SISTEMA NAZIONALE PER L'ACCREDITAMENTO DI LABORATORI

DT-0002/6

GUIDA AL CALCOLO DELLA RIPETIBILITÀ DI UN METODO DI PROVA ED ALLA SUA VERIFICA NEL TEMPO

INDICE

parte sezione	pagina
Introduzione	2
Calcolo della ripetibilità	2
Verifica della ripetibilità nel tempo	3
Esempio di verifica della ripetibilità	6
PROVE NEL SETTORE MECCANICO E TESSILE.	12
Calcolo della ripetibilità.	12
Verifica della ripetibilità nel tempo.	12
LA RIPETIBILITÀ NEL SETTORE ELETTRICO	14
Prove con verifiche di caratteristiche espresse in termini di variabili	14
Prove con verifiche di caratteristiche espresse per attributi	15

Introduzione

L'esecuzione della *prova in doppio* viene richiesta dalla norma, per verificare che la ripetibilità di una prova rientri nel limite di ripetibilità dichiarato dal laboratorio o indicato dalla norma pertinente. Si rammenta inoltre che la dispersione dei risultati di misurazioni ripetute, ovvero lo scarto tipo di ripetibilità, fornisce generalmente contributi significativi all'incertezza da associare al risultato.

Il limite di ripetibilità è espresso in termini di scarto tipo di ripetibilità al livello considerato e deve essere determinato mediante un sufficiente numero di ripetizioni della prova. Il limite di ripetibilità deve essere valutato a diversi livelli all'incirca equidistanti nell'intervallo di applicazione di un metodo.

Il trattamento analitico dei dati è possibile quando il risultato della prova è espresso in termini quantitativi. La ripetibilità deve essere calcolata e verificata periodicamente per le caratteristiche espresse come "variabili" (modalità quantitative) caratterizzate da distribuzioni approssimativamente normali o unimodali.

Non si applica alle caratteristiche espresse come "attributi": esami visivi, giudizi soggettivi, prove "passa / non passa". In questi ultimi casi al laboratorio si richiede di effettuare una stima di ripetibilità sulle grandezze di ingresso/stimolo.

Calcolo della ripetibilità

Dopo aver scelto il numero delle prove da eseguire al livello di interesse, averle effettuate, aver controllato l'attendibilità dei risultati ottenuti, aver scartato quelli considerati "anomali" (outliers), il laboratorio può procedere all'elaborazione dei dati ritenuti validi calcolando la stima, s_r, dello scarto tipo σ_r, il parametro indice della dispersione della distribuzione della variabile normale a cui sono associati i risultati stessi e la stima della varianza, s_r^2.

Siano: $x_1, x_2, x_3, \ldots x_i, \ldots, x_n$, i valori degli n risultati validi, di cui $\bar{x}$ è la media aritmetica.

La miglior stima di σ_r è data dalla seguente formula :

$$s_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad (1)$$

La stima della varianza è di conseguenza data da:

$$s_r^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \qquad (2)$$

Prima di procedere oltre, occorre verificare che s_r sia compatibile con σ_r; il valore di quest'ultimo è generalmente riportato dal metodo normato adottato, oppure semplicemente può essere il valore prefissato come obiettivo di ripetibilità del metodo in fase di sviluppo.

In ogni caso, la verifica viene effettuata calcolando il rapporto s_r/σ_r e valutando se il risultato ottenuto cade all'interno dell'intervallo riportato in tabella 1 in corrispondenza del numero dei gradi di libertà, $v = n - 1$.

Sia, ad esempio, $s_r = 0{,}105$ lo scarto tipo stimato da $n = 10$ risultati validi, ottenuti in condizioni di ripetibilità stretta e sia $\sigma_r = 0{,}087$ il valore riportato dalla norma in esame.

Risulta allora : $(s_r/\sigma_r) = 1{,}207$. Dalla tabella 1 si può osservare che per $v = n - 1 = 9$, l'intervallo in cui deve essere compreso s_r/σ_r va da 0,548 a 1,454. Si può quindi concludere che s_r è accettabile.

Se, invece, dovesse risultare: $s_r > 0{,}087 \cdot 1{,}454 = 0{,}126$ oppure: $s_r < 0{,}087 \cdot 0{,}548 = 0{,}0477$, allora la qualità dei risultati non è rispondente ai requisiti della norma o all'obiettivo del progetto di metodo.

Nel primo caso, sarà necessario riconsiderare il procedimento, fase per fase, ed apportare le appropriate azioni correttive; nel secondo caso, la cautela impone di fare la stessa indagine per assicurarsi di non aver trascurato o male interpretato qualche passaggio previsto dalla prova.

Si deve, comunque, individuare una motivazione valida per giustificare una ripetibilità migliore di quella prevista: per esempio, l'uso di un'apparecchiatura di misurazione con caratteristiche superiori a quelle prescritte dalla norma, una fase di estrazione o di purificazione condotta in condizioni più rispondenti alla natura dell'analita in esame, ecc.

Verifica della ripetibilità nel tempo

Il laboratorio che ha ricavato sperimentalmente un valore adeguato per lo scarto tipo di un metodo, non può ritenere che tale valore possa essere usato nel tempo senza alcun controllo. E' necessario che venga stabilita una opportuna frequenza delle verifiche in base al tipo di impiego e alle caratteristiche del metodo.

Con quale modalità deve essere eseguito il controllo? E quale criterio deve essere usato per giudicarne il risultato?

La risposta alla prima domanda è abbastanza semplice: la modalità meno onerosa in termini di tempo e di costi per il laboratorio. Questa modalità è facilmente individuata nella esecuzione di una **prova in doppio**. Tuttavia, non si può escludere che talvolta si renda necessario condurre più di due prove.

La risposta alla seconda domanda comporta la elaborazione di una o più formule di confronto adeguate.

A tale scopo, è necessario tener presente che si devono confrontare due serie di dati: quella dalla quale è stato ricavato lo scarto tipo al momento della convalida del metodo e quella ottenuta in sede di verifica di tale scarto tipo. Ciò che si deve stabilire è l'equivalenza delle due dispersioni di dati.

Per questo fine, si considerano le varianze delle due serie.

Se entrambe le serie sono modellabili secondo variabili normali, allora il rapporto delle due varianze è modellabile secondo la variabile $F_{p=1-\alpha}$ di Fisher.

La funzione $f\left(F_{p=1-\alpha}\right)$ è definita solo per $F_{p=1-\alpha}$ compresa tra 0 e $+\infty$ ed esiste una curva per ogni combinazione di v_1 e v_2, essendo questi rispettivamente i gradi di libertà della varianza al numeratore e della varianza al denominatore (una espressione di questa funzione si trova nella norma ISO 3534-1).

Nella costruzione del rapporto si pone la varianza attuale, s_a^2, al numeratore e quella precedente, s_r^2, al denominatore.

I valori di $F_{p=1-\alpha}$ più comunemente usati sono riportati in tabella 3 per α = 0,05. E' interessante notare che se v_1 e v_2 hanno valori molto alti (praticamente infiniti) il valore di $F_{p=1-\alpha}$ tende a 1, qualunque sia il valore di α.

Questo fatto riflette la considerazione ovvia che, idealmente, il massimo della compatibilità fra due varianze è l'uguaglianza.

Da queste considerazioni, discende la seguente formula, quale criterio per giudicare il risultato della verifica:

$$\frac{s_a^2}{s_r^2} \leq F_{p=1-\alpha;v_1,v_2} \qquad (3)$$

dove:

s_a è lo scarto tipo attuale della serie di risultati ottenuti in sede di verifica;

s_r è lo scarto tipo della serie dei risultati ottenuti in sede di convalida del metodo;

$p = 1 - \alpha$ è il livello di probabilità prescelto (di solito $\alpha = 0{,}05$);

v_1 e v_2 sono i rispettivi gradi di libertà.

E' interessante sviluppare un caso particolare della formula (3).

Se in sede di verifica, è stata condotta una **prova in doppio**, allora: $s_a^2 = \frac{(x_1 - x_2)^2}{2}$.

Sostituendo questa espressione nella formula (3), ed estraendo la radice quadrata positiva di entrambi i membri della stessa formula, si ottiene infine la seguente formula:

$$|x_1 - x_2| \le s_r \cdot \sqrt{2F_{p=1-\alpha;v_1=1,v_2=n-1}} \qquad (4)$$

dove :

$p = 1 - \alpha$ è il livello di probabilità considerato (di solito $p = 0{,}95$);

$v_1 = 1$ è il grado di libertà di s_a

$v_2 = n - 1$ è il numero dei gradi di libertà di s_r.

Si può dimostrare che :

$$\sqrt{F_{p=1-\alpha;v_1=1,v_2=n-1}} = t_{p=1-\alpha;v=n-1} \qquad (5)$$

Da cui si può quindi scrivere la formula:

$$|\boldsymbol{x}_1 - \boldsymbol{x}_2| \le \sqrt{2} \cdot \boldsymbol{s}_r \cdot \boldsymbol{t}_{\boldsymbol{p}=1-\boldsymbol{\alpha};\boldsymbol{v}=\boldsymbol{n}-1} \qquad (6)$$

dove:

t_p è la variabile di Student (vedi tabella 2)

Questa formula esprime il criterio di accettabilità per una prova in doppio. Infatti, il valore del secondo membro rappresenta **il limite dell'intervallo di ripetibilità per una prova in doppio** nelle condizioni adottate.

Naturalmente, se n è molto grande (in pratica, $n > 10$) oppure $s_r = \sigma_r$ perché si ritiene di poter impiegare lo scarto tipo riportato dalla norma in esame, allora nella formula (6) si può sostituire t_p con k_p ed s_r con σ_r e così si ottiene :

$$|x_1 - x_2| \leq \sqrt{2} \cdot k_p \cdot \sigma_r \qquad (7)$$

dove:
k_p è la variabile normale razionalizzata
σ_r è lo scarto tipo di ripetibilità

E' da notare che, siccome $k_p \leq t_p$, quando $\sigma_r < s_r$ il valore del limite dell'intervallo di ripetibilità per una prova in doppio calcolato dal secondo membro della (7) è inferiore a quello che si ricava dal secondo membro della (6). Quindi l'utilizzo della formula (7) per giudicare l'accettabilità di una prova in doppio è di solito più conservativo rispetto all'impiego della formula (6).

Nota. Se risultasse: $\sqrt{2} \cdot s_r \cdot t_{p=0,95;\nu=n-1} < |x_1 - x_2| \leq \sqrt{2} \cdot s_r \cdot t_{p=0,99;\nu=n-1}$, si può concedere al laboratorio la possibilità di eseguire una terza prova in presenza dell'ispettore o in tempi immediatamente successivi ed inviare il risultato all'ispettore tecnico e al SINAL. Se i tre risultati considerati insieme soddisfano il criterio di equazione (3), allora si può concludere che il laboratorio ha dimostrato una ripetibilità accettabile.

Esempio di verifica della ripetibilità

Si voglia verificare l'attuale validità del grado di ripetibilità di un metodo per il quale a suo tempo era stato calcolato uno scarto tipo $s_r = 0,256$ ricavato da $n = 12$ prove ($\nu = 11$). La verifica è stata condotta con 2 prove. I risultati ottenuti sono stati: $x_1 = 14,57$ e $x_2 = 15,52$.

La verifica può considerarsi positiva, al livello di probabilità $p = 1 - \alpha = 0,95$?

Applicando la formula (6) e la tabella 2 per $\nu = 11$, si ottiene:

$$|x_1 - x_2| = 0{,}95 > \sqrt{2} \cdot s_r \cdot t_{p=0{,}95;v=11} = 1{,}414 \cdot 0{,}256 \cdot 2{,}20 = 0{,}80$$

Il criterio espresso da questa formula non è soddisfatto. Infatti, anche utilizzando la formula (3) e la tabella 3 con $v_1 = 1$ e $v_2 = 11$, si perviene allo stesso risultato:

$$s_a^2 = (0{,}95)^2 / 2 = 0{,}45125$$
$$s_r^2 = (0{,}256)^2 = 0{,}065536$$

$$\frac{s_a^2}{s_r^2} = 6{,}88 > F_{p=0{,}95;v_1=1;v_2=11} = 4{,}84 = (2{,}20)^2$$

Tuttavia, tenendo conto del livello di probabilità del 99%, si ottiene:

$$\boldsymbol{|x_1 - x_2| = 0{,}95 < \sqrt{2} \cdot s_r \cdot t_{p=0{,}99;v=11} = 1{,}414 \cdot 0{,}256 \cdot 3{,}11 = 1{,}13}$$

In questo caso, al laboratorio è concessa la possibilità di eseguire la terza prova nelle stesse condizioni di ripetibilità stretta con cui aveva lavorato per le altre due. Il risultato ottenuto è: 14,98.

Si tratta ora di applicare la formula (3), dopo aver calcolato dai tre risultati: 14,57; 14,98; 15,52, il valore di $s_a^2 = 0{,}2270$ e individuato in tabella 3 il valore di $F_{p=0{,}95} = 3{,}98$ corrispondente a $v_1 = 2$ e $v_2 = 11$.

Si ottiene così:

$$\frac{s_a^2}{s_r^2} = \frac{0{,}2270}{0{,}065536} = 3{,}46 < F_{p=0{,}95;v_1=2;v_2=11} = 3{,}98$$

Come si vede il criterio di accettabilità espresso dalla formula (3) è soddisfatto. Quindi il laboratorio può ritenere di essere nelle condizioni di ripetibilità stabilite.

Se fosse stato deciso, dopo l'esito negativo della verifica con le prime due prove, di eseguire altre due prove, invece di una, sempre nelle stesse condizioni di lavoro delle prime due, l'impiego della formula (3) fornirebbe ancora il criterio di accettabilità richiesto con l'avvertenza che il valore $F_{p=0{,}95;v_1=3;v_2=11}$ da considerare è 3,59 che nella tabella 3 si trova in corrispondenza a $v_1 = 3$ e $v_2 = 11$.

In caso di esito negativo della verifica anche con tre o quattro prove, il laboratorio è tenuto ad approfondire le diverse fasi del procedimento per scoprire i motivi della prestazione insufficiente.

Riferimenti: Manuale UNICHIM 179/1:2001 - Linee guida per la validazione di metodi analitici nei laboratori chimici - Valutazione della precisione (ripetibilità stretta) di un metodo analitico eseguito in un unico laboratorio da un solo operatore su di un unico strumento in un breve intervallo di tempo

Tabella 1

Limiti di fiducia minimi ($p = 0{,}025$) e massimi ($p = 0{,}975$) del rapporto (s/σ)* in funzione dei gradi di libertà $v = n - 1$, dove n è il numero delle prove

$v = n - 1$	Valore minimo $p = 0{,}025$	Valore massimo $p = 0{,}975$
1	0,0316	2,241
2	0,160	1,921
3	0,268	1,765
4	0,348	1,669
5	0,408	1,602
6	0,454	1,551
7	0,491	1,512
8	0,522	1,480
9	0,548	1,454
10	0,570	1,431
11	0,589	1,412
15	0,646	1,354
20	0,692	1,307
25	0,724	1,275
30	0,748	1,251

* s è lo scarto tipo stimato da n prove, σ è lo scarto tipo effettivo.
I valori di s/σ sono calcolati dalla formula : $s/\sigma = \left[\chi^2/(n-1)\right]^{1/2}$

Tabella 2

Valori della variabile di Student, t_p, con ν gradi di libertà e per alcuni livelli di probabilità, p, per ciascun valore di ν

Il prospetto si utilizza verificando che sia valida la relazione: $t_{p=\alpha/2} \le t_p \le t_{p=1-\alpha/2}$ oppure la relazione: $t_p \le \left|t_{p=1-\alpha}\right|$, dove t_p è il valore sperimentale ricavato dalla formula $t_p = \dfrac{\bar{x} - \mu}{s_r / \sqrt{n}}$.

ν	$p = \alpha/2$			$p = 1-\alpha/2$			$p = 1-\alpha$		
	$t_{p=0,005}$	$t_{p=0,025}$	$t_{p=0,050}$	$t_{p=0,950}$	$t_{p=0,975}$	$t_{p=0,995}$	$\lvert t_{p=0,90}\rvert$	$\lvert t_{p=0,95}\rvert$	$\lvert t_{p=0,99}\rvert$
1	−63,66	−12,71	−6,31	+6,31	+12,71	+63,66	6,31	12,71	63,66
2	−9,92	−4,30	−2,92	+2,92	+4,30	+9,92	2,92	4,30	9,92
3	−5,84	−3,18	−2,35	+2,35	+3,18	+5,84	2,35	3,18	5,84
4	−4,60	−2,78	−2,13	+2,13	+2,78	+4,60	2,13	2,78	4,60
5	−4,03	−2,57	−2,02	+2,02	+2,57	+4,03	2,02	2,57	4,03
6	−3,71	−2,45	−1,94	+1,94	+2,45	+3,71	1,94	2,45	3,71
7	−3,50	−2,36	−1,89	+1,89	+2,36	+3,50	1,89	2,36	3,50
8	−3,36	−2,31	−1,86	+1,86	+2,31	+3,36	1,86	2,31	3,36
9	−3,25	−2,26	−1,83	+1,83	+2,26	+3,25	1,83	2,26	3,25
10	−3,17	−2,23	−1,81	+1,81	+2,23	+3,17	1,81	2,23	3,17
11	−3,11	−2,20	−1,80	+1,80	+2,20	+3,11	1,80	2,20	3,11
12	−3,05	−2,18	−1,78	+1,78	+2,18	+3,05	1,78	2,18	3,05
13	−3,01	−2,16	−1,77	+1,77	+2,16	+3,01	1,77	2,16	3,01
14	−2,98	−2,14	−1,76	+1,76	+2,14	+2,98	1,76	2,14	2,98
15	−2,95	−2,13	−1,75	+1,75	+2,13	+2,95	1,75	2,13	2,95
16	−2,92	−2,12	−1,75	+1,75	+2,12	+2,92	1,75	2,12	2,92
17	−2,90	−2,11	−1,74	+1,74	+2,11	+2,90	1,74	2,11	2,90
18	−2,88	−2,10	−1,73	+1,73	+2,10	+2,88	1,73	2,10	2,88
19	−2,86	−2,09	−1,73	+1,73	+2,09	+2,86	1,73	2,09	2,86
20	−2,85	−2,09	−1,72	+1,72	+2,09	+2,85	1,72	2,09	2,85
25	−2,79	−2,06	−1,71	+1,71	+2,06	+2,79	1,71	2,06	2,79
30	−2,75	−2,04	−1,70	+1,70	+2,04	+2,75	1,70	2,04	2,75
35	−2,72	−2,03	−1,70	+1,70	+2,03	+2,72	1,70	2,03	2,72
40	−2,70	−2,02	−1,68	+1,68	+2,02	+2,70	1,68	2,02	2,70
45	−2,69	−2,01	−1,68	+1,68	+2,01	+2,69	1,68	2,01	2,69
50	−2,68	−2,01	−1,68	+1,68	+2,01	+2,68	1,68	2,01	2,68
100	−2,63	−1,98	−1,66	+1,66	+1,98	+2,63	1,66	1,98	2,63
∞	−2,58	−1,96	−1,64	+1,64	+1,96	+2,58	1,64	1,96	2,58

Tabella 3
Distribuzione della variabile di Fisher, $F_{p=1-\alpha}$, al livello di significatività $\alpha = 0{,}05$

$F_{0,05,\nu_1,\nu_2}$

Gradi di libertà per il numeratore (ν_1)

Gradi di libertà per il denominatore (ν_2)

ν_2 \ ν_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,9	245,9	248,0	249,1	250,1	251,1	252,2	253,3	254,3
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,41	19,43	19,45	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70	8,66	8,64	8,62	8,59	8,57	8,55	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86	5,80	5,77	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,56	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	3,87	3,84	3,81	3,77	3,74	3,70	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,51	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15	3,12	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,25	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,69	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,23	2,16	2,11	2,07	2,03	1,98	1,93	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,18	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,15	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,20	2,13	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,09	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,15	2,07	1,99	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,13	2,06	1,97	1,93	1,88	1,84	1,79	1,73	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	2,04	1,96	1,91	1,87	1,82	1,77	1,71	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,10	2,03	1,94	1,90	1,85	1,81	1,75	1,70	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,01	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47	1,39
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,55	1,43	1,35	1,25
∞	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00

Calcolo della ripetibilità.

Se è noto lo scarto tipo σ_r, in quanto espresso dal metodo normato oppure quale valore prefissato come obiettivo di ripetibilità del metodo in corso di sviluppo (eventualmente derivante da circuiti interlaboratorio), il calcolo e la verifica della compatibilità della sua stima s_r sono eseguiti secondo la presente guida.

Se σ_r non è noto, il calcolo di una sua stima attendibile s_r può derivare da un'attività di misurazione ben caratterizzata e sotto controllo statistico che dia luogo ad una serie continua di misure indipendenti eseguite in condizioni di ripetibilità sul livello di interesse; la serie viene suddivisa in N sottogruppi formati da n_i misure, di ciascuno dei quali sono calcolati lo scarto tipo e la varianza sperimentali (s_i, s_i^2); applicando la formula:

$$s_r^2 = \frac{\sum \nu_i s_i^2}{\sum \nu_i}$$

dove $\nu_i=n_i-1$, si ricava una stima cumulata della varianza che caratterizza la misurazione, che può essere continuamente aggiornata aumentando N. Le *carte di controllo* risultano lo strumento più adatto allo scopo.

Verifica della ripetibilità nel tempo.

Si applica obbligatoriamente a caratteristiche espresse come variabili (continue o discrete) aventi distribuzioni approssimativamente normali (in pratica unimodali).
Si effettua mediante una *prova in doppio* secondo la presente guida; per il calcolo si distinguono due casi, a seconda di quanto stabilito dal metodo di prova adottato:

- **Metodo di prova che richiede una singola osservazione**
  Lo scarto tipo sperimentale da utilizzare nelle formule (6) e (7) della presente guida è relativo alla popolazione delle singole osservazioni e la differenza in valore assoluto da considerare è la differenza tra due singole osservazioni.

- **Metodo di prova che richiede l'esecuzione di n osservazioni e l'espressione del risultato come media**
  Lo scarto tipo sperimentale da utilizzare nelle formule di cui sopra è relativo alla popolazione delle medie di *n* osservazioni, per la quale risulta

$$\bar{s}_r = \frac{s_r}{\sqrt{n}}$$

  e la differenza in valore assoluto da considerare è la differenza tra le due medie aritmetiche di due serie di osservazioni.

Note

1. L'inevitabile disomogeneità intrinseca del lotto/saggio legata al processo di fabbricazione o di provini/provette legata alla loro preparazione è indissociabile dalla variabilità connessa con gli altri fattori e rimane perciò inclusa nelle condizioni di ripetibilità.

2. L’eventuale criterio di verifica di buon funzionamento delle apparecchiature di prova, indicato in alcune norme come “ripetibilità della macchina” (ad esempio: durezza, resilienza, ecc.) non è utilizzabile ai fini della presente Guida.
3. A scopo di controllo da parte del laboratorio, la verifica della ripetibilità può applicarsi anche a caratteristiche del tipo passa/non passa, se risulta possibile, senza stravolgere il metodo, trasformarle in caratteristiche espresse come variabili (ad esempio: misura continua della sollecitazione di frattura, dell’angolo di piega o della profondità di imbutitura). In ogni caso deve essere noto lo scarto tipo di ripetibilità (e l’incertezza) delle grandezze di ingresso (ad esempio sollecitazione, altezza di caduta, ecc.)
4. Alla domanda della lista di riscontro riguardante l’esecuzione di prove in doppio, o ripetizione di prova già eseguita, riportando i due valori e il giudizio relativo alla ripetibilità del laboratorio, si deve rispondere evidenziando anche il limite di ripetibilità riportato dal metodo o calcolato dal laboratorio, per cui il giudizio non può essere di tipo qualitativo.

LA RIPETIBILITÀ NEL SETTORE ELETTRICO

Le caratteristiche, oggetto di prove nel settore elettrico, possono presentare una variabilità molto elevata, tale da rendere difficile l'attribuzione della stessa al metodo di prova e misura applicato dal Laboratorio, piuttosto che alla natura del sistema in esame, che è al di fuori del controllo del Laboratorio. E', tuttavia, compito di quest'ultimo valutare, in fase di definizione delle procedure, i contributi al limite dell'intervallo di ripetibilità attribuibili alla strumentazione ed alle modalità esecutive della prova stessa.
Al fine di esaminare le possibili casistiche riscontrabili nelle prove relative al settore elettrico, si riportano nel seguito le principali tipologie di prova e i criteri generali da seguire per la determinazione della ripetibilità.

Prove con verifiche di caratteristiche espresse in termini di variabili
Il risultato della prova consiste nella misura di una grandezza su un oggetto che presenta caratteristiche sufficientemente stabili nel tempo e che non subiscono degradamenti dovuti alle ripetizioni della prova (ad esempio misura di una tensione o di una lunghezza).
Si determina e si verifica lo scarto tipo di ripetibilità mediante un numero sufficiente di ripetizioni della prova.
La prova in doppio deve essere eseguita sullo stesso oggetto, scollegando i cablaggi e ripristinando nuovamente il circuito (o allestimento) di prova, che in molti casi contribuisce in modo determinante alla variabilità del risultato. Infatti la ripetibilità della prova non è quella dello strumento o del sistema utilizzato per misurare la caratteristica, bensì quella dell'intero circuito (o allestimento) di prova, che spesso può influire pesantemente sul risultato, come, per esempio, nel caso di misura di temperatura con l'impiego delle termocoppie. Pertanto la valutazione deve essere rapportata al metodo e non ad un singolo strumento/sistema di misurazione.
Nel caso particolare di prove EMC, limitando l'applicabilità della Guida alle caratteristiche quantitative, la ripetibilità deve essere controllata solo per le misure di emissione condotta ed irradiata ad alta e bassa frequenza. La misura deve essere ripetuta sull'intero spettro di frequenze, ripristinando ogni volta il circuito di prova. Per il calcolo si assume la differenza dei valori che, ad una qualunque frequenza, presentano il massimo scostamento.
Se la differenza dei valori non rientra nel limite di ripetibilità dichiarato dal laboratorio, occorre verificare che la causa non sia da ascriversi alla variabilità del dispositivo sottoposto a prova, che spesso presenta livelli di emissione differenti a seconda dei circuiti funzionanti nell'istante di effettuazione della misurazione ad una determinata frequenza. Nei casi dubbi è opportuno ripetere la misura utilizzando come sorgente un generatore di segnali.
Nel caso di oggetto in prova con caratteristiche scarsamente stabili o che si degradano si determina e si verifica lo scarto tipo di ripetibilità delle grandezze di stimolo, nonché dello strumento o del sistema utilizzato per misurare la caratteristica (per esempio verifica della caratteristica di intervento di un fusibile).
Ricadono in questa categoria anche le misure di campi elettromagnetici ambientali e di rumore acustico dal momento che l'ambiente è variabile nel tempo in modo imprevedibile. La verifica deve essere eseguita utilizzando una sorgente adeguatamente stabile.

Prove con verifiche di caratteristiche espresse per attributi
Questa categoria di prova include quelle di tipo “passa / non passa” (rigidità dielettrica, potere d’interruzione di apparecchiature di manovra e controllo, prove EMC d’immunità).
Si determina e si verifica lo scarto tipo di ripetibilità delle sole grandezze di stimolo.