulato della produzione; l'effetto dell'usura invece è nullo quando il mezzo operatore è nuovo e cresce praticamente in modo regolare col volume di produzione, almeno fino a quando il mezzo operatore non collassa.

Si arriverà in ogni caso all'n-sima produzione quando l'effetto dell'usura farà sì che il valore della tolleranza industriale sarà pari a quello della tolleranza di progetto.

Che cosa succeda quando si arriva all'n-sima produzione ?

Come ci si dovrebbe comportare ?

❖ CAPACITA' DI PROCESSO



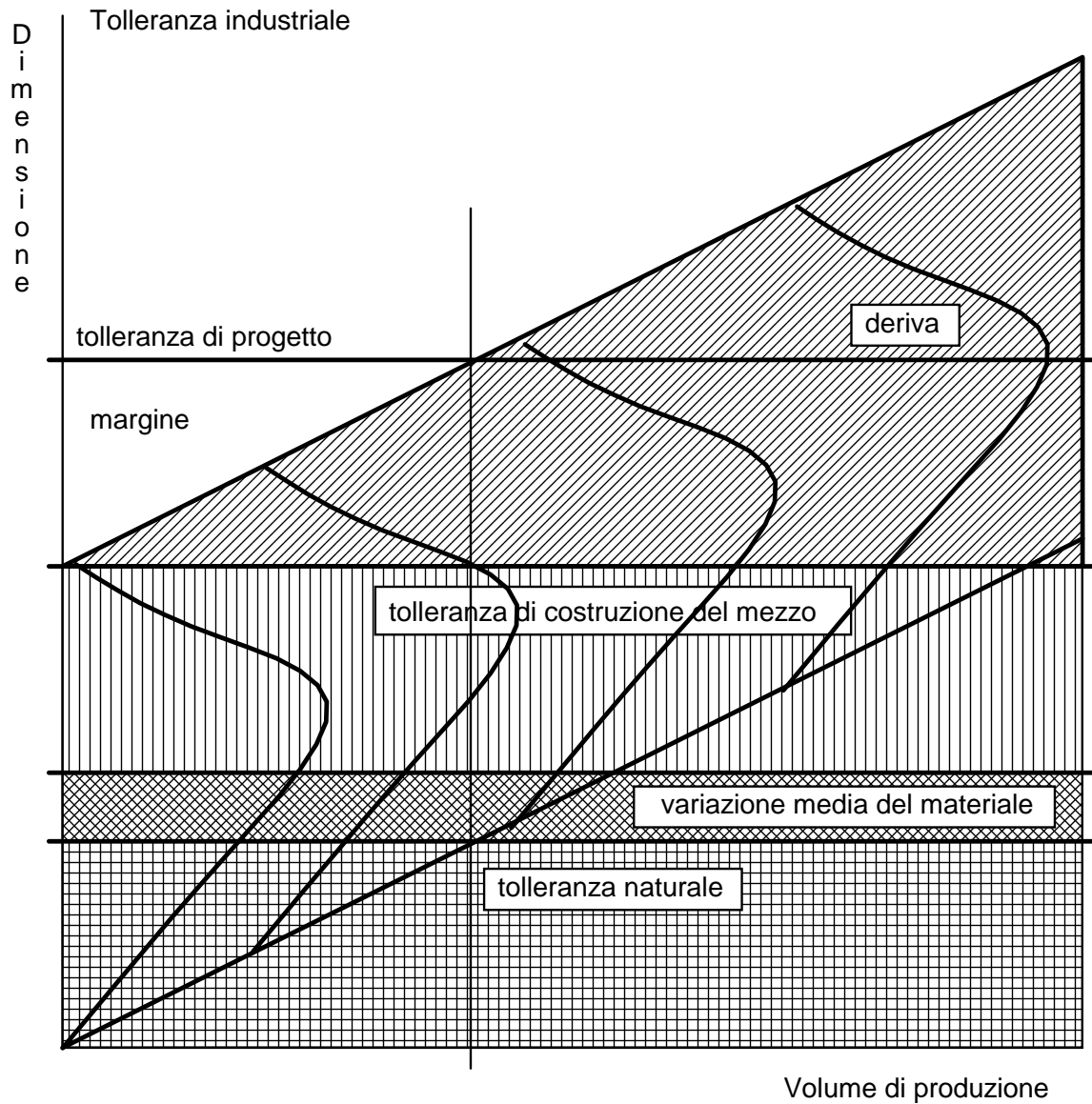
❖ CAPACITA' DI PROCESSO

In realtà la fascia che rappresenta la componente “tolleranza naturale” indica che il risultato, qualora dipendesse da questa sola componente, può variare in un campo di valori delimitato dai due estremi con una probabilità di avere un valore qualsiasi secondo una distribuzione gaussiana. Discorso analogo per le altre due componenti “variazione media del materiale” e “tolleranza di costruzione del mezzo operatore”.

In definitiva, dato che le tre distribuzioni sono dello stesso tipo, l'ampiezza del campo di variazione possibile del risultato vale la somma delle tre fasce sempre con una probabilità di avere un valore qualsiasi secondo una distribuzione gaussiana.

Si aggiunge poi l'effetto deriva che, come si può notare nel caso illustrato dal grafico seguente, non modifica la curva di distribuzione delle probabilità ma innalza i limiti inferiore e superiore del campo di variazione possibile del risultato.

❖ CAPACITA' DI PROCESSO



❖ CAPACITA' DI PROCESSO

Che cosa succeda quando si arriva all'n-sima produzione ? Come ci si dovrebbe comportare ?

All'n-sima produzione uno degli estremi della curva di distribuzione delle probabilità del risultato viene a corrispondere con uno degli estremi del campo della tolleranza di progetto. Quindi l'n-sima produzione risponde ancora sicuramente alle specifiche, ma la produzione n-sima + 1, dati il progressivo innalzamento del limite superiore della tolleranza industriale e il conseguente superamento del limite superiore della tolleranza di progetto, avrà una probabilità di non rispettare le specifiche pari alla porzione di area della gaussiana corrispondente delimitata dal livello superiore della tolleranza di progetto.

Occorrerà pertanto decidere se continuare con lo stesso mezzo operatore accettando una probabilità sempre crescente di avere produzione di scarto oppure di sostituire il mezzo operatore e ricominciare dalla situazione iniziale.

❖ CAPACITA' DI PROCESSO

Il miglioramento della capacità di processo CP è evidentemente funzione della riduzione della tolleranza industriale.

Ogni elemento della tolleranza industriale dipende da diverse funzioni o enti aziendali che devono intervenire con obiettivi ben definiti.

elemento	funzioni/enti	aree di intervento
Tolleranza naturale	metodi, manutenzione	ciclo di lavorazione, caratteristiche della macchina
Variazione media materiale	acquisti, fornitori, controllo in accettazione	qualità materie prime, affidabilità fornitori, abilità controlli e collaudi
Tolleranza costruzione mezzo	progettazione, attrezzatura	dimensionamento, precisione costruttiva
Deriva	progettazione, trattamenti	scelta materiale, trattamenti termici

❖ CAPACITA' DI PROCESSO

L'effetto operatore

L'operatore in linea di massima non influisce sull'ampiezza del campo dei risultati o meglio il suo comportamento non è normalmente tale da farlo assimilare a quello delle altre componenti.

Può però influire in ogni caso, dato che è l'operatore a regolare la macchina operatrice, sulla collocazione del campo di variazione del risultato sulla scala della grandezza misurata.

La conseguenza non desiderata è che, quand'anche il processo fosse capace, gli errori che può commettere l'operatore possono generare produzione di scarto. In pratica il campo di variazione del risultato può collocarsi, con almeno un estremo non compreso nel campo della tolleranza di progetto, anche se può essere completamente al suo interno.