INRiM
ISTITUTO NAZIONALE
DI RICERCA METROLOGICA
www.inrim.it

Misurare per decidere

La scienza della misura, la misura della scienza, CDT, 2024-06-18

Sommario

- Incertezza di misura
- Regole decisionali
- L’incertezza per gestire
- Conclusioni

Riferimenti normativi

Documenti generali interdisciplinari

- VIM – Vocabolario Internazionale di Metrologia
  - JCGM 200 (gratis dal sito del BIPM)
  - ISO/IEC Guide 99 (dal sito ISO)
  - UNI CEI 70099 (dal sito UNI, in italiano)
- GUM – Guida all'espressione dell'incertezza
  - JCGM 100 (gratis dal sito del BIPM)
  - ISO/IEC Guide 98-3 (dal sito ISO)
  - UNI CEI 70098-3 (dal sito UNI, in italiano)
- Verifica di conformità
  - JCGM 106 (gratis sul sito del BIPM)
  - ISO/IEC Guide 98-4 (dal sito ISO)

Guide ISO/IEC disponibili gratis al www.iso.org/iso_iec_Guides

Documenti specifici del settore dimensionale (ma di validità assai più generale)

- Regole decisionali: default
  - ISO 14253-1:2017
  - UNI EN ISO 14253-1:2018
- Regole decisionali: alternative
  - ISO/TR 14253-6:2012
  - UNI ISO/TR 14253-6:2017
- Metodo PUMA
  - ISO 14253-2:2011
  - UNI EN ISO 14253-2:2011

INRiM
ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA

L’incertezza di misura:

nemica o amica

(che noia da calcolare …)

(fa risparmiare tempo e soldi!)

Risultato di misura

UNI CEI 70099:2008 Vocabolario Internazionale di Metrologia – Concetti fondamentali e generali e termini correlati (VIM)

2.9
risultato di misura

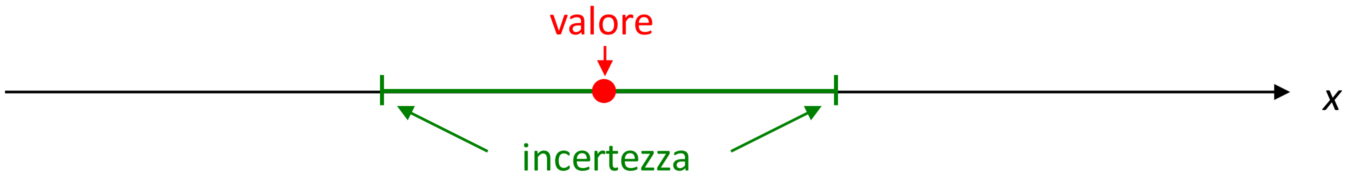
insieme di valori attribuiti a un misurando congiuntamente a ogni altra informazione pertinente disponibile

…

NOTA 2 Generalmente un risultato di misura è espresso come un unico valore misurato e un'incertezza di misura. …

…

- Dunque, il *risultato di misura* non è un unico valore, ma un *insieme di valori*
- Esso è di solito espresso come un *valore misurato* e un'*incertezza di misura*
- Se consideriamo il risultato di misura come un intervallo lungo l'asse della grandezza cui si riferisce, il *valore* indica la collocazione dell'intervallo sull'asse, l'incertezza la sua ampiezza



Significato dell’incertezza

- L’incertezza quantifica la qualità del risultato di misura
  - minore l’incertezza, migliore il risultato di misura
  - se una misurazione molto accurata, costata moltissimo, non è qualificata dall’incertezza, non viene valorizzato lo sforzo
  - se di una misurazione poco accurata, ma di costo contenuto, non s’esprime l’incertezza, si rischia che chi la utilizza per prendere decisioni non se ne renda conto, felice del risparmio, e fallisca nella decisione

Come caratterizzare l'incertezza?

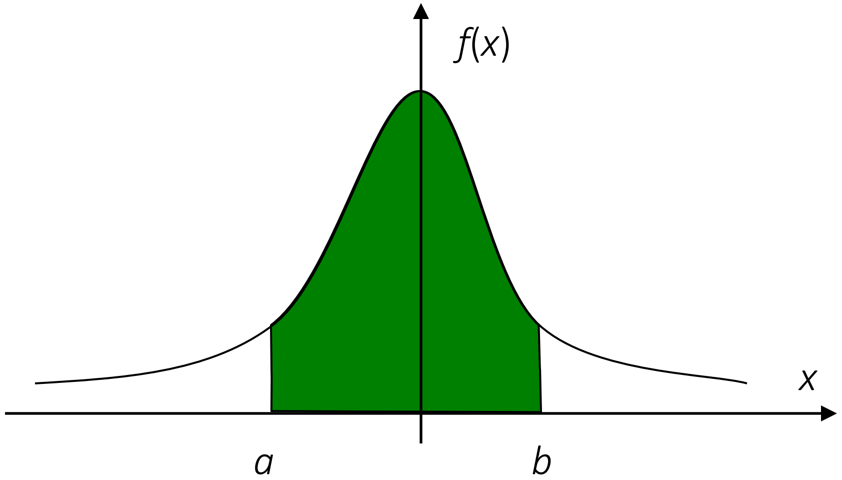
- La GUM introduce un approccio chiaro:
  - un *valore misurato* (*valore di una grandezza che rappresenta un risultato di misura*, VIM 2.10) è una variabile casuale
- La giustificazione di ciò è che, così come osservando il risultato del lancio di un dado, anche ripetuto, non si può concludere nulla di certo sul dado, osservando un valore misurato non si può concludere nulla di certo sul *misurando* (*grandezza che s'intende misurare*, VIM 2.3)
- La conseguenza operativa è enorme: la teoria della probabilità (che tratta delle variabili casuali), è disciplina
  - ben conosciuta da secoli, con una letteratura vastissima
  - che dispone di strumenti matematici per tutte le necessità del metrologo per il calcolo dell'incertezza (e molto di più)
  - $\Rightarrow$ nulla da inventare (semmai qualcosa da studiare … ☺)

Cassetta degli attrezzi …

- Significa quindi che per trattare d’incertezza occorre innanzi tutto ricuperare secoli di letteratura e teoria?
- In realtà bastano pochi “attrezzi probabilistici”
  - da comprendere e dominare
  - a costituire una sorta di “cassetta degli attrezzi” per l’incertezza

INRiM ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA

Come si caratterizza una variabile casuale?



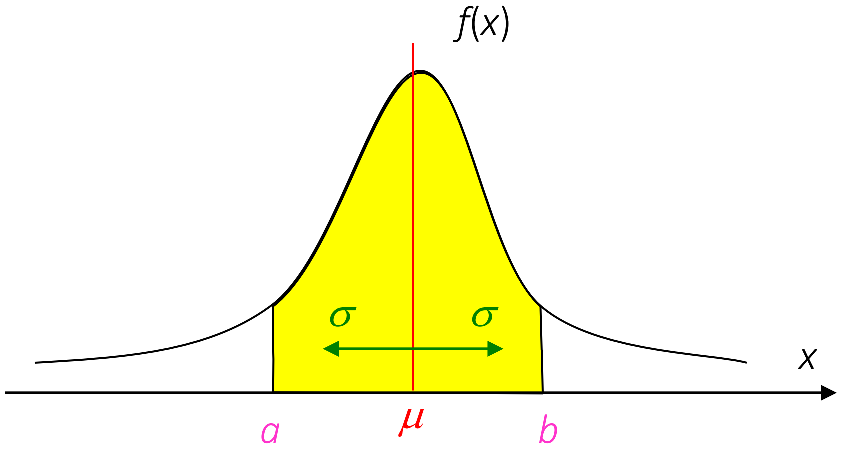
$$y = f(x)$$

$$p\{a \le x \le b\} = \int_a^b f(x)dx$$

$$p\{-\infty \le x \le \infty\} = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$$

- Una variabile casuale è completamente caratterizzata dalla sua *densità di probabilità* (spesso chiamata semplicemente *distribuzione*)
- L'area sottesa dalla curva su un determinato intervallo, $p\{a \le x \le b\}$, esprime la probabilità che la variabile ricada in quell'intervallo
- Applicando questo all'intero asse *x*, discende la *proprietà di normalizzazione*

Dalla distribuzione discendono tutti i suoi parametri descrittivi



$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx = \mathrm{E}[x]$$

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x-\mu)^2 f(x) dx = \mathrm{E}\left[(x-\mu)^2\right]$$

$$\int_{I_p} f(x) dx = p$$

- *Valore medio*, o *atteso*, μ: media di tutti i valori *x*, ciascuno pesato secondo la sua probabilità
- *Varianza*, σ^2: media quadratica degli scarti di tutti i valori *x* rispetto al valor medio, ciascuno pesato secondo la sua probabilità
- Intervallo di fiducia, I_p: intervallo [*a*,*b*] la cui probabilità è pari a *p*

Dalla distribuzione all'incertezza

Risultato di misura: $x_0 \pm U$

Valore medio, m

Intervallo di fiducia, $I_{95\%}$
(semiampiezza)

Scarto tipo, σ = incertezza tipo, u

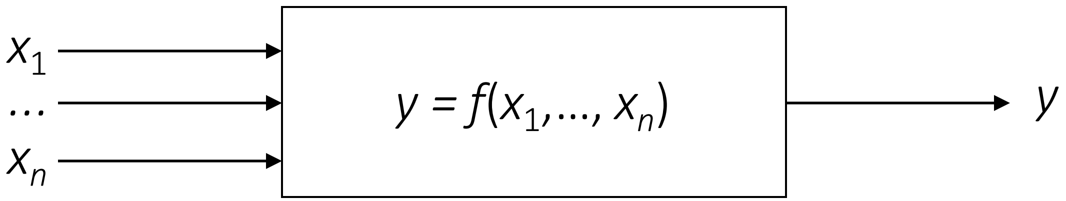
$I_{95\%} \propto \sigma$, in dipendenza dal tipo di distribuzione

$U = ku$

Alcuni termini sono ribattezzati

Teoria della probabilità		Incertezza	
Valor medio	μ, m	Valore medio Valore di misura	μ, m
Varianza	σ^2	Varianza	u^2
Scarto tipo	σ	Incertezza tipo	u
Intervallo di fiducia	I	Intervallo di copertura Incertezza estesa	U
Livello di fiducia	k	Livello di copertura	k

Passo 1: modello della misurazione



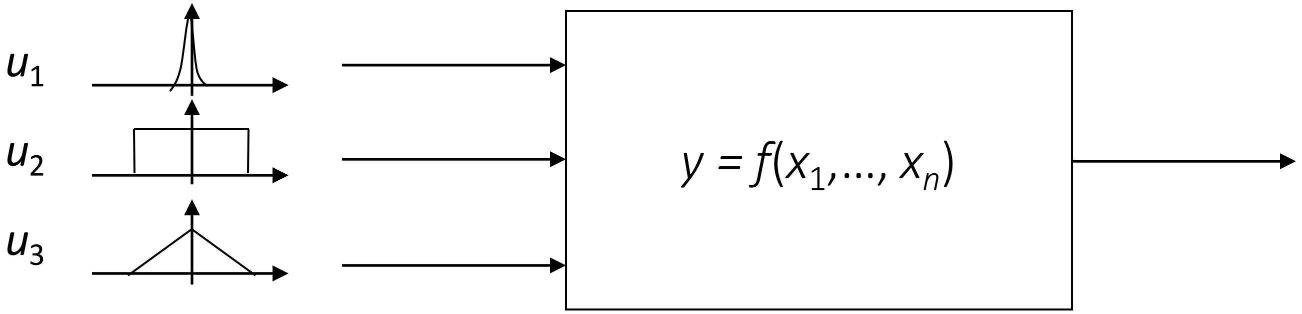
- Scrivere il modello della misurazione, $y = f(x_1,\ldots, x_n)$, che lega le variabili d'ingresso $x_1,\ldots, x_n$ all'uscita y
  - individuare tutte e sole le variabili d'ingresso che sono significative, cioè non trascurabili
  - descriverne la relazione analitica con l'uscita
  - tipicamente è il vero scoglio al calcolo dell'incertezza: non riguarda la teoria della probabilità, ma la conoscenza dei fenomeni fisici sottostanti

Passo 2: calcolo dei coefficienti di sensibilità

- Se la variabile d'ingresso x_i varia di una piccola quantità Δx_i, varierà anche l'uscita di una piccola quantità Δy
- Il rapporto incrementale $c_i = \Delta y / \Delta x_i$ (più esattamente $c_i = \partial y / \partial x_i$), detto *coefficiente di sensibilità*, quantifica la sensibilità dell'uscita all'ingresso
- Se il modello è noto analiticamente in modo completo, basta derivare per ciascun ingresso, e calcolare nel punto misurato
- È anche possibile stimare per via sperimentale, lasciando invariati tutti gli ingressi tranne uno, e osservando le variazioni dell'uscita

INRiM
ISTITUTO NAZIONALE
DI RICERCA METROLOGICA

Passo 3: stima delle incertezze delle variabili d’ingresso



- Per ognuna delle variabili d’ingresso, occorre stimare l’incertezza
  - la distribuzione completa,
  - o almeno lo scarto tipo
- Esse sono di categoria A o B, cioè valutate
  - per via statistica (approccio frequentista)
  - A priori (approccio Bayesiano)

Passo 4: comporre la tabella del bilancio ed effettuare i calcoli

x_i	$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$ / u.m.	*incidenza*
x_1 x_2 … x_n	Stimati al passo 3.	Calcolati al passo 2.	Colonna prodotto $c_i u(x_i)$	
		$u(y)$	?	100 %

- Le colonne $u(x_i)$ e c_i sono disomogenee dimensionalmente
- La colonna $u_i(y)$ ***deve*** essere omogenea dimensionalmente (si può "fattorizzare" l'unità di misura nell'intestazione)
- Sebbene non strettamente necessario, conviene aggiungere la colonna dell'incidenza percentuale
- Come calcolare l'incertezza tipo $u(y)$?

INRiM ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA

Passo 5: propagazione e calcolo dell’incertezza tipo *u*(*y*)

- La teoria della probabilità ci dice che la varianza dell’uscita dipende *solo* dalle varianze d’ingresso, e *non* dalle distribuzioni
  - a patto che il modello sia lineare, o linearizzabile
  - enorme semplificazione, perché i calcoli si possono fare con semplici *valori* (le varianze), e non con *funzioni* (le distribuzioni)
- Risulta semplicemente la somma quadratica (variabili scorrelate)
- In tabella, basta sommare quadraticamente la colonna $u_i(y)$

$$u(y) = \sqrt{u_1^2(y) + \ldots + u_n^2(y)} = \sqrt{\Sigma_i u_i^2(y)}$$

INRiM
ISTITUTO NAZIONALE
DI RICERCA METROLOGICA

Somma quadratica

x_i	$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$ / u.m.	*incidenza*
x_1 x_2 … x_n	Stimati al passo 3.	Calcolati al passo 2.	Colonna prodotto $c_i u(x_i)$	
		$u(y)$	$\sqrt{\Sigma u_i^2(y)}$	100 %

Passo 6: calcolo dell'incertezza estesa $U(y)$

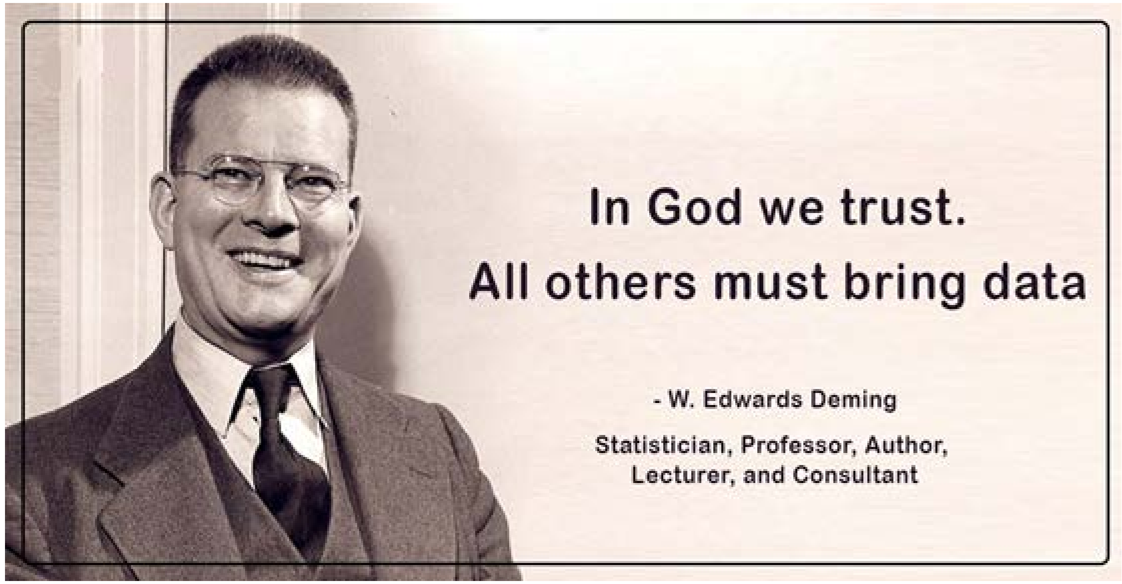
- L'incertezza estesa è equivalente all'intervallo di fiducia, ad un livello di fiducia convenzionale, tipicamente 95 %
- Essa si ottiene da
  $U(y) = k\, u(y)$
  dove k è detto *fattore di copertura*.
- Esso dipende dal tipo di distribuzione della y, che però non conosciamo
  - Si può immaginare (teorema del limite centrale) che essa sia approssimabile con la normale (gaussiana), o con una t di Student
  - Per una gaussiana, l'intervallo di fiducia al livello del 95 % è pari a $\pm 1{,}96\ \sigma$
- Nei casi pratici, si può scegliere $k = 2$

INRiM
ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA

Completiamo la tabella del bilancio

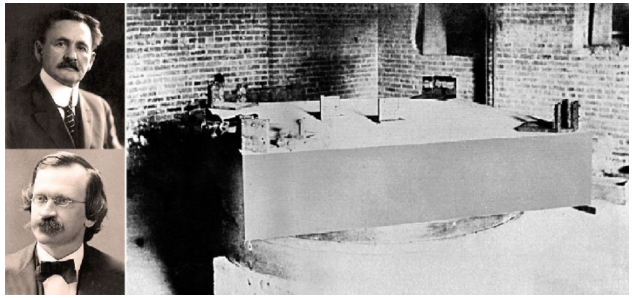
x_i	$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$ / u.m.	*incidenza*
x_1 x_2 … x_n	Stimati al passo 3.	Calcolati al passo 2.	Colonna prodotto $c_i u(x_i)$	
		$u(y)$	$\sqrt{\Sigma u_i^2(y)}$	100 %
		k	2	
		$U(y)$	$k\,u(y)$	

Le regole decisionali: decidere sulla base dei dati



Regole decisionali: che cosa sono?

- Le misure sono finalizzate a tre possibili scopi:
    - Per conoscere e scoprire (ricerca)
    - Per propagare la riferibilità e lasciare che altri decidano (tarature)
    - Per decidere (controllo)



Nel campo della distribuzione …

ACCREDIA
L'ENTE ITALIANO DI ACCREDITAMENTO

INRiM
ISTITUTO NAZIONALE
DI RICERCA METROLOGICA

Paradigma della decisione

INRiM
ISTITUTO NAZIONALE
DI RICERCA METROLOGICA

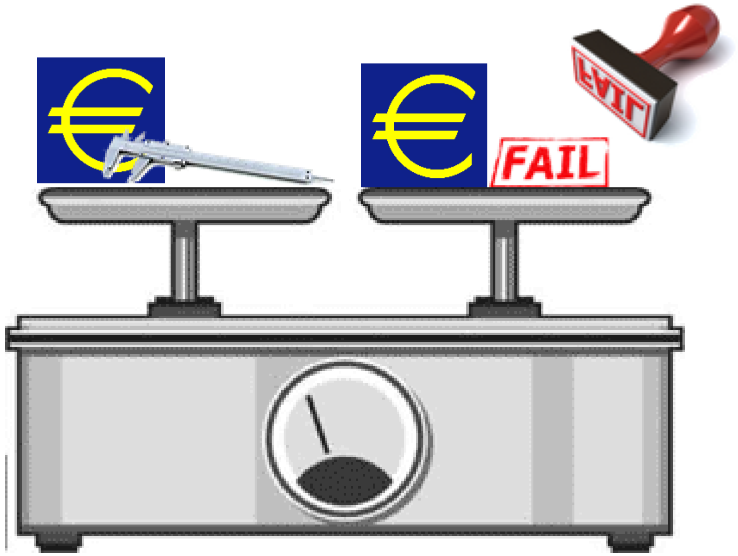
Casi tipici

- In ambito industriale
  - Alla ricezione di una fornitura
  - Per convalida di un prodotto prima o durante la fornitura
  - Dopo una fase di lavorazione prima della successiva
- In ambito di conferma metrologica
  - Convalida o scarto di uno strumento o campione
- In ambito regolamentare
  - Rispetto di limiti (sanzioni)
- In ambito generale
  - Attendere o procedere
  - Meglio A o B
- …

Le decisioni costano soldi

- Prendere decisioni costa
  - Per procurarsi i dati su cui decidere
  - Misurare per avere dati
  - Possedere e mantenere attrezzatura sufficiente per il livello d'incertezza richiesto

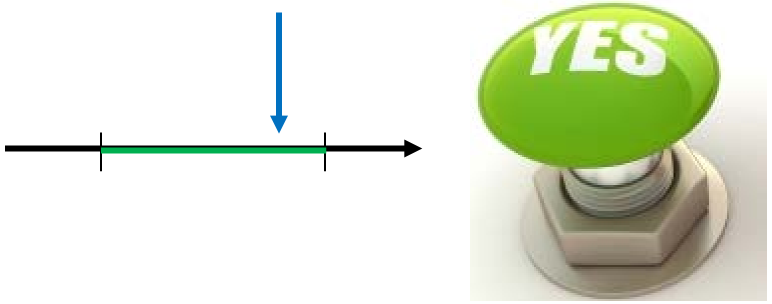
- Prendere una decisione *sbagliata* costa
  - Difficoltà nel prodotto finale
  - Fermi di produzione
  - Perdita d'immagine
  - Contenziosi
  - Responsabilità legali

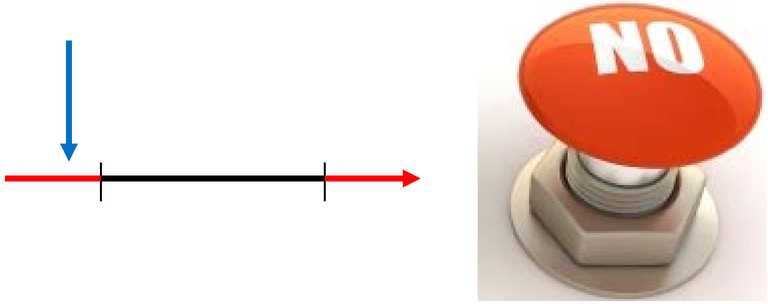


INRiM ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA

Come decidere sulla base di una misura?

- Si stabilisce un intervallo in cui accettare (specifica)
  - se il valore ricade in tale intervallo, allora SI
  - Se il valore ricade al di fuori, allora NO



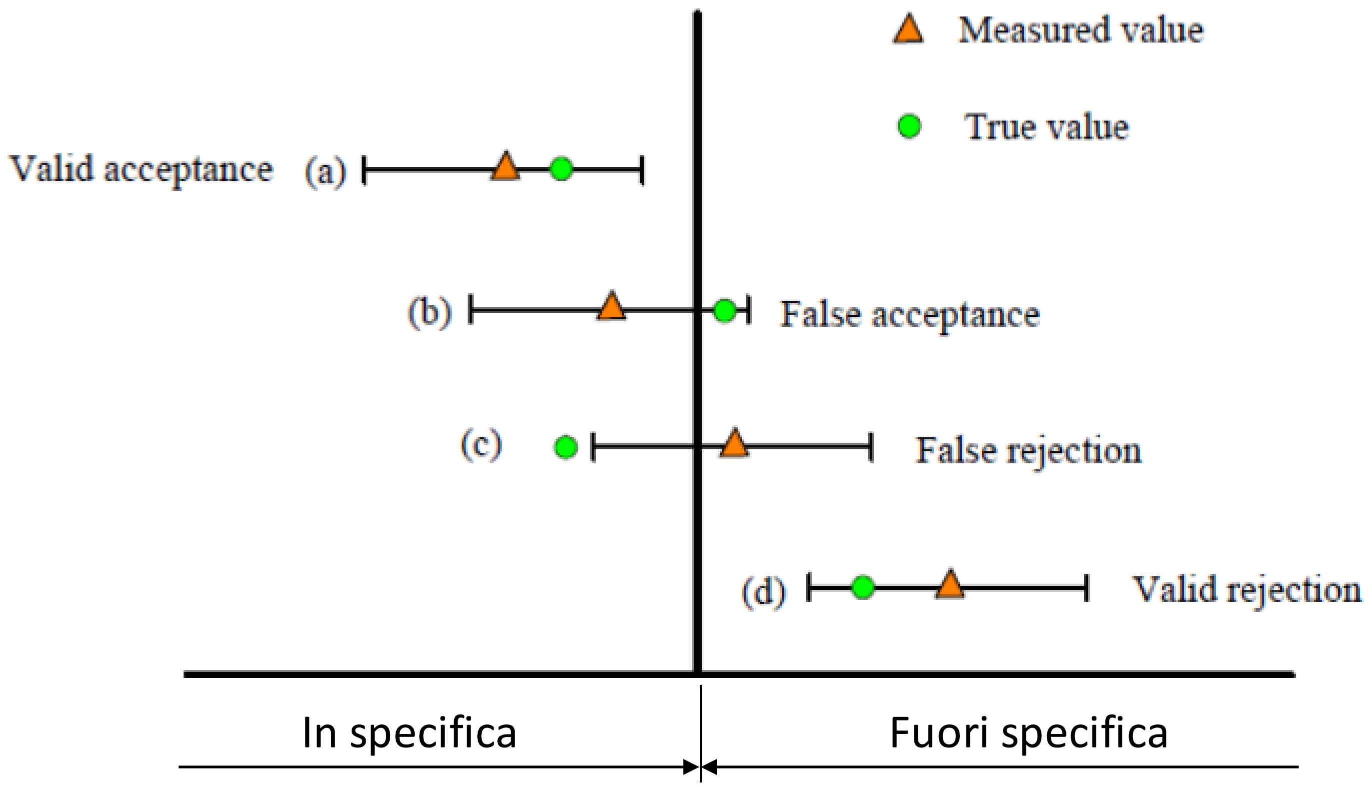


Qual è il problema?

- Le misure sono (purtroppo) necessariamente incerte
- La decisione sì/no ne è affetta
- Decidere si deve, ad un sì/no s’arriva: non esiste «l’incertezza di decisione»
- Ammettiamo pure che l’intervallo di specifica sia corretto funzionalmente; si corre comunque il rischio di sbagliare
  - Falsa accettazione (rischio del consumatore)
  - Falso rigetto (rischio del produttore)

INRiM
ISTITUTO NAZIONALE
DI RICERCA METROLOGICA

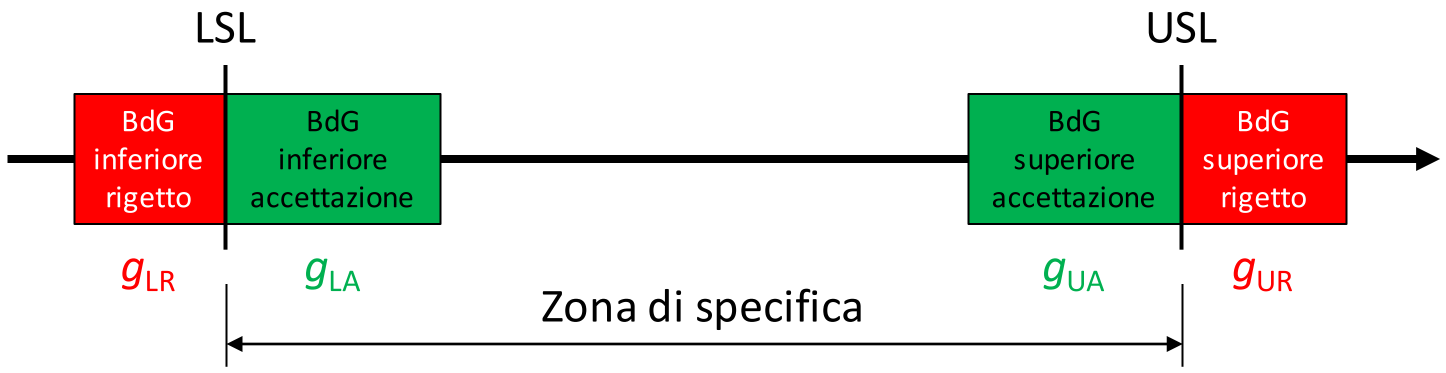
Se non si considerasse l'incertezza …



JCGM 106 Figura 8

Quale contromisura?

- Quando il valore di misura è lontano dai limiti di specifica, non c'è problema
- Quando invece è prossimo, allora si può sbagliare
  (vicino o lontano è da intendersi rispetto all'incertezza di misura)
- Per proteggersi nel caso in cui è vicino, si considerano *bande di guardia* che riducono le zone di accettazione e di rigetto
- Quando il valore ricade nella banda di guardia, esso non basta per «aggiudicarsi» la decisione



Che cos'è una regola decisionale?

Regola documentata che descrive come contare l'incertezza di misura nell'accettare o rigettare un elemento, dati una requisito specificato ed il risultato di una misura

(JCGM 106 § 3.3.12)

- Al variare delle regole decisionali, il medesimo risultato di misura può portare a conclusioni opposte
  - ⇒è essenziale, ***prima*** di misurare, mettersi d'accordo (con la controparte o con se stessi) su quale regola decisionale adottare, cioè accordarsi sul rischio di prendere una decisione sbagliata dovuta all'incertezza dei dati

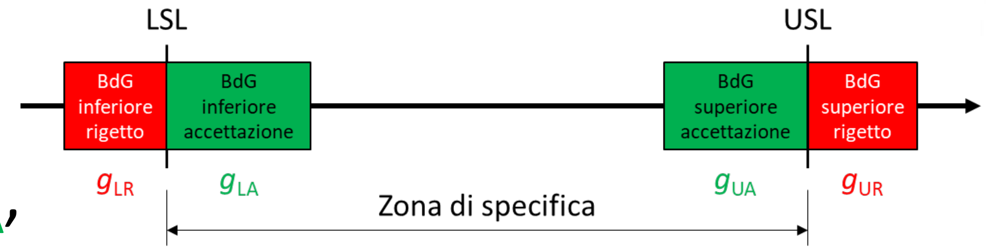
Che effetto ha una regola decisionale?

In definitiva, la regola decisione definisce una relazione fra l'incertezza della misura e l'ampiezza delle bande di guardia

Reg. decis.: Incertezza $\rightarrow$ *ampiezza bande di guardia*

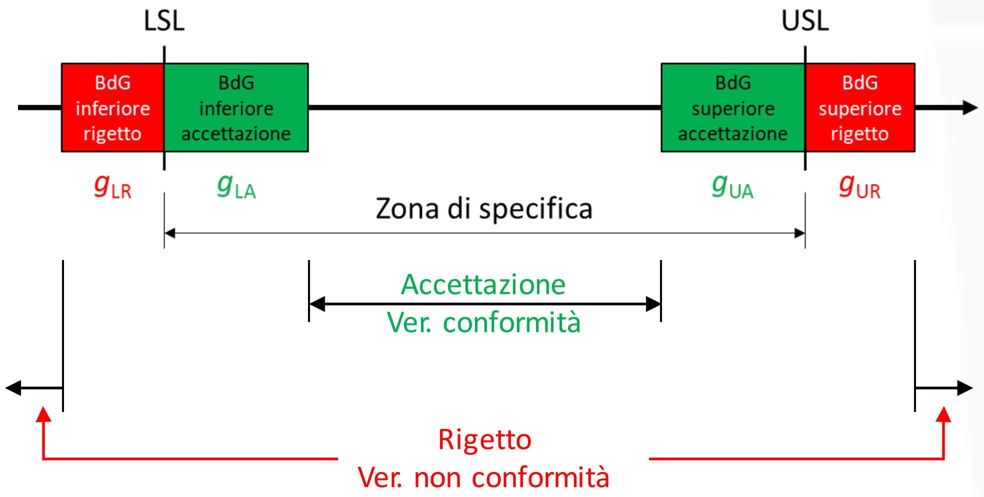
ATTENZIONE

le ampiezze delle bande di guardia g_{LR}, g_{LA}, g_{UA}, g_{UR}, di solito sono uguali, ma non necessariamente



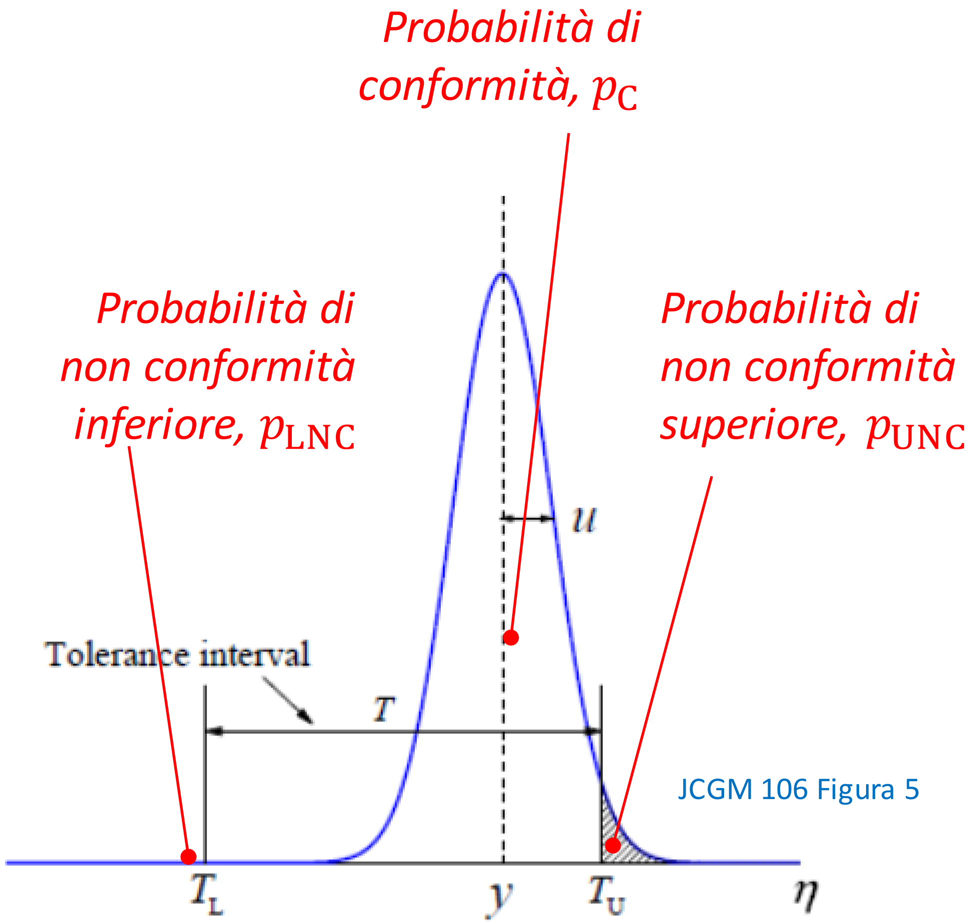
Approccio della ISO 14253-1

- La misura serve per *verificare* conformità o non conformità (controllo)
  - Ci sono due parti contrapposte
  - Una deve dimostrare all'altra
- L'onere della prova è a carico di chi effettua la misura: per tener conto dell'incertezza,
  - se si sta provando conformità, allora la zona di *accettazione* è pari a quella di specifica *ridotta* delle bande di guardia
  - se si sta provando non conformità, allora la zona di *rigetto* è pari a quella di fuori specifica *ridotta* delle bande di guardia (impropriamente, si potrebbe dire che quella di specifica *aumenta*)
- La regola decisionale è basata sul *rischio* di falsa decisione



Definizioni: probabilità

- **Probabilità di conformità** (JCGM 106 3.3.7)
  Probabilità che un elemento soddisfi un requisito di specifica
- **Probabilità di non conformità inferiore** (ISO 14253-1 3.4)
  Probabilità che un valore sia inferiore al LSL
- **Probabilità di non conformità superiore** (ISO 14253-1 3.5)
  Probabilità che un valore sia superiore al USL



JCGM 106 Figura 5

$$p_C + p_{LNC} + p_{UNC} = 100\ \%$$

Definizioni: Limiti delle probabilità

- **Limite della probabilità di conformità** (JCGM 106 3.2)
  valore minimo convenuto di probabilità di conformità nel verificare conformità

  NOTA 1. Il limite della probabilità di conformità di fatto fissa il criterio d'accettazione nel verificare conformità
  NOTA 2. Un limite della probabilità di conformità p corrisponde ad un rischio di falsa accettazione $\leq (1\text{-}p)$
- **Limite della probabilità di non conformità** (JCGM 106 3.6)
  valore minimo convenuto di probabilità di non conformità superiore o inferiore nel verificare non conformità

  NOTA 1. Il limite della probabilità di non conformità di fatto fissa il criterio di rigetto nel verificare non conformità
  NOTA 2. Un limite della probabilità di non conformità p corrisponde ad un rischio di falso rigetto $\leq (1\text{-}p)$

INRiM
ISTITUTO NAZIONALE
DI RICERCA METROLOGICA

Definizioni: Limiti normali alle probabilità

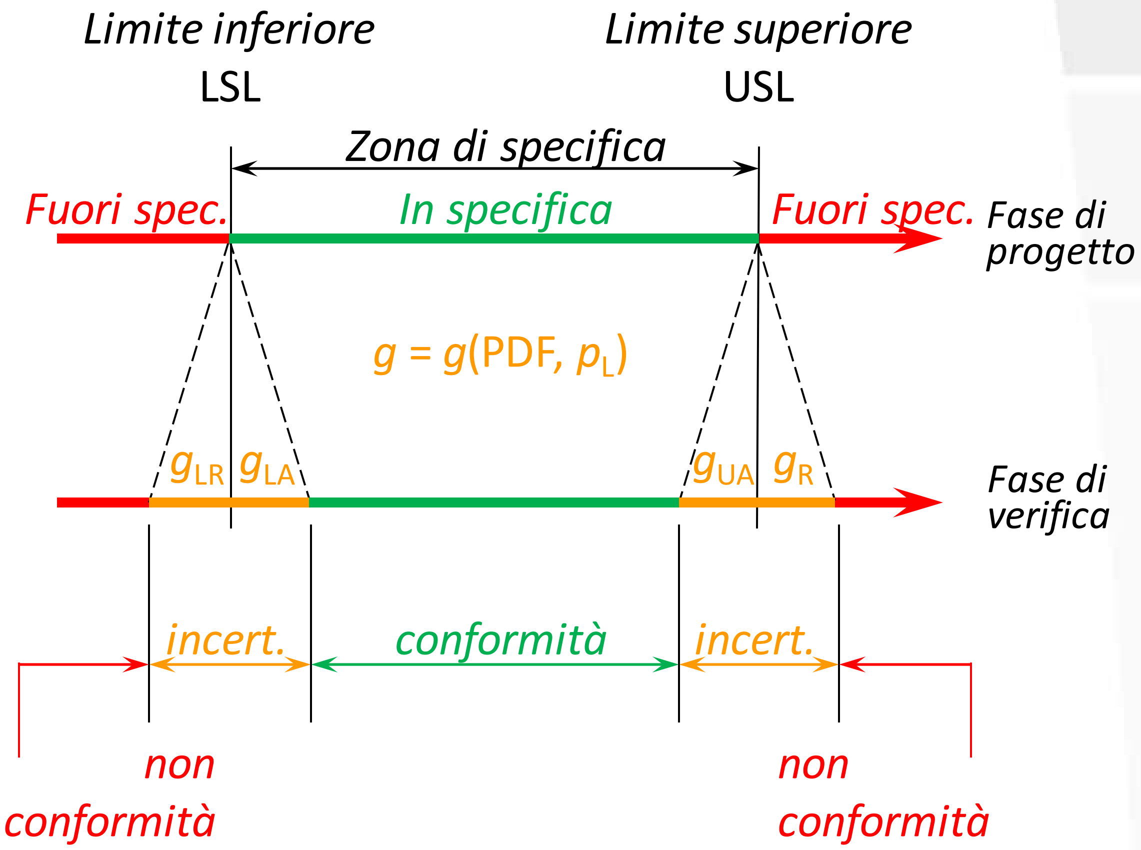
- **Limite normale della probabilità di conformità** (ISO 14253-1 3.3) valore predefinito di limite della probabilità di conformità fissato da questo documento
(*cioè il 95 %, § 4.2)*
- **Limite normale della probabilità di non conformità** (ISO 14253-1 3.7) valore predefinito di limite della probabilità di non conformità fissato da questo documento
(*cioè il 95 %, § 4.3)*

INRiM
ISTITUTO NAZIONALE
DI RICERCA METROLOGICA

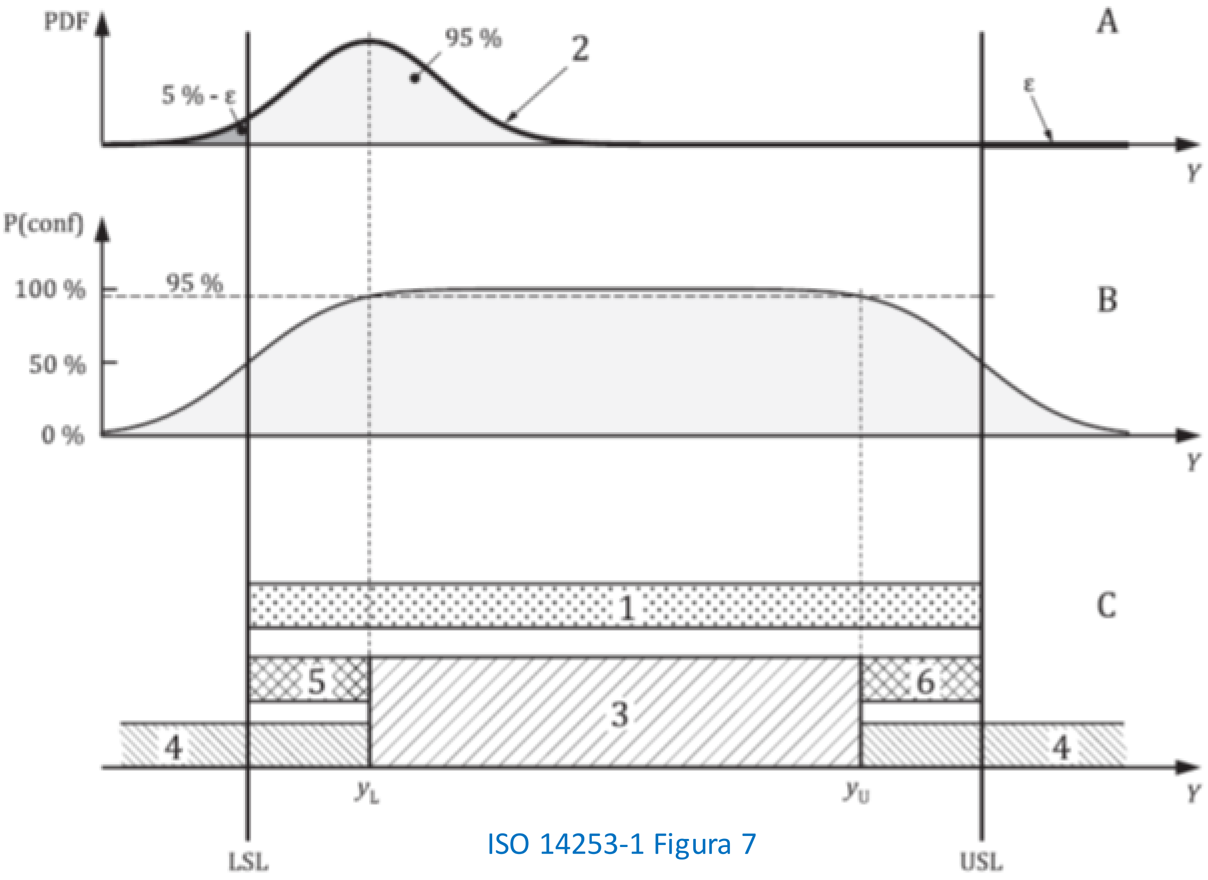
Definizioni: zona d’incertezza

- **Zona d’incertezza** (ISO 14253-1 3.12)
  insieme d’intervalli prossimi al/i limite/i di specifica ove non si può verificare né conformità secondo un *limite della probabilità di conformità* né non conformità secondo un *limite della probabilità di non conformità*

  NOTA 1. La zona d’incertezza si colloca a cavallo del limite di specifica (se unilaterale) o dei limiti di specifica (se bilaterale)
  NOTA 2. Le zone d’incertezza ai limiti superiore ed inferiore di specifica possono avere differenti ampiezze
  NOTA 3. Quando si verifica *conformità*, la zona d’incertezza fa parte della zona di rigetto e non della zona d’accettazione
  NOTA 4. Quando si verifica *non conformità*, la zona d’incertezza fa parte della zona d’accettazione e non della zona di rigetto



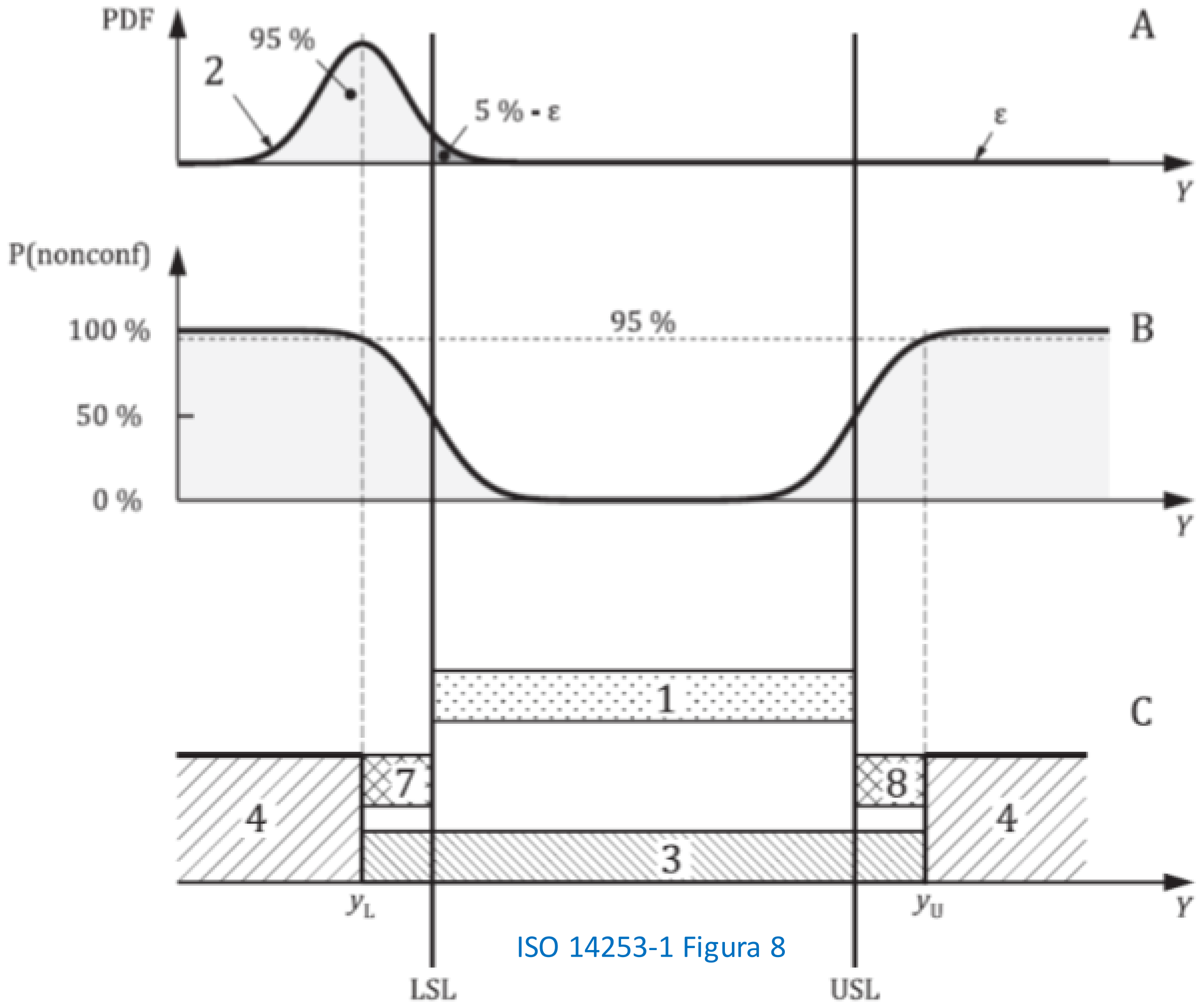
Per verificare conformità



ISO 14253-1 Figura 7

1. Zona di specifica
2. PDF centrata in LSL + g_{LA}
3. Zona normale d'accettazione
4. Zona normale di rigetto
5. Banda di guardia inferiore g_{LA}
6. Banda di guardia superiore g_{UA}

Per verificare non conformità

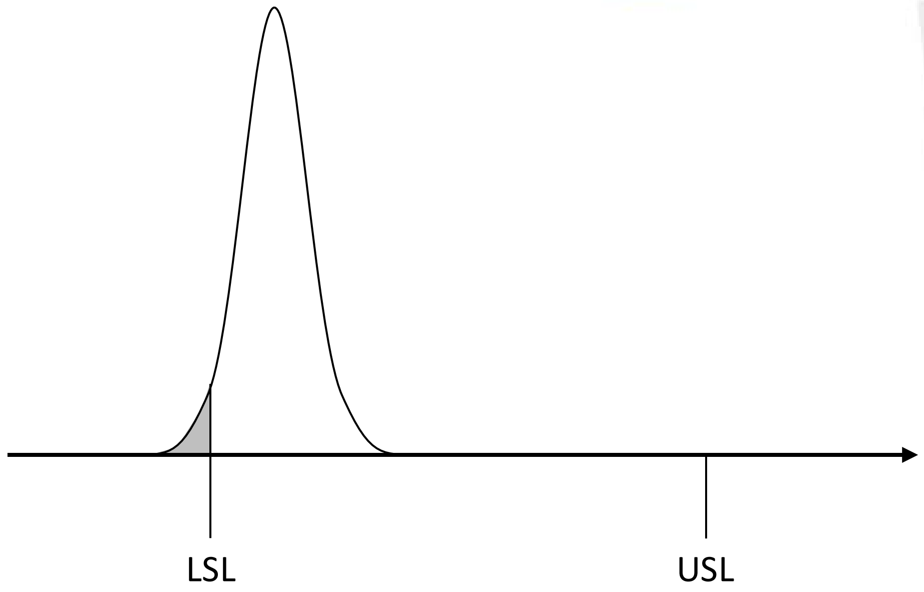


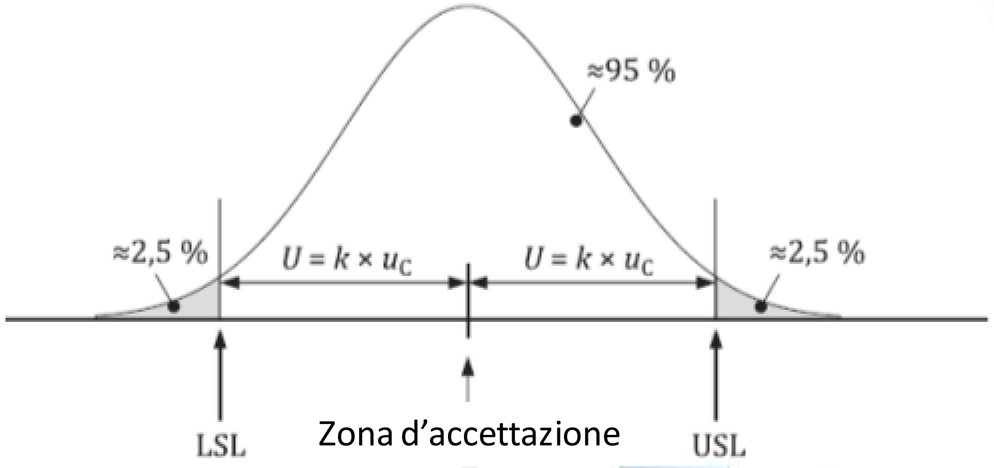
ISO 14253-1 Figura 8

1. Zona di specifica
2. PDF centrata in LSL - g_{LR}
3. Zona normale d'accettazione
4. Zona normale di rigetto
7. Banda di guardia inferiore g_{LR}
8. Banda di guardia superiore g_{UR}

Caso limite

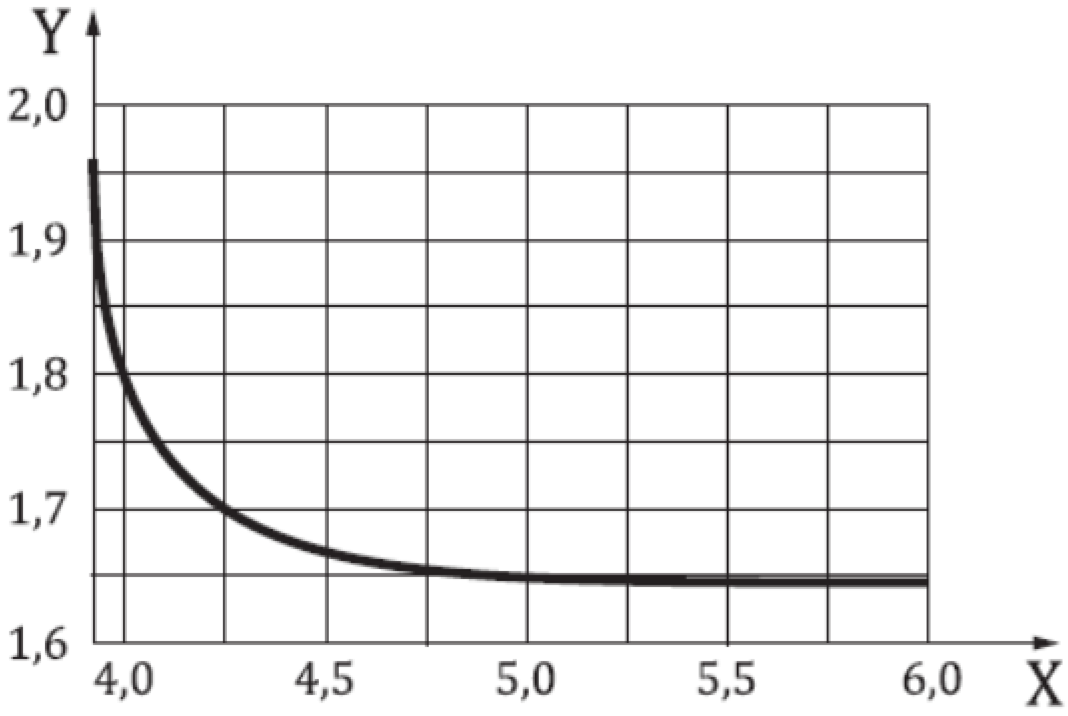
- Quando l'incertezza è piccola rispetto alla zona di specifica (PDF stretta, caso «fisiologico»), solo una coda della PDF è fuori specifica
- Quando l'incertezza è confrontabile con la zona di specifica (PDF larga, caso «patologico»), entrambe le code lo sono
- Il caso limite si ha quando la banda di guardia è pari a metà della specifica
  - La zona d'accettazione si riduce a zero





ISO 14253-1 Figura A.1

Fattore Y per il calcolo della banda di guardia al 95 % (PDF normale)



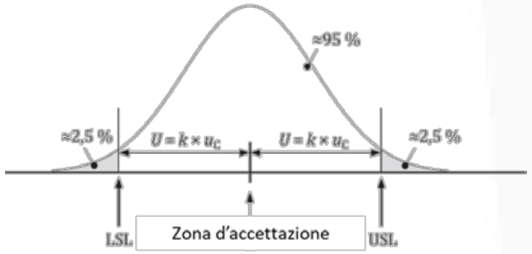
ISO 14253-1 Figura A.3

$X = (USL\text{-}LSL)/u$

Y = fattore della banda di guardia:
$g = Yu$

- Il minimo valore di X si ha nel caso singolare di prima, quando il valore è centrato nella zona di specifica, interamente presa dall'intervallo di copertura:

  $USL\text{-}LSL = 2ku$
  $X = 2k = 2 \times 1{,}96 = 3{,}92$
  $g = ku$
  $Y = k = 1{,}96$



ISO 14253-1 Figura A.1

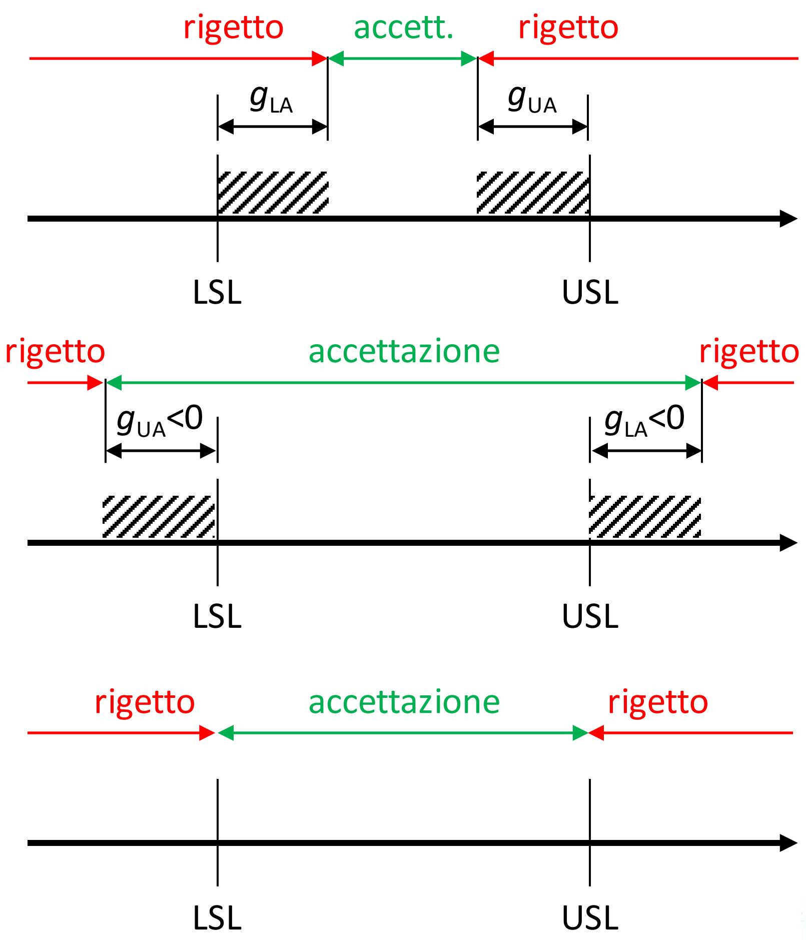
- Quando $u \to 0$, allora $X \to \infty$, e $Y \to 1{,}65$

Regole decisionali generalizzate

- Accanto alla regola decisionale normale (limite della probabilità di conformità e di non conformità = 95 %) si possono inventare altre regole, in numero virtualmente infinito
- Ciascuna trasforma l'incertezza di misura in una specifica banda di guardia
- Queste sono trattate nella UNI ISO/TR 14253-6

Categorie di regole per l'accettazione (analogamente per la non accettazione)

- *Stringente*
  le bande di guardia sono positive, la zona d'accettazione si riduce
- *Rilassata*
  le bande di guardia sono negative, la zona d'accettazione aumenta
- *Semplice*
  le bande di guardia sono nulle, la zona d'accettazione uguale a quella di specifica

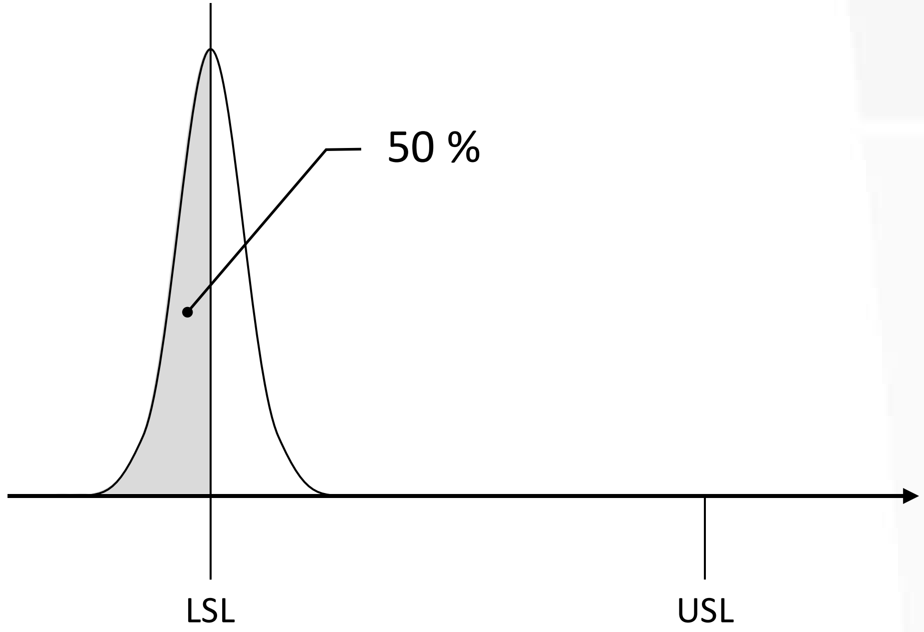


Regole di accettazione semplice *N*:1

- Una regola d'accettazione semplice di fatto non considera l'incertezza
- Per mitigare questo, spesso si aggiunge un prerequisito, *N*:1

$$\frac{\mathrm{USL} - \mathrm{LSL}}{2u} \geq N$$

- Tipici esempi sono 4:1 e 5:1
- Se la PDF è simmetrica, il limite di probabilità di conformità è 50 % quale che sia *N*
- Regola accettabile se si ha informazione *a priori* che il lotto da misurare è sotto controllo statistico di processo
  - Il singolo pezzo ha un rischio del consumatore fino al 50 %
  - Pochi sono i pezzi del lotto che si trovano prossimi alle estremità, e quindi il *rischio globale* del consumatore è accettabile
  - Quali sono «prossimi alle estremità» è regolato dal valore di *N*



INRiM ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA

Valutazione del rischio e modello di costo

Per i dettagli, vedere la UNI ISO/TR 14253-6

- Indice di capacità del processo $C_\mathrm{p} = T/6u_\mathrm{p}$
- Indice di capacità della misura $C_\mathrm{m} = T/4u_\mathrm{m}$
- Dalle due si ricava il rischio di pezzi accettati e rigettati, in modo vero e in modo falso, al variare di *k* nella regola decisionale *g* = *ku*
- In ciascuno dei quattro casi si quantifica il profitto o il costo (in euro a pezzo)
- Moltiplicando rischio e costo unitario, e sommando i quattro casi, si ricava il profitto o il costo totale, al variare di *k*
- Si sceglie *k* che massimizzi il profitto (o minimizzi il costo)

INRiM ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA

Zone di transizione

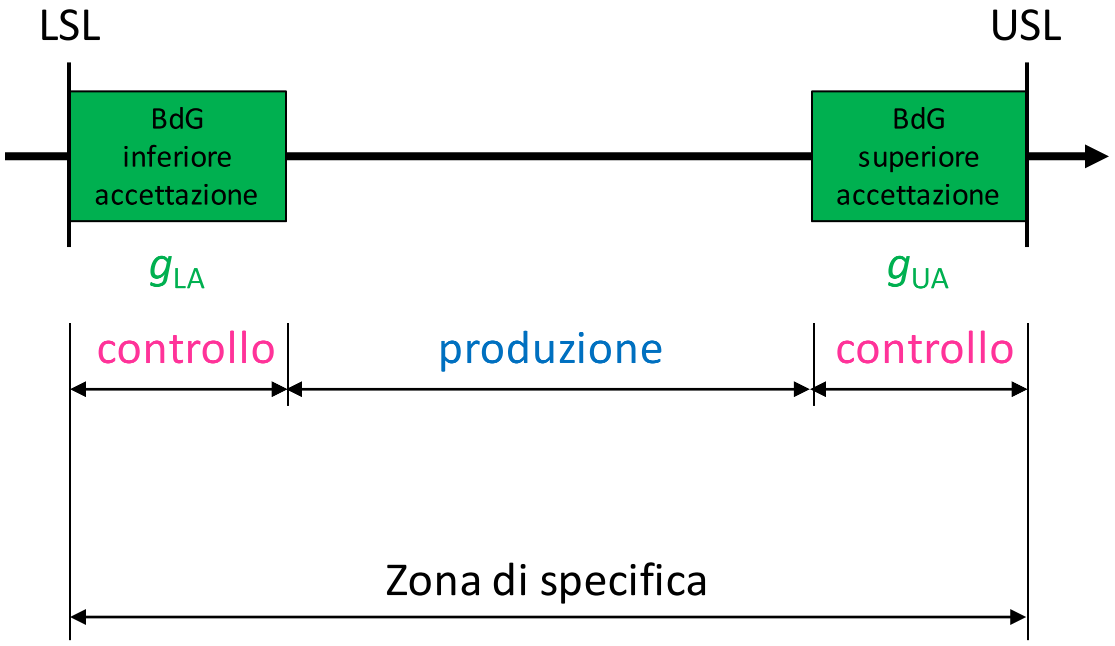
- Esse coincidono con le zone d’incertezza
- Una regola potrebbe essere *terziaria* e non *binaria*
  - Accettazione
  - Rigetto
  - Transizione
- La regola deve allora precisare che cosa fare nel caso di transizione; ad esempio
  - Accettare il prodotto ma declassarlo
  - Rimisurare con miglior accuratezza

L’incertezza, strumento per organizzare i processi

u

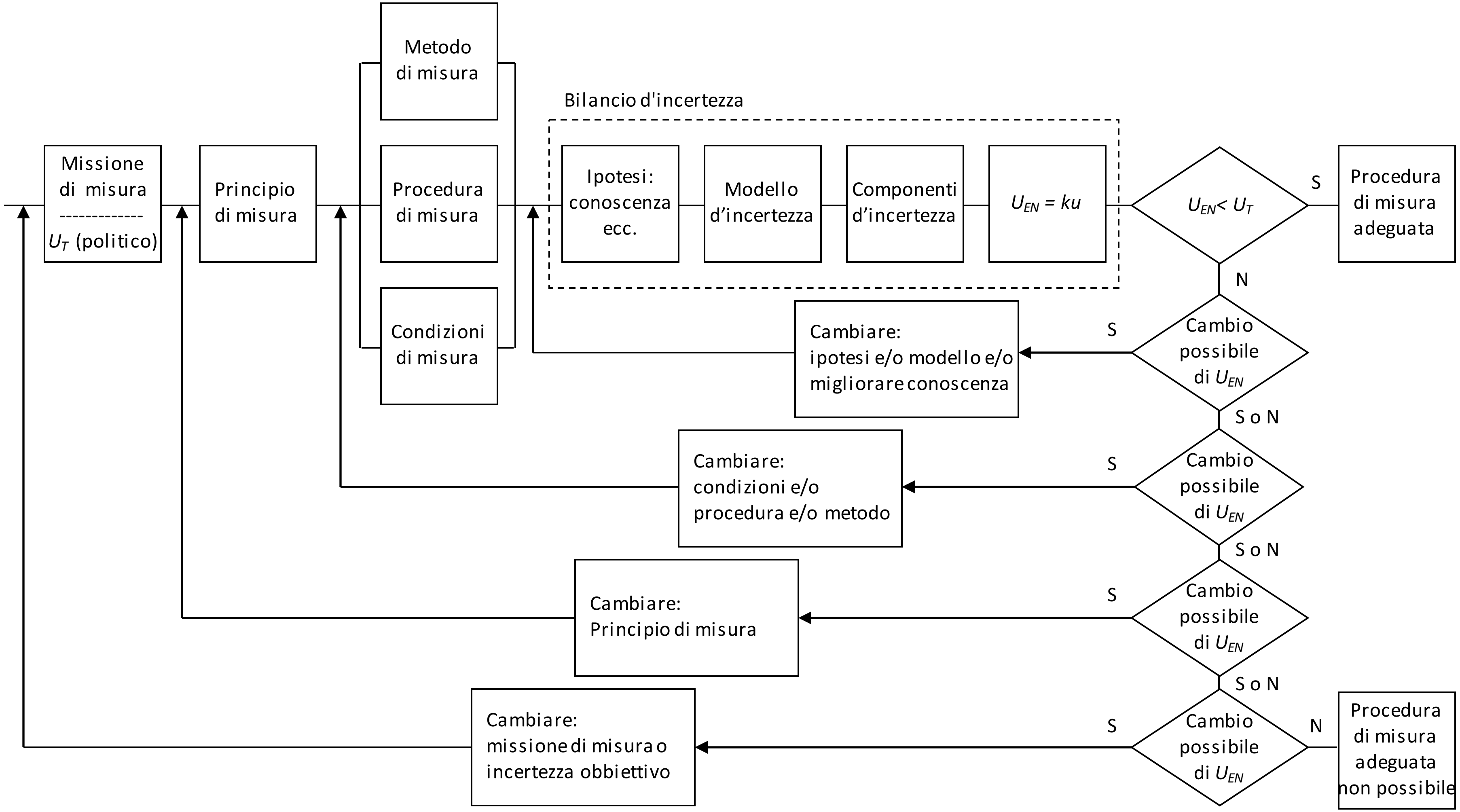
Banda di guardia: un compromesso aziendale

- Più grande la banda di guardia
  - Più grande è l'incertezza che la genera
  - Più facile e meno costoso è misurare
- Ma …
  - Più pezzi buoni vengono scartati (perché la loro misura ricade nella banda di guardia)
- Data una tolleranza di pezzi da produrre
  - La banda di guardia segna il confine fra quanto concesso alla produzione e quanto al controllo
  - Compromesso aziendale $\Rightarrow$ *business decision*



Metodo PUMA: UNI EN ISO 14253-2

(*Procedure for Uncertainty Management*)



Ottimizzare il bilancio d’incertezza fa risparmiare soldi

- Il bilancio d’incertezza si compone di molte voci
- Quasi mai esse hanno la medesima incidenza (Pareto)
  - Di solito una domina (*killer*), forse una seconda rileva
- Bisogna concentrarsi (e spendere) sul *killer*, altrimenti si rischia di fallire la misura
- Inutile accanirsi (e spendere) sulle voci poco influenti
  - Il meccanismo di somma quadratica le nasconde
  - La loro incertezza potrebbe aumentare senza conseguenze apprezzabili sull’incertezza finale
  - Su queste si può risparmiare
  - Se annullate, le componenti con incidenze < 20 % migliorerebbero l’incertezza solo del 10 %, trascurabile!

x_i	$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$ / u.m.	*incidenza*
x_1	Stimati al passo 3	Calcolati al passo 2	Colonna prodotto $c_i u(x_i)$	*killer*
x_2				
…				< 20 %
x_n				
		$u(y)$	$\sqrt{\Sigma u_i^2(y)}$	100 %
		k	2	
		$U(y)$	$k\,u(y)$	

INRiM ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA

Conclusioni/1

- La gran maggioranza delle misure si fanno per decidere, tipicamente sì/no
- L'incertezza inficia il dato e introduce il rischio di falsa decisione (rischio del produttore, del consumatore)
- È dunque necessario valutare e studiare l'incertezza
- Si deve convenire una regola decisionale che indichi come trattare l'incertezza
- Esiste una regola normale, che si applica quando non se ne convengano altre (default)
- La ISO 14253-1 basa tale regola sul limite della probabilità di conformità o non conformità

INRiM
ISTITUTO NAZIONALE
DI RICERCA METROLOGICA

Conclusioni/2

- La banda di guardia vale $g = k_g u$, dove k_g dipende dalla PDF e dal rapporto fra incertezza e zona di specifica
- Nel caso di una distribuzione normale (gaussiana) e quando l'incertezza è piccola ($u < 0{,}4T$, dove $\pm T$ è la specifica), allora la banda di guardia $g = 1{,}65\ u$
- Altre regole decisionali si possono inventare, *stringenti*, *rilassate*, *semplici*, N:1
- La scelta di quale si dovrebbe basare sulla valutazione del rischio di falsa decisione e sul costo che ne consegue
- L'incertezza permette di ottimizzare i processi, e in definitiva d'ottenere un risultato tecnicamente valido (cioè che ben supporta la decisione) al minimo costo

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION!