



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

Seminario FAD - Cisco WebEx Ordine Ingegneri Napoli

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI

Napoli, 21 gennaio 2022

Salvatore Perno

salvatore.perno@uniroma1.it

Tensione?

Nella meccanica dei sistemi continui:

- Sforzo specifico
-
- Meglio: Strumento per rappresentare lo stato di sforzo in un punto

Si può misurare direttamente la tensione?

Si

No

La tensione è un'invenzione
degli'ingegneri
Al più ne misuriamo l'effetto

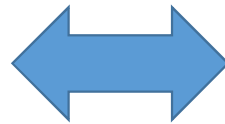
PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

Stato di deformazione



Stato di tensione

Conoscenza del Legame costitutivo

(nella sua forma più semplice: legame elastico lineare isotropo)

- 2 parametri: E , ν $\Rightarrow$ Legge di Hooke

Misura della deformazione $\Rightarrow \bar{\varepsilon} = \Delta L / L_0 \Rightarrow \bar{\sigma}$

Praticamente la sperimentazione fornisce valori medi di deformazione

La misura delle deformazioni attraverso la misura della variazione di resistenza

1a Legge di Ohm: In un reoforo isolato che non sia sede di F.E.M. l'intensità della corrente che lo attraversa è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale applicata ai suoi estremi

2a Legge di Ohm: La resistenza di un conduttore varia con la sua natura , è direttamente proporzionale alla sua lunghezza ed inversamente proporzionale alla sua sezione.

$$\Delta V = i R$$

$$R = \rho L / S$$

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

$$R = \rho L / A$$

$$dR = \rho (A dL - L dA) / A^2 = \rho (dL/A - L dA/A^2)$$

$$dR/R = dR \times A/(\rho L) = (dL/L - dA/A)$$

Considerando $A = A(r)$ e valendo:

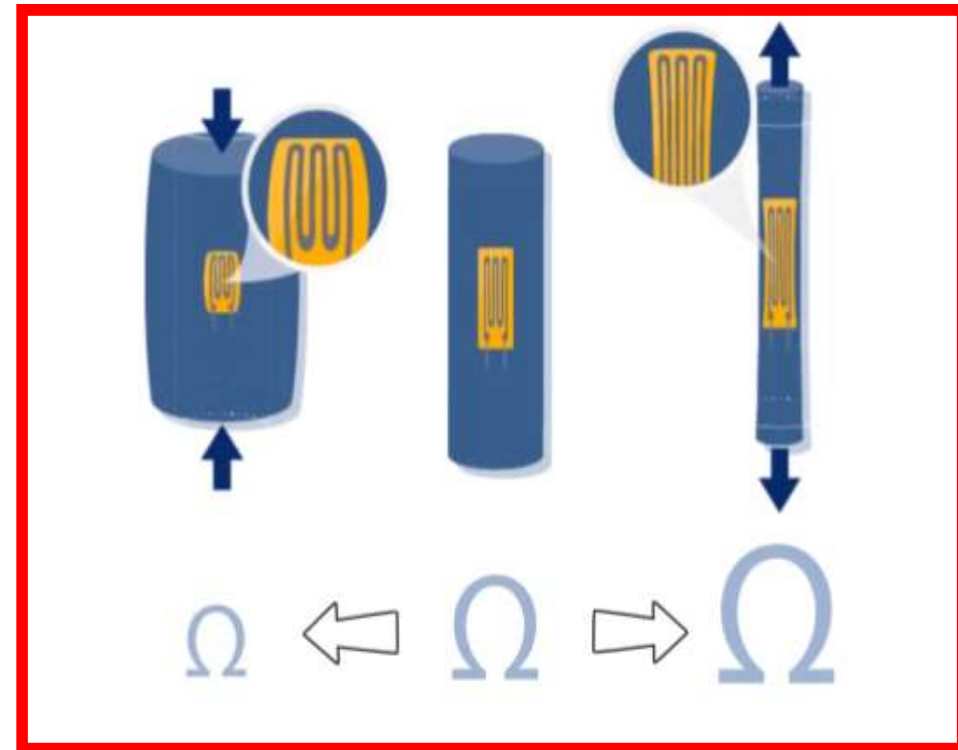
$$dr / r = -\nu dL/L, \text{ sar\`a}$$

$$dA/A = \pi 2r dr / \pi r^2 = 2 dr / r = -2\nu dL/L \text{ e quindi}$$

$$(dR/R) / (dL/L) = (1 + 2 \nu) \cong K$$

N.B.: in effetti ρ non \u00e8 costante.

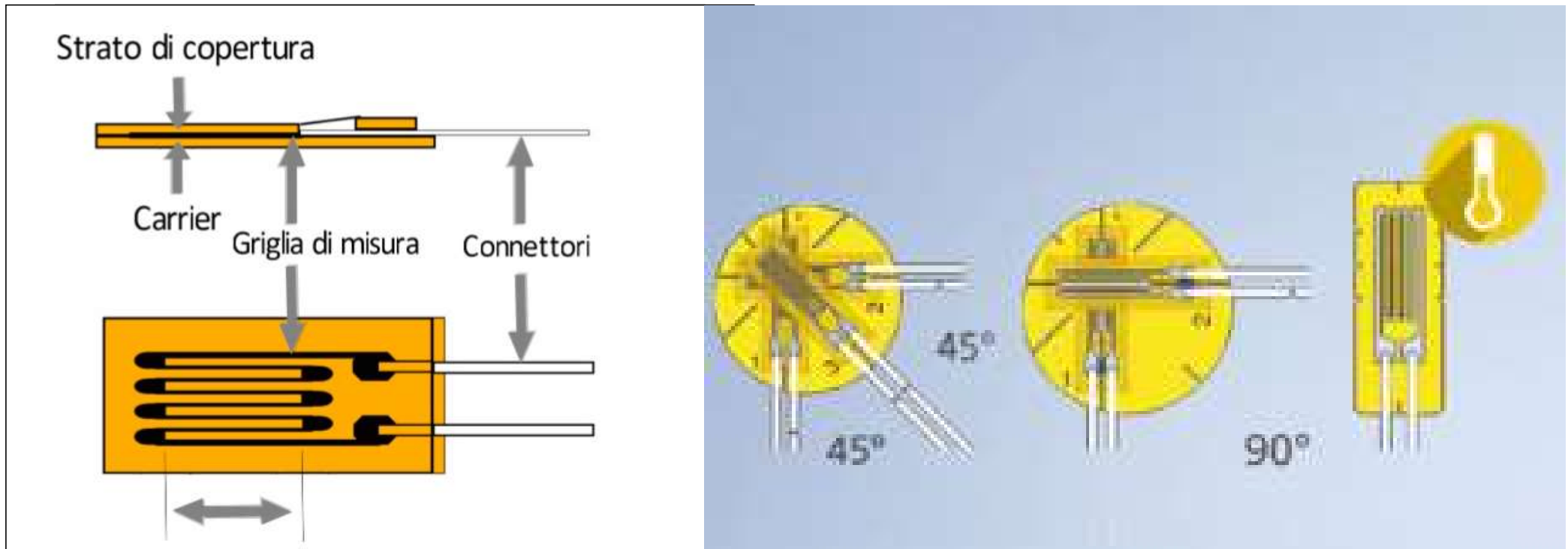
$$\frac{\Delta R}{R_0} = k \cdot \varepsilon$$



PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI

GLI ESTENSIMETRI ELETTRICI A RESISTENZA



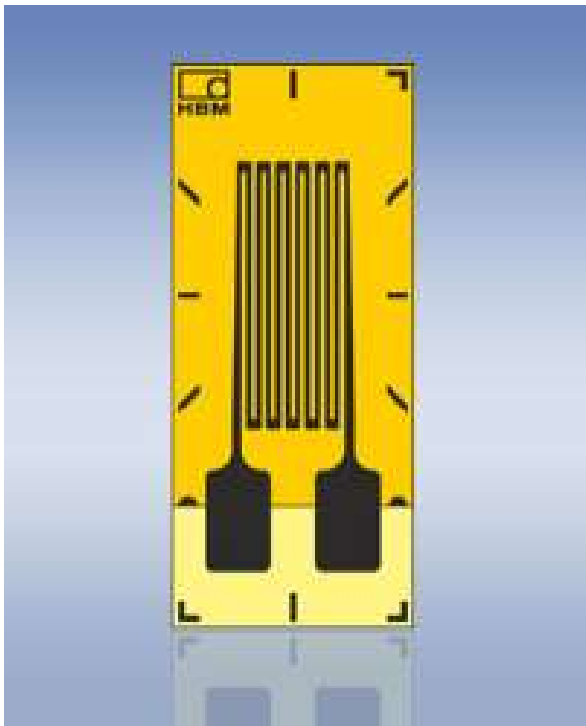
PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

GLI ESTENSIMETRI ELETTRICI A RESISTENZA



Posizione del problema:

- Misurare con accuratezza e precisione piccole variazioni di resistenza

Es.: barra di acciaio a sez. circolare $\varnothing 16$ $\Delta F = 2,00$ kN
 $A = 201$ mm² $\Delta \sigma = 2000 / 201 = 9,95$ N/mm²
 $\Delta \varepsilon \cong 9,95 / 210000 = 0,0047$ % = 47 $\mu\text{m} / \text{m}$

Ordine di grandezza delle variazioni di deformazione di interesse: 10^{-6}

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

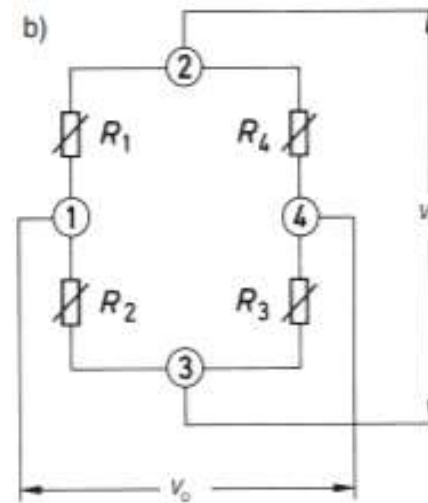
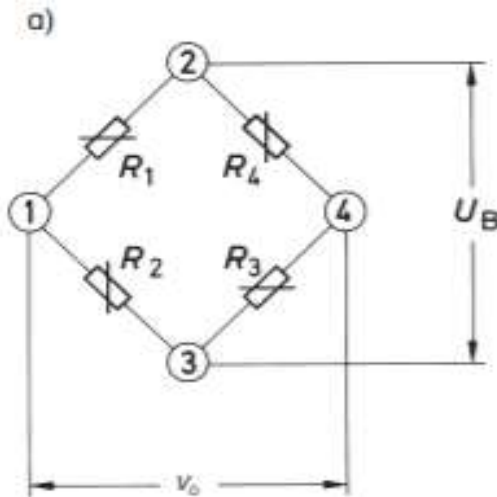
Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

Ponte di Wheatstone

*ideato da Samuel Hunter Christie (1784-1865),
diffuso da Sir Charles Wheatstone (1802-1875)*



$R_1 \dots R_4$: Resistenze / Bracci del ponte 1... 4

U_B ossia V_s Tensione di alimentazione del ponte (Alimentatore con bassa resistenza interna)

V_0 Tensione di uscita del ponte (misura con strumento ad alta R_{int} $I_{14} \rightarrow 0$)

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

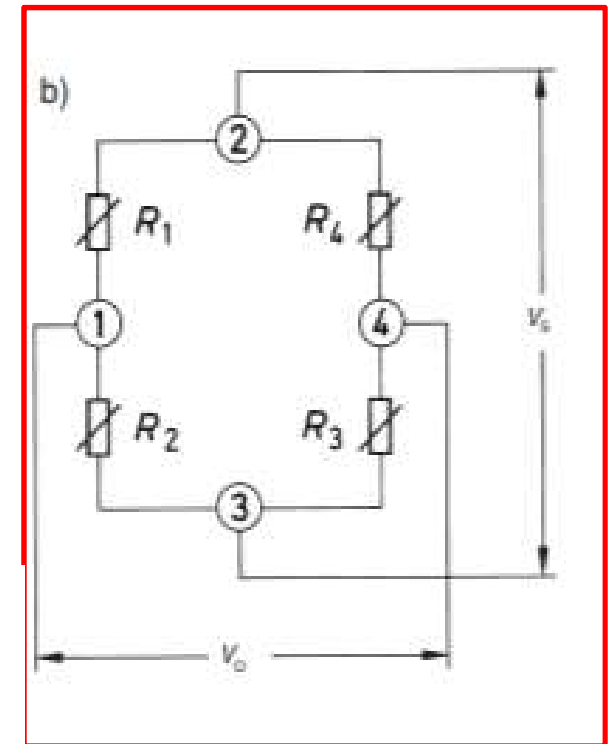
$$V_2 - V_1 = V_s \times R_1 / (R_1 + R_2) \quad V_2 - V_4 = V_s \times R_4 / (R_4 + R_3)$$

$$V_o = V_4 - V_1$$

$$V_o = V_s \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$$

Se le resistenze sono
estensimetri soggetti a
variazione di deformazione
(variazione di Resistenza)

$$V_o = V_s \left(\frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2} - \frac{R_4 + \Delta R_4}{R_3 + \Delta R_3 + R_4 + \Delta R_4} \right)$$



PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

Ponendo $R_2 = R_1$ e $R_4 = R_3$

$$V_o = V_s \left(\frac{(R_1 + \Delta R_1) \cdot (2R_3 + \Delta R_3 + \Delta R_4) - (R_3 + \Delta R_4) \cdot (2R_1 + \Delta R_1 + \Delta R_2)}{(2R_1 + \Delta R_1 + \Delta R_2) \cdot (2R_1 + \Delta R_3 + \Delta R_4)} \right)$$

$$V_o = V_s \left(\frac{R_1(\Delta R_3 + \Delta R_4) - R_1(\Delta R_1 + \Delta R_2) + 2R_3\Delta R_1 - 2R_1\Delta R_4}{4R_1R_3 + \boxed{2R_1\Delta R_3 + 2R_1\Delta R_4 + 2R_3\Delta R_1 + 2R_3\Delta R_2}} \right)$$

TRASCURABILI
RISPETTO AL 1°
TERMINE DEL
DENOMINATORE

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{R_1\Delta R_3}{4R_1R_3} + \frac{R_1\Delta R_4}{4R_1R_3} - \frac{R_3\Delta R_1}{4R_1R_3} - \frac{R_3\Delta R_2}{4R_1R_3} + \frac{2R_3\Delta R_1}{4R_1R_3} - \frac{2R_1\Delta R_4}{4R_1R_3}$$

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{R_1 \Delta R_3}{4R_1 R_3} + \frac{R_1 \Delta R_4}{4R_1 R_3} - \frac{R_3 \Delta R_1}{4R_1 R_3} - \frac{R_3 \Delta R_2}{4R_1 R_3} + \frac{2R_3 \Delta R_1}{4R_1 R_3} - \frac{2R_1 \Delta R_4}{4R_1 R_3}$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

Ponendo $\Delta R/R = k \varepsilon$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{k}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

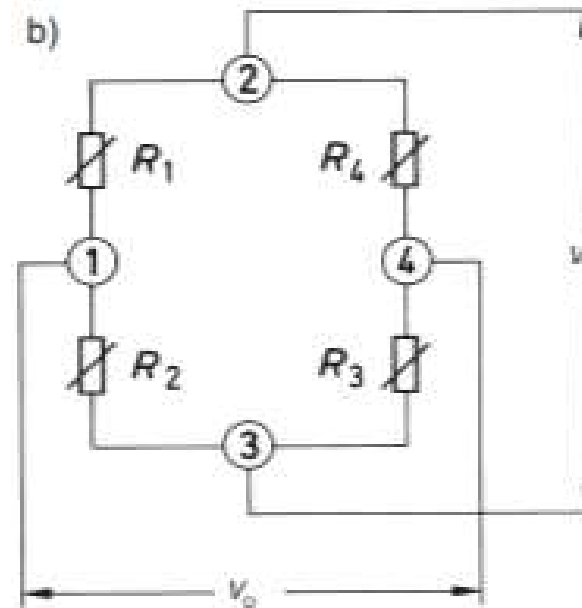
PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{k}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$



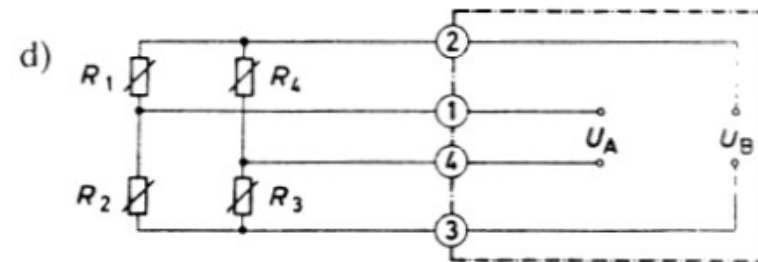
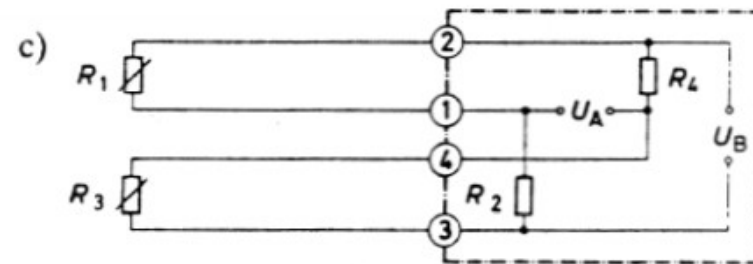
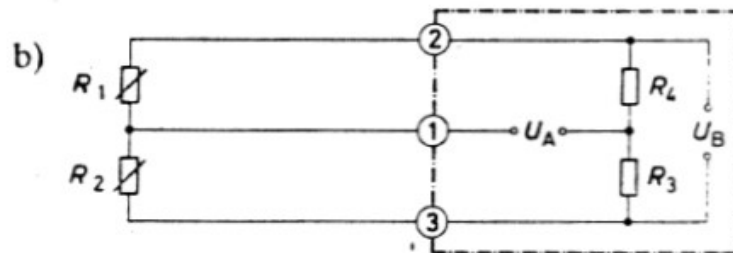
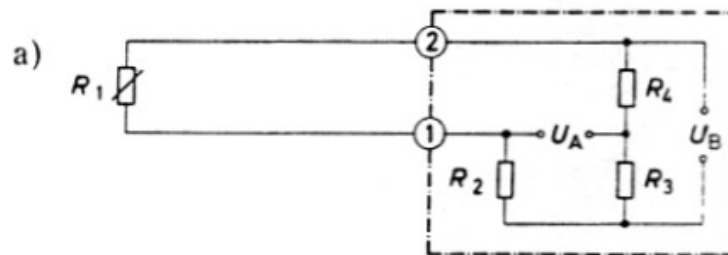
PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

- a) $\frac{1}{4}$ ponte c) $\frac{1}{2}$ ponte
b) $\frac{1}{2}$ ponte d) ponte intero



PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

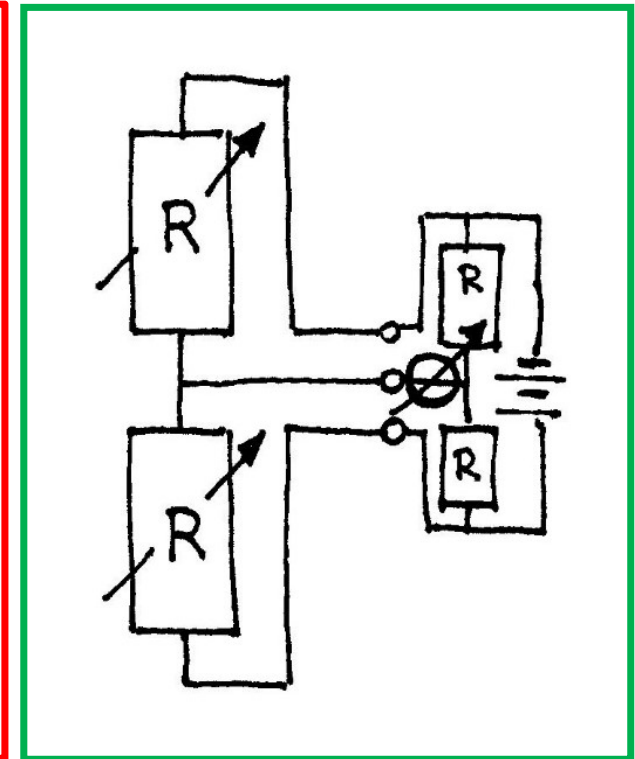
Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

COLLEGAMENTO A MEZZO PONTE (HALF BRIDGE)

- SONO SUFFICIENTI DUE ESTENSIMETRI ELETTRICI (IL CIRCUITO È COMPLETATO ALL'INTERNO DELLA CENTRALINA)
- IL COLLEGAMENTO PUÒ COMPENSARE L'EFFETTO DI VARIAZIONI DI TEMPERATURA SUGLI ESTENSIMETRI
- IN CASO DI STATO DI TENSIONE MONOASSIALE, PONENDO IL 2° ESTENSIMETRO IN DIREZ. PERPENDICOLARE, ESSO COGLIE LA DEFORMAZIONE TRASVERSALE LEGATA ALL'EFFETTO POISSON. IL SEGNALE LETTO È MOLTIPLICATO PER $(1 + \nu)$

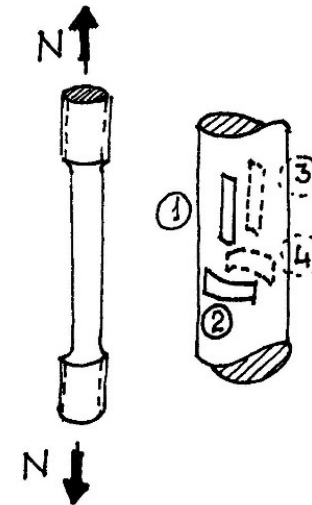
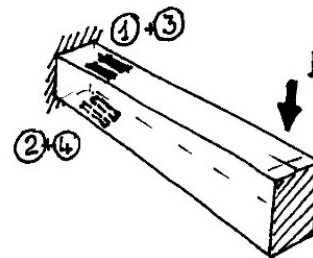
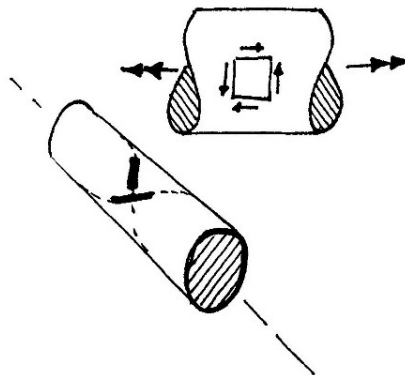
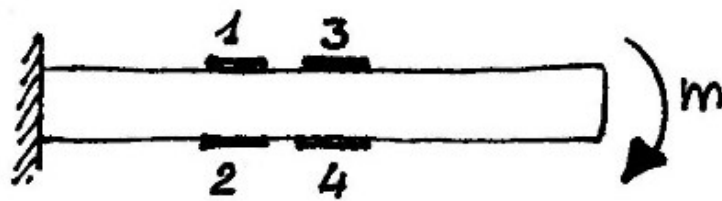


$\frac{1}{2}$ ponte

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

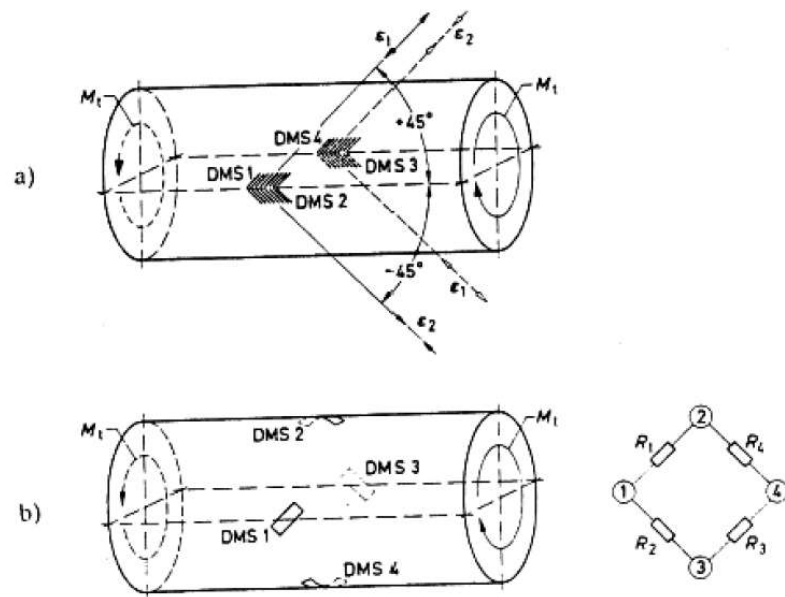
Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI

Ponte di Wheatstone



PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

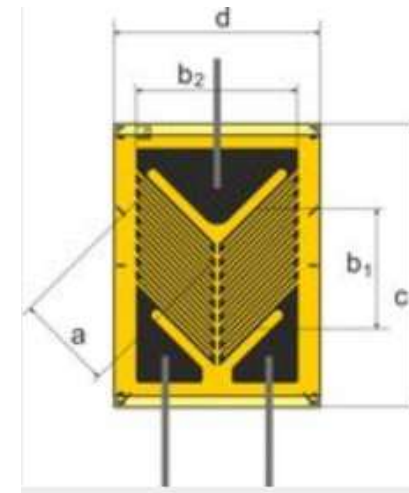
Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Albero di torsione con estensimetri applicati nelle direzioni di deformazione principali ϵ_1 e ϵ_2 e loro disposizione nel collegamento a ponte.

- a) Utilizzando rosette a X speciali
- b) Utilizzando estensimetri singoli

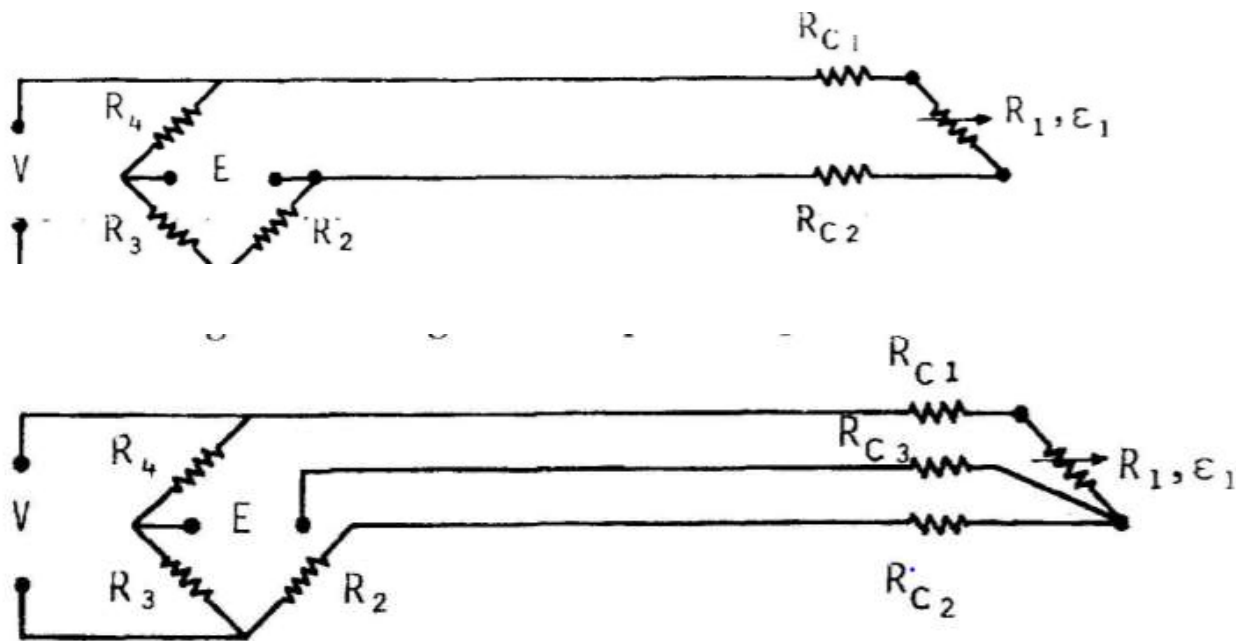
Ponte di Wheatstone



Alimentazione del ponte e amplificazione della tensione di uscita del ponte

- Gli amplificatori possiedono possibilità di messa a punto per la compensazione del punto di zero e la regolazione dell'amplificazione ai valori desiderati. Per gli amplificatori di misurazione a tensione alternata o a frequenza portante sono disponibili in caso di bisogno anche mezzi per la compensazione della fase.
- Il compito primario dell'amplificatore è quello di innalzare il segnale di uscita del collegamento a ponte dai millivolt al livello dei volt. La tensione del segnale amplificata deve essere una raffigurazione il più possibile esatta della grandezza di misurazione.
- Le grandezze di disturbo come tensioni termiche e dispersioni di rete non devono avere alcuna influenza.

Compensazione della temperatura in un quarto di ponte con collegamento a tre conduttori



PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

Compensazione della temperatura in un quarto di ponte in collegamento a tre conduttori

- Le rappresentazioni del funzionamento del ponte di Wheatstone rendono evidente che le variazioni di resistenza con lo stesso segno che si verificano in rami vicini diminuiscono lo sbilanciamento del ponte e, se uguali, si eliminano reciprocamente.
- Questa particolarità del collegamento a ponte si utilizza in svariati modi per la compensazione degli effetti di disturbo inclusa la risposta alla temperatura.
- Con il cosiddetto collegamento a 3 conduttori è possibile collegare i conduttori in rami vicini che causano la risposta alla temperatura.
- Ciò si realizza se si preleva il potenziale elettrico della tensione di uscita del ponte direttamente dall'estensimetro attraverso un terzo conduttore e lo si immette nello strumento di misurazione (da ciò il nome di «*collegamento a 3 conduttori*»).

Compensazione della temperatura in un quarto di ponte in collegamento a tre conduttori

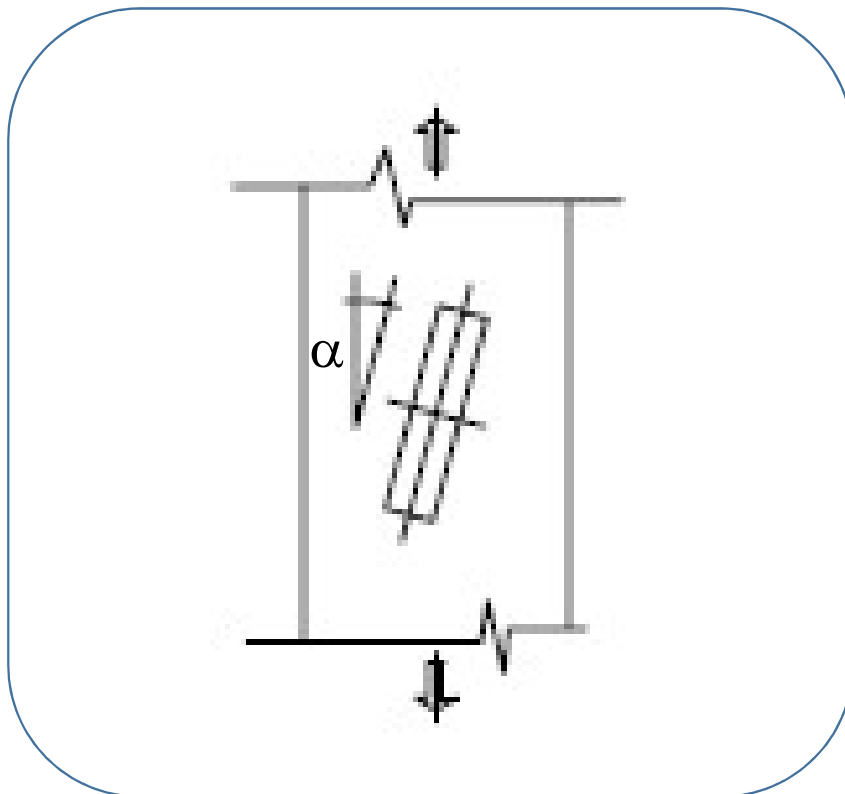
- Le rappresentazioni del funzionamento del ponte di Wheatstone rendono evidente che le variazioni di resistenza con lo stesso segno che si verificano in rami vicini diminuiscono lo sbilanciamento del ponte e, se uguali, si eliminano reciprocamente.
- Questa particolarità del collegamento a ponte si utilizza in svariati modi per la compensazione degli effetti di disturbo inclusa la risposta alla temperatura.

Compensazione della temperatura in un quarto di ponte in collegamento a tre conduttori

- Con il cosiddetto collegamento a 3 conduttori è possibile collegare i conduttori in rami vicini che causano la risposta alla temperatura.
- Ciò si realizza se si preleva il potenziale elettrico della tensione di uscita del ponte direttamente dall'estensimetro attraverso un terzo conduttore e lo si immette nello strumento di misurazione (da ciò il nome di *«collegamento a 3 conduttori»*).

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



STATO DI TENSIONE MONOASSIALE

$$\sigma_v = N/A ; \sigma_h = 0$$

$$\varepsilon_v = \sigma_v / E ; \varepsilon_h = -\nu \varepsilon_v$$

$$\varepsilon_v = 1/E [\sigma_v - \nu \sigma_h]$$

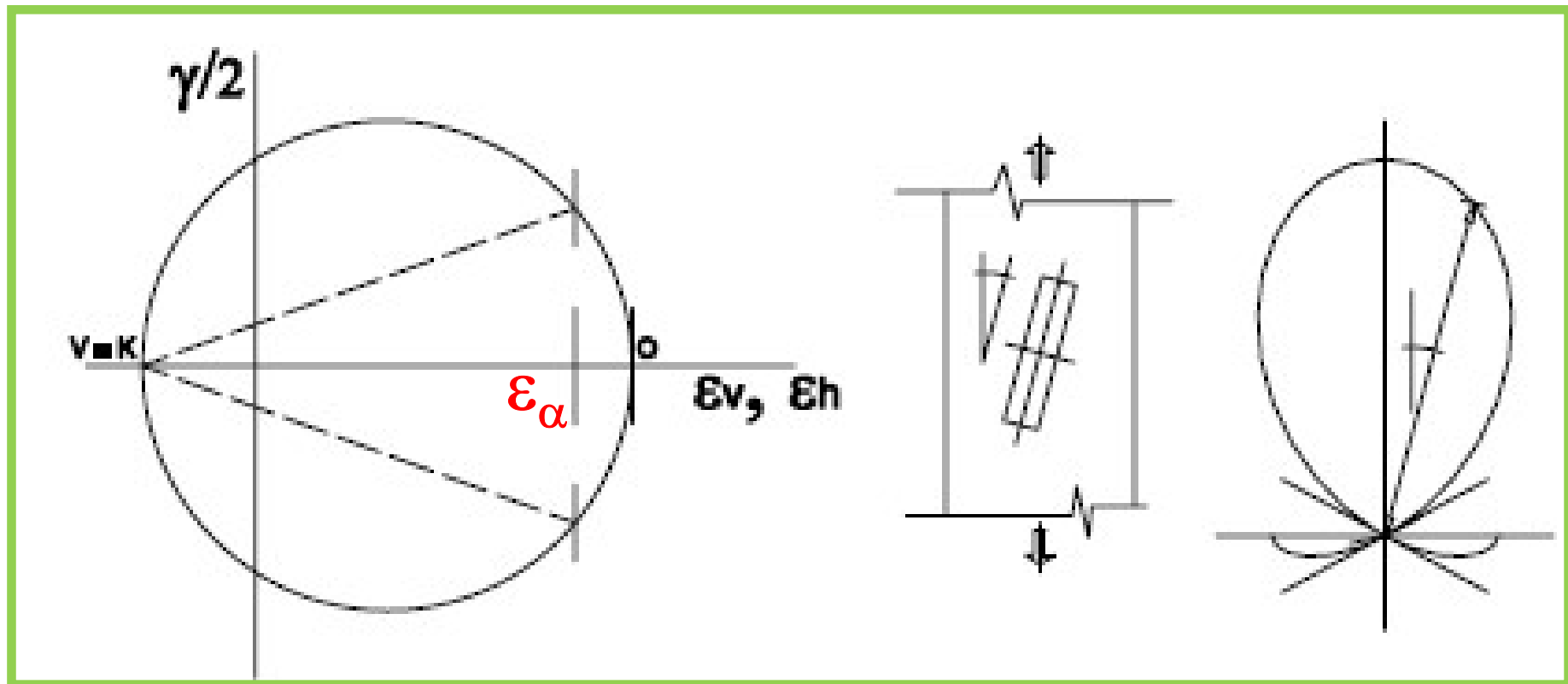
$$\varepsilon_h = 1/E [\sigma_h - \nu \sigma_v]$$

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

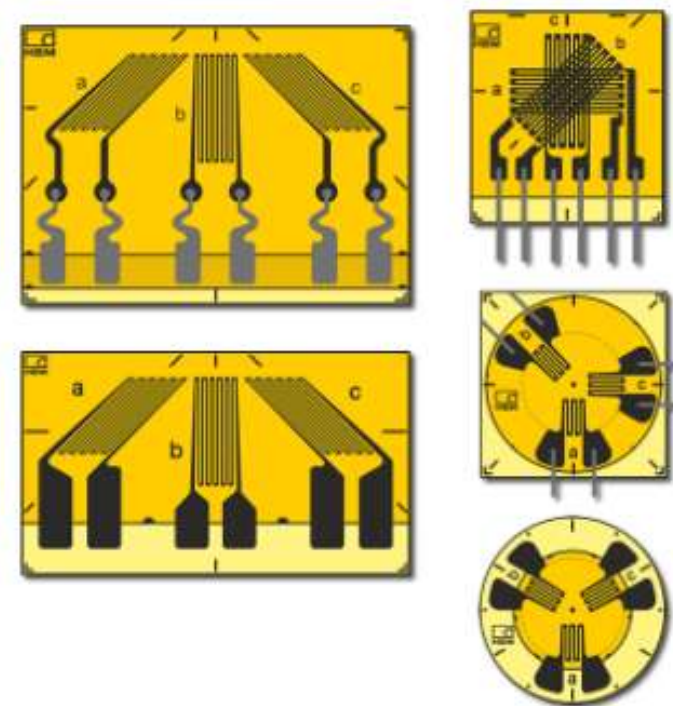
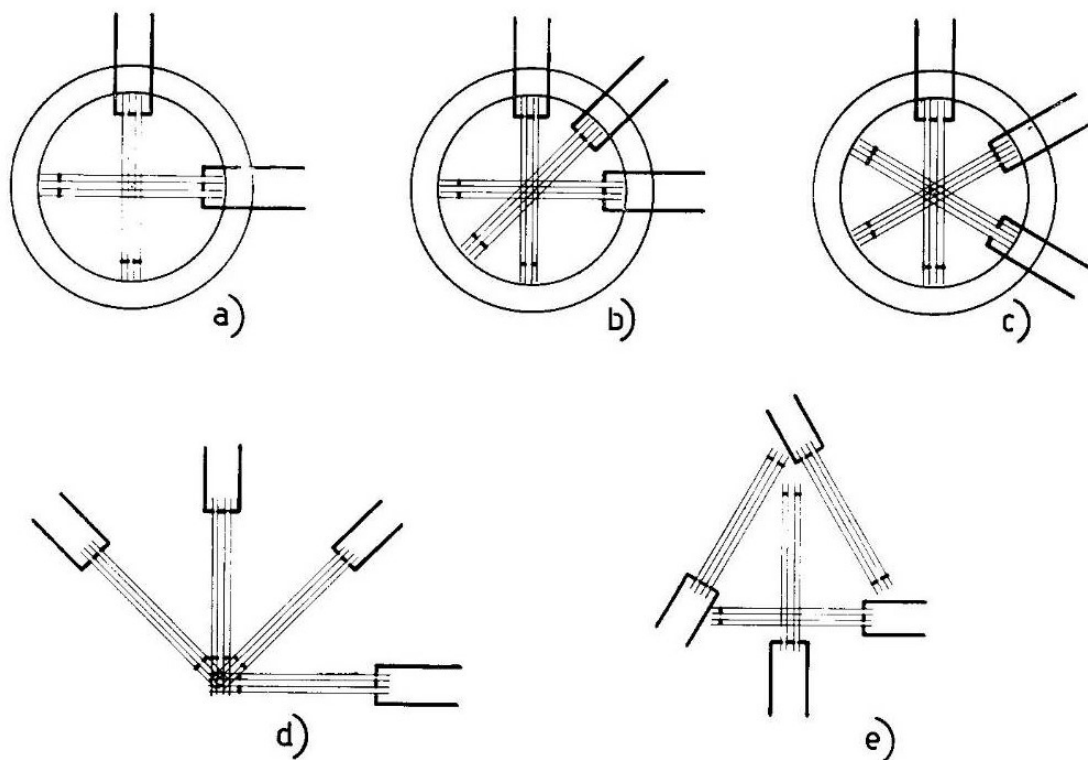
Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli



Le rosette estensimetriche



PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

Estensimetri «a ponte intero»



Gli estensimetri «a ponte intero» hanno **4 griglie di misura** disposte a 90°
Tipicamente per: **misurazioni di deformazioni (tensioni) principali a direzione nota. (Sollecitazione di trazione / compressione, torsione, taglio)**

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

ROSETTE ESTENSIMETRICHE

ROSETTA RETTANGOLARE

la giacitura α è rappresentata dal punto P nel piano $\sigma - \tau$

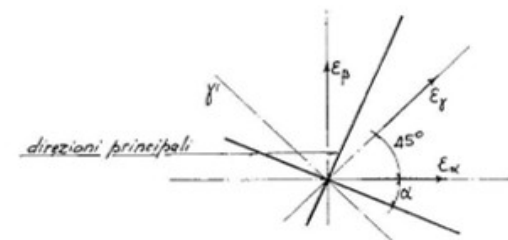
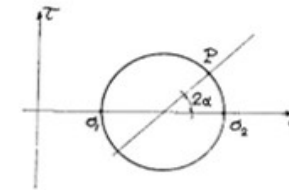
$$\sigma_{\alpha} = (\sigma_1 + \sigma_2) / 2 + [(\sigma_2 - \sigma_1) / 2] \cos 2\alpha$$

$$\text{valendo } \beta = \alpha + \pi/2 \Rightarrow \cos 2\beta = \cos (2\alpha + \pi) = -\cos 2\alpha$$

$$\sigma_{\beta} = (\sigma_1 + \sigma_2) / 2 - [(\sigma_2 - \sigma_1) / 2] \cos 2\alpha$$

$$\text{valendo } \gamma = \alpha + \pi/4 \Rightarrow \cos 2\gamma = \cos (2\alpha + \pi/2) = -\sin 2\alpha$$

$$\sigma_{\gamma} = (\sigma_1 + \sigma_2) / 2 - [(\sigma_2 - \sigma_1) / 2] \sin 2\alpha$$



PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

ROSETTE ESTENSIMETRICHE

ponendo $\gamma' = \alpha + 3\pi/4 \Rightarrow \cos 2\gamma' = \cos (2\alpha + 3\pi/2) = + \sin 2\alpha$

$$\sigma_{\gamma'} = (\sigma_1 + \sigma_2) / 2 + [(\sigma_2 - \sigma_1) / 2] \sin 2\alpha$$

In generale, assegnata una direzione qualsiasi x, vale: $E \varepsilon_x = \sigma_x - \nu \sigma_{(\pi/2 + x)}$

$$\text{Posto: } (\sigma_1 + \sigma_2) / 2 = s \quad (\sigma_2 - \sigma_1) / 2 = d$$

$$E \varepsilon_\alpha = \sigma_\alpha - \nu \sigma_\beta = s + d \cos 2\alpha - \nu (s - d \cos 2\alpha)$$

$$E \varepsilon_\beta = \sigma_\beta - \nu \sigma_\alpha = s - d \cos 2\alpha - \nu (s + d \cos 2\alpha)$$

$$E \varepsilon_{\gamma'} = \sigma_{\gamma'} - \nu \sigma_{\gamma'} = s - d \sin 2\alpha - \nu (s + d \sin 2\alpha)$$

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

ROSETTE ESTENSIMETRICHE

$$1) \quad E \varepsilon_{\alpha} = s (1 - \nu) + d (1 + \nu) \cos 2\alpha$$

$$2) \quad E \varepsilon_{\beta} = s (1 - \nu) - d (1 + \nu) \cos 2\alpha$$

$$3) \quad E \varepsilon_{\gamma} = s (1 - \nu) - d (1 + \nu) \sin 2\alpha$$

$$1) + 2) \Rightarrow E (\varepsilon_{\alpha} + \varepsilon_{\beta}) = 2 s (1 - \nu)$$

$$4) \quad s (1 - \nu) = E (\varepsilon_{\alpha} + \varepsilon_{\beta}) / 2$$

$$5) \quad s = E (\varepsilon_{\alpha} + \varepsilon_{\beta}) / [2 (1 - \nu)]$$

$$1) - 2) \Rightarrow E (\varepsilon_{\alpha} - \varepsilon_{\beta}) = 2 d (1 + \nu)$$

$$6) \quad d = E (\varepsilon_{\alpha} - \varepsilon_{\beta}) / [2 (1 + \nu)]$$

ROSETTE ESTENSIMETRICHE

sostituendo la 4) in 2) e 3) si trova:

$$2') \quad E \varepsilon_{\beta} - E (\varepsilon_{\alpha} + \varepsilon_{\beta}) / 2 = -d (1 + \nu) \cos 2\alpha$$

$$3') \quad E \varepsilon_{\gamma} - E (\varepsilon_{\alpha} + \varepsilon_{\beta}) / 2 = -d (1 + \nu) \sin 2\alpha$$

rapportando 3') / 2'):

$$7) \quad \tan 2\alpha = (2 \varepsilon_{\gamma} - \varepsilon_{\alpha} - \varepsilon_{\beta}) / (\varepsilon_{\beta} - \varepsilon_{\alpha}) = (\varepsilon_{\alpha} + \varepsilon_{\beta} - 2 \varepsilon_{\gamma}) / (\varepsilon_{\alpha} - \varepsilon_{\beta})$$

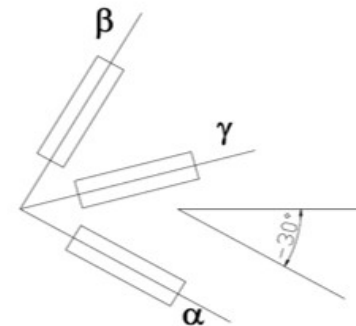
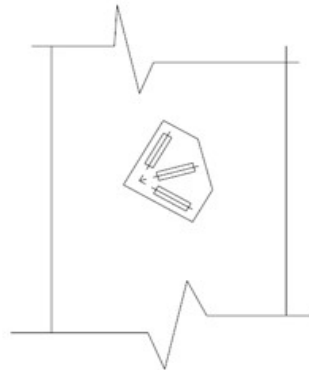
ROSETTE ESTENSIMETRICHE

Esempio:

$$\sigma_v = +120.00 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_h = 0$$

$$\varepsilon_v = (\sigma_v - \nu \sigma_h) / E = + 0.5714 \text{ ‰} = + 571.4 \text{ } \mu\varepsilon$$

$$\varepsilon_h = - \nu \varepsilon_v = - 0.1714 \text{ ‰} = - 171.4 \text{ } \mu\varepsilon$$



PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI

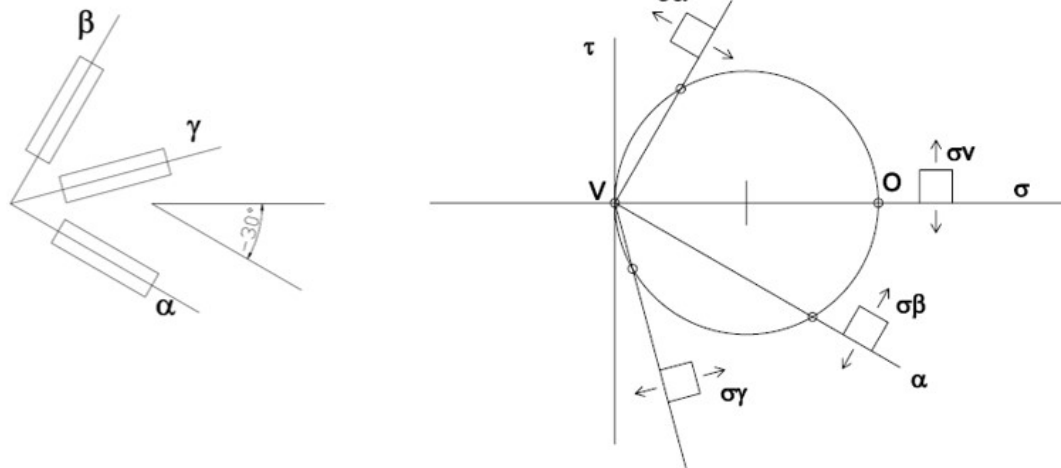


Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

ROSETTE ESTENSIMETRICHE

Dall'utilizzo della circonferenza di Mohr delle tensioni

$$\sigma_{\alpha} = +30.00 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{\beta} = +90.00 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{\gamma} = +8.04 \text{ N/mm}^2$$



PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

ROSETTE ESTENSIMETRICHE

e quindi

$$\varepsilon_{\alpha} = (\sigma_{\alpha} - \nu \sigma_{\beta}) / E = (30 - 0.3 \times 90) / 210000 = + 0.0143 \text{ ‰} = +14.3 \text{ } \mu\varepsilon$$

$$\varepsilon_{\beta} = (\sigma_{\beta} - \nu \sigma_{\alpha}) / E = (90 - 0.3 \times 30) / 210000 = + 0.3587 \text{ ‰} = + 385.7 \text{ } \mu\varepsilon$$

(per trovare ε_{γ} sulla scorta delle stesse formulazioni dovrei trovare prima σ_{γ} ,
in direzione γ' sulla perpendicolare alla direzione γ)

Dall'utilizzo della circonferenza di Mohr delle deformazioni

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI

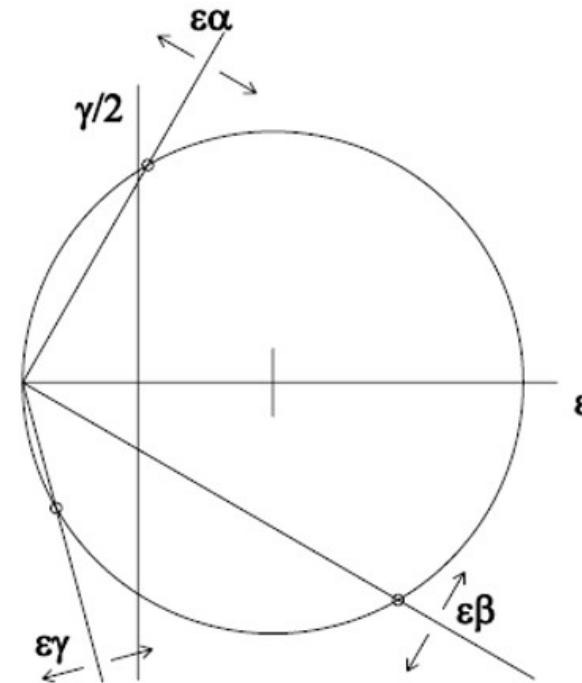


Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

ROSETTE ESTENSIMETRICHE

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\alpha} &= + 0.0143 \text{ ‰} = + 14.3 \text{ } \mu\varepsilon \\ \varepsilon_{\beta} &= + 0.3857 \text{ ‰} = + 385.7 \text{ } \mu\varepsilon \\ \varepsilon_{\gamma} &= - 0.1216 \text{ ‰} = - 121.6 \text{ } \mu\varepsilon\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tan(2\alpha) &= (\varepsilon_{\alpha} + \varepsilon_{\beta} - 2\varepsilon_{\gamma}) / (\varepsilon_{\alpha} - \varepsilon_{\beta}) = \\ (14.3 + 385.7 + 2 \times 121.6) / (14.3 - 385.7) &= 643.2 / -371.4 \\ \tan(2\alpha) &= -1.732 \quad 2\alpha = -60^{\circ} \quad \alpha = -30^{\circ}\end{aligned}$$



PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

ROSETTE ESTENSIMETRICHE

$$(\sigma_1 + \sigma_2)/2 = s = E (\varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta) / [2 (1 - \nu)] =$$

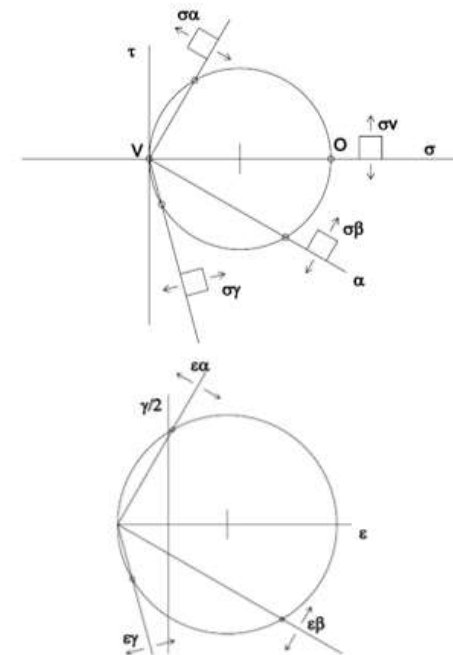
$$210000 \times (14.3 + 385.7) \times 10^{-6} / 1.4 = 60 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_2 - \sigma_1) / 2 = d = E (\varepsilon_\alpha - \varepsilon_\beta) / [2 (1 + \nu) \cos 2\alpha] =$$

$$(\sigma_2 - \sigma_1) / 2 = 210000 \times (14.3 - 385.7) \times 10^{-6} / (2.6 \times -0.5) =$$

$$-60 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_1 = 120 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_2 = 0$$



Tecnologia degli estensimetri ottici

La [tecnologia degli estensimetri ottici](#) è basata sull'impiego di fibre ottiche.

Gli estensimetri impiegano fibre ottiche in silicio stampate su rivestimenti polimerici (per conferire robustezza) con reticolo in *fibra di Bragg* (FBG)

Principio di funzionamento:

monitoraggio delle variazioni negli spettri della luce riflessa che si propaga nella fibra.

Come funziona:

in una fibra ottica la presenza di interferenze localizzate (incisioni) altera la propagazione della luce. La luce passa attraverso le incisioni ma vengono riflessi alcuni *bandgap*. La deformazione meccanica implica variazioni del periodo (variazioni lunghezza d'onda) nel segnale luminoso.

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI

ESTENSIMETRI OTTICI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

Immissione di luce laser a diverse lunghezze d'onda nella fibra ottica



Analisi della luce riflessa dal sensore ottico. Le alterazioni del segnale sono legate alla deformazione meccanica del componente.

Realizzazione

Il sensore viene creato modificando una fibra (tipo fibra per telecomunicazioni), con nucleo (fibra “drogata” con germanio (sotto forma di *tetracloruro di germanio*) per aumentarne l'indice di rifrazione senza variarne l'attenuazione.

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

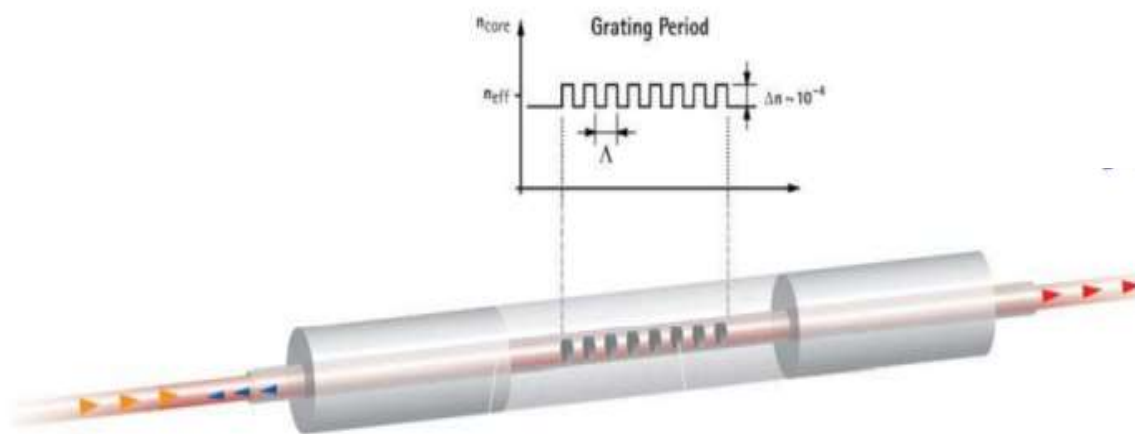
Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI

ESTENSIMETRI OTTICI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

Si viene a creare una variazione dell'indice di rifrazione nella fibra ottica.
Il centro della banda riflessa è noto come lunghezza d'onda di Bragg.
Questa varia al variare della tensione/ deformazione della fibra



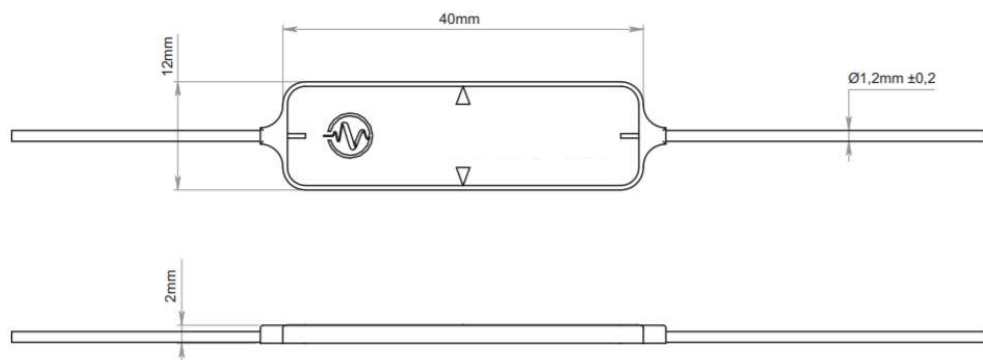
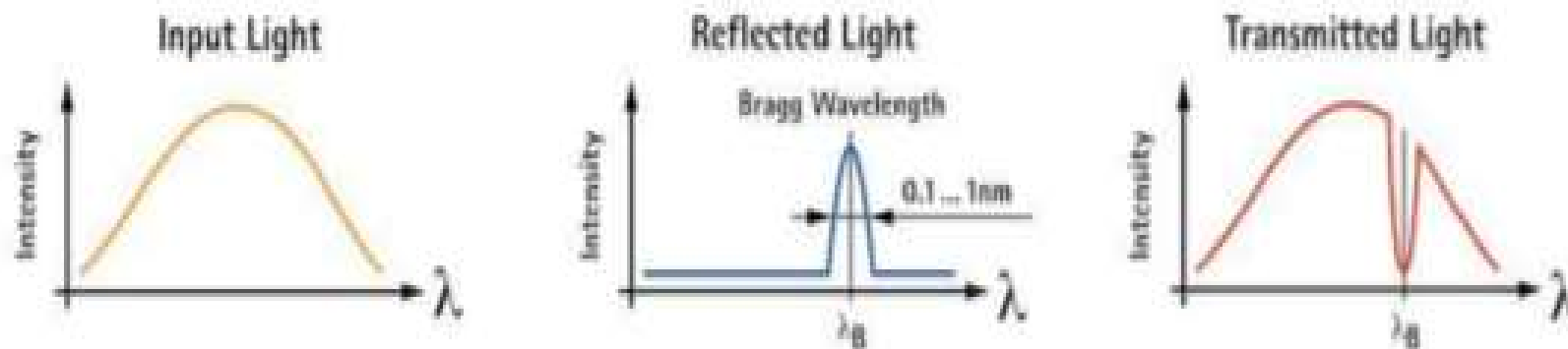
PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI

ESTENSIMETRI OTTICI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli



Estensimetro ottico
Applicazione mediante
incollaggio

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI

ESTENSIMETRI OTTICI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

Gli estensimetri ottici realizzati con fibra ottica sono robusti e facili da installare come gli estensimetri elettrici.

- sono insensibili ai campi elettromagnetici,
- Non hanno problemi di umidità (assenza di elettricità nel sensore)
- possono essere usati in atmosfere altamente esplosive,
- resistono ad alti carichi vibrazionali (nessun guasto meccanico del materiale del sensore),
- raggiungono 10 milioni di cicli di carico a $\pm 5.000 \mu\text{m/m}$ di deformazione alternata,
- hanno cavi di collegamento in fibra ottica molto più leggeri dei cavi di collegamento convenzionali,
- offrono un impegno di cablaggio molto ridotto rispetto a quello dei sensori elettrici.
- Si deve fare attenzione alle curvature imposte al cavo (generalmente minimo $15\varnothing$)

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI

ESTENSIMETRI OTTICI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli



Vari tipi di applicazione

- Nell'ingegneria civile hanno frequente applicazione nel monitoraggio delle deformazioni nel tempo
- Possono essere immersi nel getto in fase di realizzazione dell'opera

Gli estensimetri elettrici hanno al contrario problemi di deriva del segnale nel tempo e sensibilità ai campi elettromagnetici

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI

ESTENSIMETRI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

I disturbi elettromagnetici possono «sporcare» le letture di tensione elettrica e a volte essere **insidiosi**.

Un sottocampionamento di un segnale può portare a identificare frequenze non proprie del segnale originale (alias). Il campionamento per individuare una frequenza deve essere realizzato ad una frequenza almeno doppia

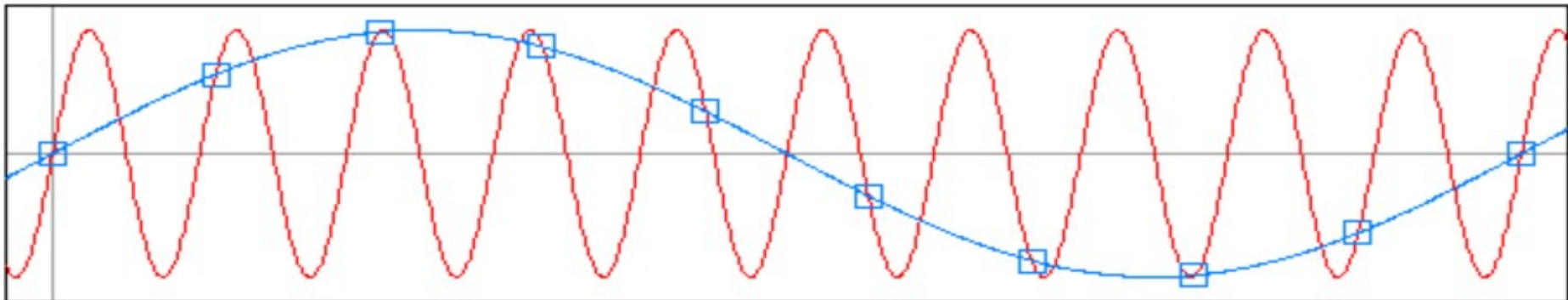


Immagine tratta da Wikipedia voce *Aliasing*

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI

ESTENSIMETRI



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

RILEVAZIONE DI DEFORMAZIONE ATTRAVERSO MISURE DI ALLUNGAMENTO SU BASE ASSEGNATA

Si tratta essenzialmente dell'impiego di trasduttori di spostamento (l'accuratezza arriva all'ordine del μm)

- Trasduttori resistivi
- Trasduttori induttivi
- Trasduttori capacitivi
- Trasduttori a corda vibrante

Corsa massima: dall'ordine del mm all'ordine del metro

Accuratezza: dipende in generale dalla corsa, per gli usi in esame arriva al μm)

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI

ESTENSIMETRI A CORDA VIBRANTE



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

ESTENSIMETRI A CORDA VIBRANTE

Principio di funzionamento:

La prima frequenza di una corda *perfetta* di massa lineica **m**, lunga **L** e soggetta alla trazione **N** vale:

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{N}{m}}$$

- La frequenza propria quindi varia con la radice quadrata dello sforzo **N** di trazione, ossia della tensione, ossia della deformazione, ossia dell'allungamento ΔL .
- Differenze di temperatura possono alterare la frequenza

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI

ESTENSIMETRI A CORDA VIBRANTE



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

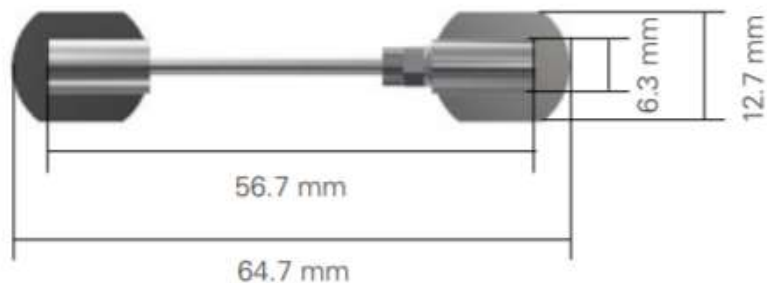
Principio di funzionamento:

- Nei sensori a corda vibrante la misura si basa sulla proporzionalità esistente fra l'allungamento di una corda e il quadrato del valore della frequenza di vibrazione della stessa.
- La corda deve essere corredata da un sistema di eccitazione della corda e di lettura della frequenza (attuatore/sensore elettromagnetico)
- In automatico avviene la interrogazione e la lettura dello strumento, con memorizzazione dei dati.
- Lo strumento è corredata da sistema interno per rilevazione della temperatura (termistore) e consentire la correzione degli effetti.
- La misura è di fatto quella di una grandezza meccanica. L'assenza di derive lo rende utile per applicazioni di lunga durata. Non è adatto per misure dinamiche. (campionamento molto basso)

PROVE DI RILASCIO TENSIONALE

Parte 1: INTRODUZIONE E RICHIAMI GENERALI

ESTENSIMETRI A CORDA VIBRANTE



Ordine degli Ingegneri
della provincia di Napoli

Method of installation	surface mount strain-gauge with spot-weldable end plates
Excitation method	pluck and sweep
Active gauge length	47.5 mm
Range (nominal)	500µε to 3500µε
Sensitivity ⁽¹⁾	1.0 µε
Accuracy ⁽²⁾	±0.5% FS
Stability	0.1% FS/year
Typical frequency range ⁽³⁾	from 1130 to 3000 Hz
Coil resistance	150 Ohm
Thermistor type	NTC 3 kΩ
Thermal coeff. of expansion	12.0 ppm / °C
Temperature range	-20°C a +80°C
Signal cable	OWE104SG0ZH

(1) Using a gauge factor, the measured frequency can be converted directly into units of strain

(2) With batch calibration

(3) The expressed frequency range could have a ±10% variation