

Calcoli del pozzetto termometrico

Emerson offre il nuovo strumento di calcolo del pozzetto termometrico, gratuito e online. Basato sullo standard ASME PTC 19.3 TW, lo strumento online gratuito è disponibile sul sito Rosemount.com/ThermowellCalc.

Provate subito e guardate il video in cui è descritto il nuovo standard.



Dirk Bauschke
Manager Engineering

David Wiklund
Ingegnere Principale Senior

Andrew Dierker
Ingegnere di Progetto Meccanico

Alex Cecchini
Ingegnere di Marketing Senior

Indice

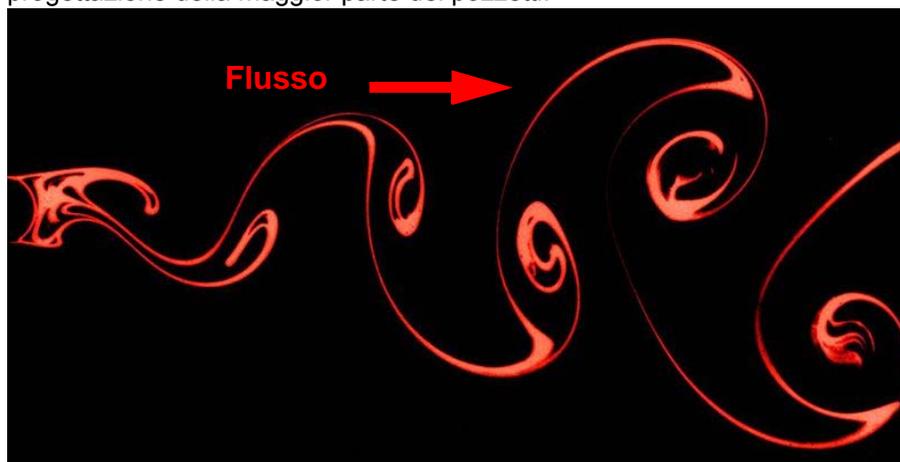
Calcoli del pozzetto termometrico

Introduzione	1-1
Breve storia dello standard ASME PTC 19.3	1-1
Metodologia dello standard ASME PTC 19.3-1974	1-2
Teoria del distacco di vortici	1-3
Sollecitazione di flessione e di pressione	1-9
Metodi di installazione alternativi	1-15
Definizione di lunghezza non supportata	1-18
Anelli stabilizzatori	1-20
Velocità media e profilo di velocità	1-21
Requisiti di realizzazione del pozzetto termometrico	1-21

Pozzetti termometrici

INTRODUZIONE

I pozzetti termometrici consistono essenzialmente in un cilindro circolare installato a sbalzo nelle tubazioni di processo per fornire protezione dalle condizioni di processo e una tenuta per isolare i sensori di temperatura dal processo. In caso di flusso laminare, turbolento e di transizione, al passaggio del fluido di processo attorno al pozzetto termometrico si creano vortici a bassa pressione a valle. La combinazione delle sollecitazioni generate dalle forze di resistenza viscosa longitudinali statiche del flusso di fluido e dalle forze ascensionali trasversali dinamiche causate dal distacco alternato di vortici crea un rischio di guasti meccanici da fatica al pozzetto termometrico. I progettisti di tubazioni hanno a disposizione un'ampia gamma di strumenti per prevedere e prevenire i guasti dei pozzetti termometrici negli impianti, ma la norma ASME PTC 19.3-1974 ha rappresentato lo standard principale per la progettazione della maggior parte dei pozzetti.



Scia di fumo evidenziata con colore che mostra la scia vorticoso di von Karman in un flusso di fluido laminare.⁽¹⁾

BREVE STORIA DELLO STANDARD ASME PTC 19.3



Lo standard risale al 1957, quando l'ASME (American Society of Mechanical Engineers) stabilì che le norme sulla misura della temperatura degli anni '30 non erano sufficienti, in quanto non comprendevano gli effetti termici e delle sollecitazioni, e chiese alla commissione che si occupava di caldaie e recipienti in pressione di creare un documento a questo proposito. La commissione, tuttavia, rifiutò sostenendo che non rientrava nelle loro competenze. L'incarico di preparare una sezione specifica su tutte le misure di temperatura per configurazioni con pozzetto termometrico venne quindi affidato a una commissione autonoma. Un documento di J.W. Murdock del 1959 avrebbe rappresentato la base di partenza per lo standard ASME PTC 19.3-1974.⁽²⁾

John Brock, della Naval Postgraduate School, condusse ulteriori ricerche nel 1974 e fece emergere vari fattori che Murdock aveva dato per scontati o ignorato. Brock avanzò suggerimenti quali l'uso di un numero di Strouhal variabile anziché fisso, l'applicazione di fattori di installazione approssimati alla frequenza naturale del pozzetto termometrico e la modifica del limite del rapporto di frequenza di 0,8 per meglio riflettere l'incertezza dei calcoli della frequenza naturale.⁽³⁾ Alcune di queste nuove idee dimostrarono che lo standard ASME PTC 19.3-1974 poteva essere migliorato.

(1) Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/Vortex_induced_vibration, voce aggiornata al 20/05/2011

(2) Murdock, J.W., "Power Test Code Thermometer Wells" *Journal of Engineering for Power* (1959).

(3) Brock, John E., "Stress Analysis of Thermowells", Naval Postgraduate School, Monterey CA (1974).

Pozzetti termometrici

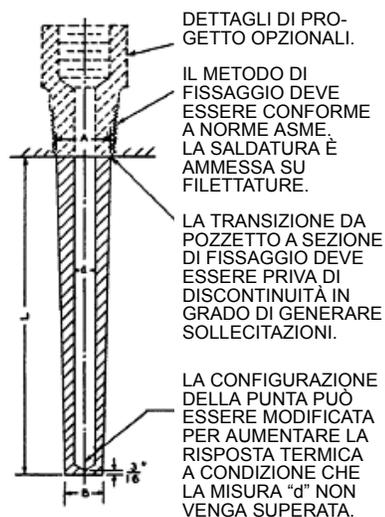
Lo standard ASME PTC 19.3-1974 non sembrava adeguato per tutte le installazioni. Un esempio di guasto da fatica catastrofico a un pozzetto termometrico di alto profilo fu la chiusura del reattore nucleare autofertilizzante a neutroni veloci di Monju, in Giappone, nel 1995 in seguito a una perdita in un circuito di raffreddamento a sodio liquido. Le indagini dimostrarono che il pozzetto termometrico era stato progettato in conformità ad ASME PTC 19.3-1974, ma la modalità del guasto era imputabile alla risonanza longitudinale, un fattore di cui lo standard non teneva conto. In conseguenza a tale incidente fu sviluppata una versione giapponese dello standard, denominata JSME S012.⁽¹⁾ Il reattore è stato riaccessso solo nel maggio 2010, dopo anni di indagini e battaglie legali.

Nella maggior parte dei casi, tuttavia, lo standard ASME PTC 19.3-1974 era stato utilizzato con risultati positivi per applicazioni sia su vapore sia su altri fluidi. Nel 1999 vari fattori chiave spinsero l'ASME a riunire nuovamente la commissione per riformulare completamente lo standard: i progressi nelle conoscenze sul comportamento dei pozzetti termometrici, numerosi guasti catastrofici (come quello di Monju) e il ricorso sempre più frequente all'analisi degli elementi finiti per la simulazione delle sollecitazioni. La combinazione di questi fattori fu uno stimolo ad abbandonare i metodi rudimentali e le tabelle semplificate dello standard ASME PTC 19.3-1974 a favore di metodi più avanzati per la previsione della frequenza naturale del pozzetto termometrico e per il calcolo della frequenza forzata.

Anziché limitarsi ad aggiornare la versione esistente dello standard ASME PTC 19.3-1974, la commissione scelse di pubblicare uno standard nuovo che riflettesse le significative modifiche derivate dall'intenso lavoro. Per un confronto, si consideri che nello standard ASME PTC 19.3-1974 la sezione dei calcoli del pozzetto termometrico comprendeva 4 pagine, nel nuovo standard, conosciuto come ASME PTC 19.3 TW-2010 ("TW" sta per "Thermowell", pozzetto termometrico), le spiegazioni della teoria e la mera complessità del processo hanno richiesto più di 40 pagine.

Lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010 è stato pubblicato nel luglio 2010.

METODOLOGIA DELLO STANDARD ASME PTC 19.3-1974



Come già accennato, lo standard del 1974 è molto succinto: comprende alcuni profili di stelo e utilizza equazioni semplificate per generare un modello del pozzetto termometrico per i calcoli della frequenza naturale. Nonostante ammetta tutti i metodi di fissaggio approvati dalle norme ASME per caldaie e recipienti a pressione e tubazioni, le equazioni dello standard non sono differenziate per le varie opzioni di montaggio più comuni (a flangia, a filettatura e a tasca a saldare); inoltre lo standard ignora gli effetti dei diversi profili di stelo (diritto, rastremato e a gradini). Non c'è alcuna indicazione per gli alesaggi di dimensioni non incluse nelle tabelle e quindi nelle equazioni relative ad alesaggi per sensori con diametro di 6 mm e di 1/4 in.

si devono utilizzare le stesse costanti; inoltre, non vengono fornite le costanti per gli alesaggi per sensori di 3 mm di diametro.

(1) Odahara, Sanoru, et al. "Fatigue Failure by In-line Flow-induced Vibration and Fatigue Life Evaluation", *JSME International Journal, Series A*, Vol. 48, No. 2 (2005).

Nonostante tutte le sue lacune, tuttavia, lo standard ASME PTC 19.3-1974 ha avuto il merito di stabilire una procedura semplice per la valutazione dei pozzetti termometrici che, proprio grazie alla sua semplicità, è stata largamente adottata nel settore: raccogliere dati sul processo e informazioni sui materiali del pozzetto, calcolare la frequenza naturale e di Strouhal, confrontare il rapporto con 0,8, calcolare la sollecitazione di flessione, confrontare la pressione massima con quella di processo e controllare la lunghezza massima rispetto a quella di interesse.

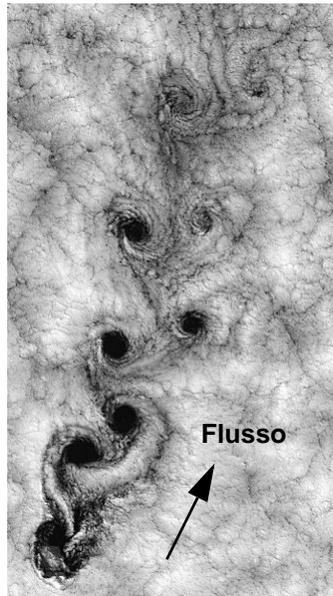
La fase di raccolta di dati sul processo e di informazioni sui materiali sarebbe elementare se non fosse che un tipo di dati non è più immediatamente disponibile: il “rapporto tra la frequenza alla temperatura di processo e la frequenza a 70 °F”, infatti, non è facile da trovare.

Il metodo per calcolare la frequenza naturale del pozzetto termometrico è basato su un'equazione semplice, ma alcuni dei termini, per esempio K_f , non sono definiti con precisione. Se la lunghezza U del pozzetto termometrico non corrisponde a una di quelle riportate nella tabella, per rimanere nei limiti prudenziali il progettista deve utilizzare i dati per la lunghezza superiore a quella del pozzetto. Per progettare un pozzetto termometrico accettabile, il rapporto tra la frequenza di Strouhal e la frequenza naturale “non deve essere maggiore” di 0,8.

La fase finale è costituita dalla valutazione della lunghezza del pozzetto termometrico in base alla sollecitazione a condizioni di regime per determinare la lunghezza massima del pozzetto affinché resista alla sollecitazione di flessione. Tale lunghezza viene quindi confrontata con la lunghezza desiderata per stabilire se è accettabile o se deve essere ridotta.

TEORIA DEL DISTACCO DI VORTICI

(fondamento di ASME PTC 19.3 TW-2010)



Quando un fluido incontra lungo il percorso un oggetto smussato e gli scorre attorno, a valle dell'oggetto si formano vortici. Il fenomeno è noto come distacco di vortici, scia vorticosa di Von Karman o vortici di flusso. I vortici sono celle di bassa pressione che si creano e si spostano a valle seguendo uno schema di alternanza. La pressione differenziale generata dai vortici alternati produce forze alternate sull'oggetto, sottoponendolo a sollecitazioni alternate durante la sua flessione. In natura sono esempi di questo fenomeno i gorgi nella corrente di un fiume a valle dei piloni di un ponte, le spirali delle nuvole sottovento rispetto alla cima di una montagna, o i suoni eolici prodotti dal vento quando soffia attraverso i cavi delle linee elettriche. Sebbene il distacco di vortici risulti utile per le misure del flusso di processo, i progettisti di pozzetti termometrici devono evitare che si verifichi per prevenire il rischio di guasti.

Immagine ripresa dal satellite Landsat 7 di una scia vorticosa di von Karman nelle nuvole sopra le isole Juan Fernandez, al largo delle coste cilene (15 settembre 1999).⁽¹⁾

(1) NASA Earth Observatory Website, “http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img_id=3328.”

Pozzetti termometrici

Dato che la principale causa dei guasti ai pozzetti termometrici è la fatica derivante dalla risonanza, il progettista deve comprendere il distacco di vortici per prevenirne gli effetti e prevedere la frequenza di distacco. Poiché il distacco di vortici si verifica a frequenze comprese tra circa 50 Hz e 1500 Hz, il pozzetto termometrico può essere sottoposto a un alto numero di cicli in un breve periodo di tempo.



Esempio di un guasto a un pozzetto termometrico causato dalla vibrazione indotta da vortici⁽¹⁾

Quando la frequenza di distacco dei vortici, o frequenza di Strouhal, si avvicina alla frequenza naturale del pozzetto termometrico, gli spostamenti e le sollecitazioni della punta sono notevolmente amplificati e il pozzetto può danneggiarsi a causa della grande quantità di energia che deve assorbire. Oltre alle condizioni di processo quali pressione, temperatura e corrosione, quindi, le valutazioni del progettista sull'idoneità complessiva per un'applicazione devono tenere in considerazione anche la resistenza a fatica a cicli elevati.

Velocità minima

In caso di fluidi di processo a flusso lento, l'energia trasferita dal fluido di processo al pozzetto termometrico non è sufficiente per provocare guasti da fatica. Se si rispettano le seguenti condizioni, non è necessario eseguire calcoli del limite di frequenza, poiché il rischio di guasto del pozzetto termometrico è trascurabile.

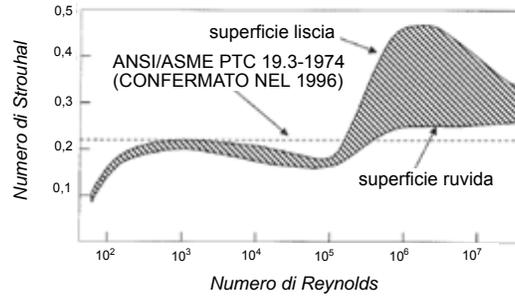
1. Velocità del fluido di processo, $V < 0,64$ m/s (2.1 ft/s)
2. Spessore della parete, $(A - d) \geq 9,55$ mm (0.376 in.)
3. Lunghezza non supportata, $L \leq 0,61$ m (24 in.)
4. Diametro della radice e della punta (A e B) $\geq 12,7$ mm (0.5 in.)
5. Sollecitazione massima consentita, $S \geq 69$ MPa (10 ksi)
6. Limite di resistenza alla fatica, $S_f \geq 21$ MPa (3 ksi)

Ciononostante, queste basse velocità possono comunque generare risonanza longitudinale e provocare guasti del sensore a causa dell'elevata vibrazione che si verifica durante la risonanza. Se i criteri elencati non sono soddisfatti, o se esiste un rischio di corrosione da sollecitazioni o di infragilimento del materiale dovuto all'interazione con il fluido (che causerebbe una variazione della resistenza alla fatica), il progettista deve valutare appieno e con attenzione la configurazione del pozzetto termometrico.

Numero di Strouhal

La questione se utilizzare un numero di Strouhal fisso o variabile è stata oggetto di molte discussioni. Lo standard ASME PTC 19.3-1974 utilizzava un numero di Strouhal fisso pari a 0,22, mentre Brock consigliava di usare un numero di Strouhal variabile a seconda del numero di Reynolds. Molti esperti del settore avevano cominciato a incorporare il numero di Strouhal variabile nelle equazioni della frequenza di distacco dei vortici già nell'ambito dello standard ASME PTC 19.3-1974, definendo tale procedura "metodo di Brock" o in termini analoghi.

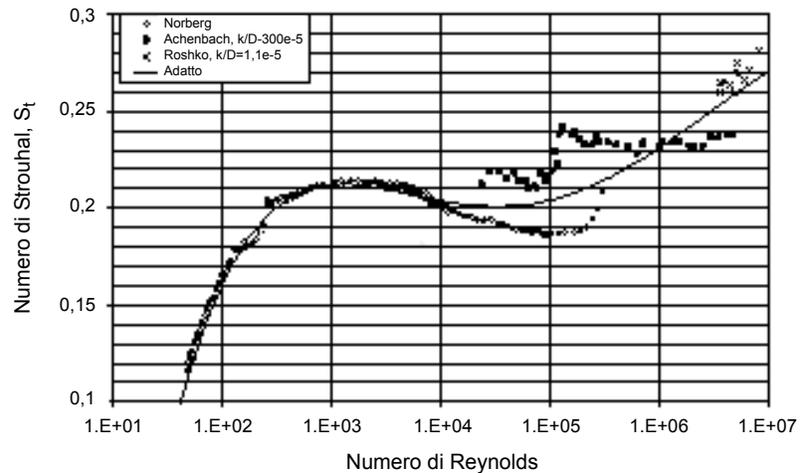
(1) Energy Institute, "Guidelines for the Avoidance of Vibration Induced Fatigue in Process Pipework" seconda edizione, (2008), numero della pubblicazione 978-0-85293-463-0.



Tipico grafico del numero di Strouhal come funzione del numero di Reynolds

Prima di decidere come utilizzare il numero di Strouhal variabile nello standard ASME PTC 19.3 TW-2010, la commissione analizzò gli esperimenti descritti di seguito. Due articoli pubblicati su JSME International Journal nel 2001 descrivevano interessanti risultati di prove su cilindri dritti e rastremati di forma simile ai pozzetti termometrici. Le forze e le ampiezze di vibrazione erano state misurate con i cilindri immersi in un flusso di fluido e le conclusioni dimostravano che l'elevato numero di Strouhal di esperimenti precedenti era basato su misure del distacco di vortici, non delle forze che effettivamente agivano sul pozzetto termometrico.^{(1) (2)}

Negli esperimenti le superfici "ruvide" erano definite tali se misuravano più di 128 Ra, ma nessun pozzetto termometrico usato nell'industria di processo ha un finitura della superficie superiore a 32 Ra. Quindi i limiti di sollecitazione e i calcoli in ASME PTC 19.3 TW-2010 non sono validi per finiture della superficie più ruvide di 32 Ra.



Dati effettivi del numero di Reynolds in un cilindro ruvido come funzione del numero di Reynolds.⁽³⁾

- (1) Sakai, T., Iwata, K., Morishita, M., e Kitamura, S., "Vortex-Induced Vibration of a Circular Cylinder in Super-Critical Reynolds Number Flow and Its Suppression by Structure Damping," JSME Int. J. Ser. B. 44, 712-720 (2001).
- (2) Iwata, K., Sakai, T., Morishita, M., e Kitamura, S., "Evaluation of Turbulence-Induced Vibration of a Circular Cylinder in Super-Critical Reynolds Number Flow and Its Suppression by Structure Damping," JSME Int. J. Ser. B. 44, 721-728 (2001).
- (3) ASME Standard, Performance Test Codes 19.3TW (draft 7).

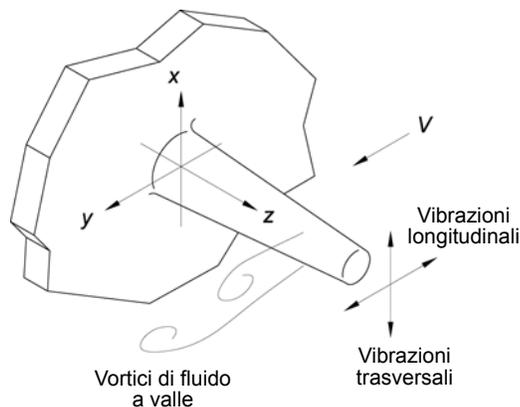
Pozzetti termometrici

Sulla base di questi dati, la commissione incaricata di elaborare lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010 decise di incorporare un numero di Strouhal variabile determinato dalla curva del cilindro ruvido. Per semplificare i calcoli, ai progettisti è anche consentito di approssimare prudenzialmente il numero di Strouhal a 0,22. Ciò risulta particolarmente utile quando non è possibile stabilire la viscosità dinamica o cinematica di un fluido per determinare il numero di Reynolds.

Numero di Reynolds

Il numero di Reynolds è un parametro fondamentale per qualsiasi flusso in condizioni di immersione completa e indica il rapporto tra le forze di inerzia e le forze viscosive nel campo di flusso. Per quanto riguarda gli elementi del distacco di vortici, il dato di lunghezza per il numero di Reynolds corrisponde alla larghezza dell'elemento che crea il distacco, che nel caso dei pozzetti termometrici è rappresentata dal diametro della punta.

Frequenza naturale del pozzetto termometrico



Forze indotte dal fluido e assegnazione degli assi per il calcolo delle sollecitazioni sul pozzetto termometrico⁽¹⁾

Nello standard ASME PTC 19.3 TW-2010 il pozzetto termometrico è rappresentato come un semplice “trave a sbalzo” a cui viene applicata una serie di fattori di correzione per rendere conto delle differenze rispetto alla trave teorica, quali l’aggiunta della massa del fluido e della massa del sensore, il profilo non uniforme del corpo a sbalzo e la conformità del montaggio. Per i pozzetti termometrici con stelo a gradini, tutte le correlazioni e i calcoli sono decisamente più complessi a causa della geometria e dei punti di concentrazione delle sollecitazioni.

A causa di ciò, lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010 limita la variazione delle dimensioni dei pozzetti termometrici con stelo a gradini presi in considerazione entro l’ambito dello standard.

Dopo avere applicato i fattori di correzione, viene calcolata la frequenza naturale “in sito”, ossia della specifica installazione, f_n^c , che sarà utilizzata per il resto dell’analisi di frequenza.

(1) ASME Standard, Performance Test Codes 19.3TW-2010.

Velocità critiche

Dopo aver determinato la frequenza naturale del pozzetto termometrico, il progettista deve stabilire il margine di sicurezza tra la frequenza naturale e la frequenza di Strouhal.

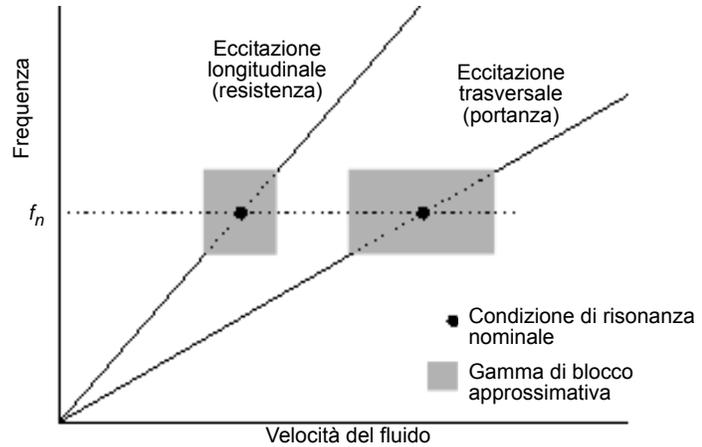


Diagramma dell'eccitazione longitudinale e trasversale con indicazione dell'area di "blocco".⁽¹⁾

Di fatto sono presenti due modalità di eccitazione del pozzetto termometrico. La forza trasversale (portanza) fa vibrare il pozzetto perpendicolarmente rispetto al flusso, mentre la forza longitudinale (resistenza) causa vibrazioni parallele al flusso. La vibrazione longitudinale ha una frequenza circa doppia a quella trasversale. La "velocità critica" (frequenza di Strouhal uguale alla frequenza naturale) è circa la metà della velocità trasversale. Lo standard ASME PTC 19.3-1974 non prende in considerazione la vibrazione longitudinale, ma solo la sollecitazione di flessione a condizioni di regime.⁽²⁾

Mentre la variazione della frequenza di distacco è proporzionale alla velocità del fluido, il pozzetto termometrico si blocca molto facilmente alla frequenza di risonanza. E può essere necessaria una variazione di velocità notevole per far sì che il pozzetto termometrico cessi di causare il distacco di vortici alla sua frequenza naturale. Poiché lo smorzamento dei tipici pozzetti termometrici è molto basso, è essenziale evitare la risonanza. In presenza di tale fenomeno, infatti, le forze e gli spostamenti risultano significativamente amplificati.

$$f_s < 0,8 f_n^c$$

La fascia di protezione del 20% è giustificata dalla notevole variabilità dovuta a:

- non linearità della risposta elastica del pozzetto termometrico;
- imprecisione delle tolleranze di fabbricazione del pozzetto termometrico;
- informazioni sulle proprietà dei materiali espresse con solo 3 cifre significative;
- regolari variazioni di piccola entità della portata, della temperatura, della densità o della viscosità nel processo.

Poiché le vibrazioni longitudinali si verificano a circa la metà della velocità di quelle trasversali (ovvero a una frequenza doppia), ai liquidi si applicano ulteriori limitazioni.

$$2f_s < 0,8 f_n^c$$

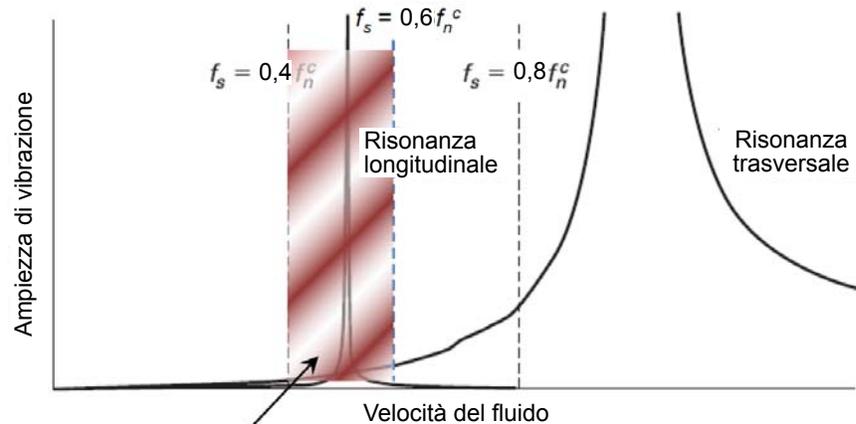
(1) ASME Standard, Performance Test Codes 19.3TW-2010.

(2) ASME Standard, Performance Test Codes 19.3-1974 (confermato nel 1998).

Pozzetti termometrici

Una prospettiva leggermente diversa offre una visione più ampia delle condizioni che consentono l'uso di pozzetti termometrici.

$$f_s \text{ (condizioni di regime)} < 0,4 f_n^c \quad \text{o} \quad 0,6 f_n^c < f_s \text{ (condizioni di regime)} < 0,8 f_n^c$$



Intervallo di valori da evitare

Grafico che rappresenta la risposta di ampiezza di un pozzetto termometrico alle forze generate dal fluido.⁽¹⁾

Lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010 comprende anche una clausola per il funzionamento “super critico”, ovvero quando il pozzetto termometrico è utilizzato al di sopra della sua frequenza naturale. Emerson consiglia vivamente di non utilizzare i pozzetti termometrici in tale gamma di valori.

Numero di Scruton

Un aspetto innovativo della teoria è l'uso del numero di Scruton, che rappresenta lo smorzamento intrinseco del pozzetto termometrico. Lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010, con una prospettiva molto prudente, prevede un fattore di smorzamento di 0,0005, salvo quando diversamente stabilito.

Un numero di Scruton minore di 2,5 indica che non è presente uno smorzamento intrinseco e che il pozzetto termometrico deve essere valutato alla frequenza di risonanza longitudinale, evitando la frequenza di risonanza trasversale. All'aumentare del numero di Scruton corrisponde un aumento del livello di smorzamento intrinseco, che riduce la flessione e, di conseguenza, le sollecitazioni. Un livello di smorzamento accettabile consente di utilizzare il pozzetto termometrico alla frequenza di risonanza longitudinale e forse anche a quella di risonanza trasversale.

Se le condizioni sono tali da permettere l'uso del pozzetto termometrico a valori superiori alla frequenza naturale, è necessario prendere in considerazione un ordine di risonanze più elevato, ma lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010 non fornisce alcuna indicazione in questo senso ed Emerson consiglia vivamente di non utilizzare i pozzetti termometrici in tale gamma di valori.

(1) Adattato da ASME Standard, Performance Test Codes 19.3TW-2010.

SOLLECITAZIONE DI FLESSIONE E DI PRESSIONE

(come utilizzata in ASME PTC 19.3 TW-2010)

Si può avere l'impressione che molta attenzione venga riservata alla teoria del distacco di vortici e alla sua applicazione, ma le sollecitazioni all'interno del pozzetto termometrico e le forze applicate sono altrettanto fondamentali ai fini di una valutazione dell'idoneità per applicazioni di processo specifiche. Al contrario del semplice metodo previsto dalla versione del 1974, lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010 entra molto più nel dettaglio per quanto riguarda la frequenza e le sollecitazioni sul pozzetto termometrico. Questo approccio permette di utilizzare una gamma più ampia di tipi di montaggio, profili e dimensioni dell'alesaggio, riflettendo l'attuale offerta di mercato.

Nel complesso, lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010 comprende 4 criteri quantitativi per definire un pozzetto termometrico accettabile per una specifica serie di condizioni di processo:

1. **Limite di frequenza:** la frequenza di risonanza del pozzetto termometrico deve essere sufficientemente alta da impedire che le oscillazioni distruttive vengano eccitate dal flusso di fluido.
2. **Limite di sollecitazione dinamica:** la sollecitazione dinamica primaria massima non deve superare il limite di sollecitazione da fatica consentito. Se la configurazione richiede che il pozzetto termometrico passi attraverso la risonanza longitudinale per raggiungere le condizioni di esercizio, è richiesta un'ulteriore verifica della fatica in condizioni di risonanza.
3. **Limite di sollecitazione statica:** la sollecitazione massima a condizioni di regime sul pozzetto termometrico non deve superare la sollecitazione consentita, determinata utilizzando il criterio di Von Mises.
4. **Limite di pressione idrostatica:** la pressione esterna non deve superare i valori nominali di pressione della punta, del gambo e della flangia (o filettature) del pozzetto termometrico.

È inoltre necessario prendere in considerazione l'idoneità per l'ambiente di processo del materiale del pozzetto termometrico. Ciò significa che il progettista deve valutare l'impatto della corrosione e dell'erosione sul pozzetto termometrico, nonché delle condizioni di processo sulle proprietà dei materiali.

Limite di frequenza

Nella sezione sulla teoria del distacco di vortici viene discusso il metodo dello standard ASME PTC 19.3 TW-2010 per il calcolo della frequenza di Strouhal. Se la frequenza di Strouhal è compresa tra la fascia di blocco della frequenza critica longitudinale e la fascia di blocco della frequenza critica trasversale e dalla valutazione del numero di Scruton emerge che lo smorzamento è insufficiente, la configurazione del pozzetto termometrico deve essere modificata, fatto salvo il caso in cui le seguenti condizioni siano soddisfatte:

1. Il fluido di processo è un gas.
2. Il pozzetto termometrico passa attraverso la risonanza longitudinale solo durante le fasi di avviamento, arresto, o comunque raramente durante il funzionamento.
3. La sollecitazione di picco in fase di risonanza è inferiore al limite di fatica del materiale.
4. Il fluido di processo non causa variazioni delle proprietà dei materiali, in particolare della resistenza alla fatica.
5. Le conseguenze di un guasto del pozzetto termometrico sono un rischio accettabile.

Pozzetti termometrici

Passaggio attraverso la risonanza longitudinale

Se la sollecitazione di flessione oscillante di picco è minore del limite di resistenza alla fatica alla velocità longitudinale critica, il pozzetto termometrico può passare attraverso l'area di blocco della risonanza longitudinale per raggiungere la velocità di progetto alle condizioni di regime. Non sono ammesse velocità a condizioni di regime all'interno dell'area di blocco della risonanza longitudinale a causa sia dell'elevato numero di cicli di fatica imposti al pozzetto termometrico, sia della maggiore probabilità di danni al sensore.

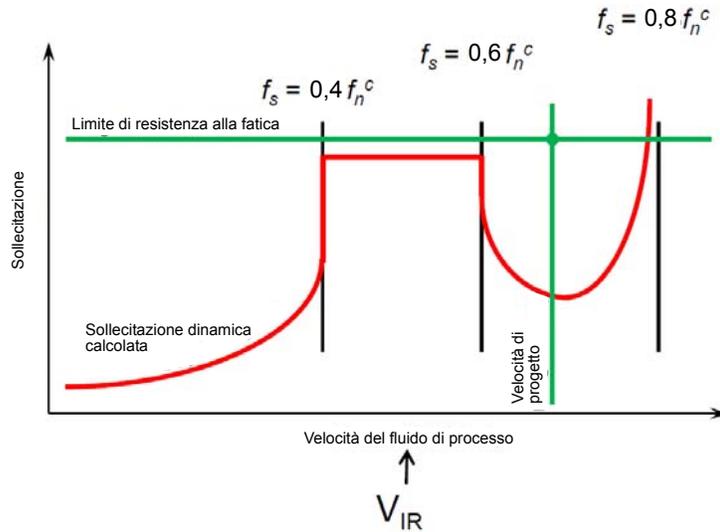


Grafico di un esempio di configurazione di pozzetto termometrico che supera la valutazione della risonanza longitudinale.

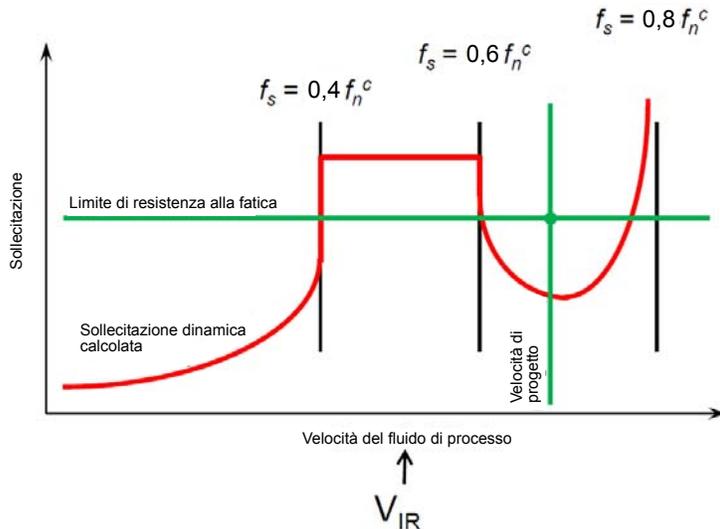


Grafico di un esempio di configurazione di pozzetto termometrico che non supera la valutazione della risonanza longitudinale. La configurazione può essere accettabile in base allo standard ASME PTC 19.3 TW-2010.

Se invece la sollecitazione di flessione oscillante di picco è maggiore del limite di resistenza alla fatica alla della velocità longitudinale critica, il funzionamento del pozzetto termometrico al di sopra di tale valore è più incerto. In teoria, se il pozzetto termometrico passa rapidamente attraverso l'area di blocco della risonanza longitudinale, è consentito utilizzarlo nella gamma compresa tra $0,6 f_n^c$ e $0,8 f_n^c$. Considerando che il conteggio dei cicli di fatica si accumula durante la durata utile del pozzetto termometrico, è fondamentale sapere per quanto tempo il pozzetto rimane in risonanza. Poiché la durata a fronte della fatica dipende da molti fattori, più a lungo il pozzetto termometrico rimane in risonanza e più incerta sarà la sua durata utile.

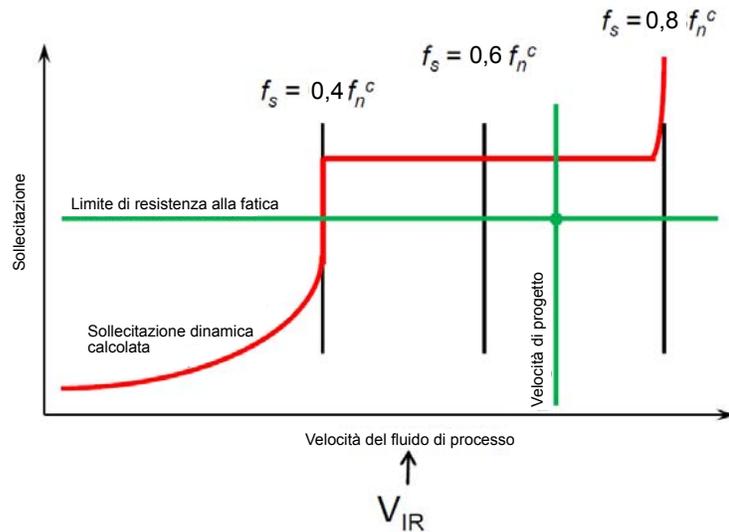
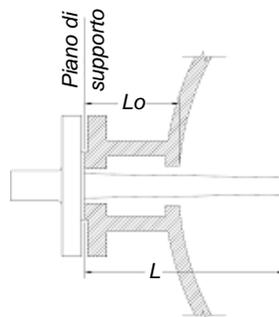


Grafico di esempio dell'interpretazione di Emerson della valutazione della risonanza longitudinale. Questa configurazione sarebbe considerata inaccettabile da Emerson.

Dato che i dettagli della velocità progressiva di progetto non sono noti ai fornitori degli strumenti, i pozzetti termometrici che non superano la valutazione della sollecitazione di flessione oscillante di picco e sono utilizzati a una velocità longitudinale superiore a quella critica saranno considerati inaccettabili da Emerson.

Pozzetti termometrici parzialmente schermati dal flusso

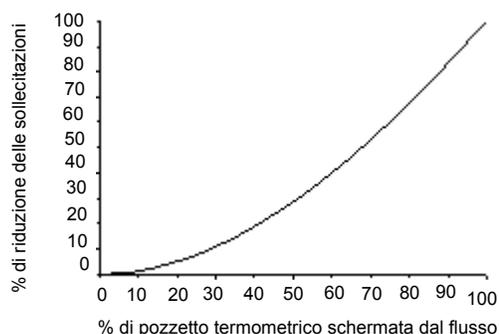


Pozzetto termometrico rastremato parzialmente schermato dal flusso

La maggior parte delle installazioni di pozzetti termometrici sono parzialmente schermate dal flusso; la lunghezza del pozzetto termometrico esposta al flusso è inferiore alla lunghezza non supportata e quindi le equazioni relative al momento flettente e alla sollecitazione di flessione devono essere modificate di conseguenza.

Pozzetti termometrici

Mentre l'effetto della schermatura su un pozzetto termometrico rastremato è facile da dimostrare, quello su pozzetti termometrici con gambo a scalini è molto più difficile da prevedere o rappresentare con un modello, in quanto la superficie esposta non cambia in modo uniforme e vi è una notevole discontinuità nei dati. Di conseguenza, i pozzetti termometrici con stelo a gradini devono essere sottoposti a due serie di valutazioni basate sulla posizione del gradino rispetto al flusso del fluido. È inoltre necessario eseguire due volte i calcoli delle sollecitazioni, per determinare le sollecitazioni sia in corrispondenza della radice del pozzetto sia del gradino.



Effetto della schermatura su un pozzetto termometrico rastremato

Solo dopo avere definito le condizioni di installazione e di processo, nonché il valore della frequenza di Strouhal all'interno del dominio di frequenza, è possibile eseguire l'analisi delle effettive sollecitazioni che agiscono sul pozzetto termometrico. Come accennato in precedenza, se il pozzetto termometrico sarà utilizzato al di sopra della velocità longitudinale critica, è necessario prendere in considerazione le sollecitazioni cicliche in corrispondenza della risonanza longitudinale quando il pozzetto passa attraverso tale area per raggiungere la velocità di progetto. Devono inoltre essere valutate le sollecitazioni dinamiche e a condizioni di regime alla velocità di progetto.

Valutazione della sollecitazione ciclica longitudinale

Le sollecitazioni cicliche, che derivano dalle forze longitudinali e trasversali che agiscono sulla superficie del pozzetto termometrico, sono concentrate alla radice. Per tenere conto delle condizioni di risonanza, i calcoli per verificare se la sollecitazione di flessione di picco è inferiore al limite di resistenza alla fatica del materiale devono essere eseguiti alla velocità critica di risonanza longitudinale. Dato che questa analisi viene eseguita al punto di criticità longitudinale, l'amplificazione dovuta alla risonanza longitudinale sminuisce la rilevanza delle forze ascensionali e tali forze possono quindi essere ignorate, per semplificare i calcoli. È necessario eseguire questa valutazione solo se la valutazione del numero di Scruton indica che le condizioni di processo la impongono.

Per calcolare la forza per unità di area che agisce sul pozzetto termometrico viene utilizzata la velocità longitudinale critica. Poiché la velocità del fluido di processo è espressa come media anziché come un profilo di velocità, ai fini dei calcoli si assume anche che l'unità di area corrisponda all'intera lunghezza esposta del pozzetto termometrico. Se un segmento del pozzetto termometrico è parzialmente schermato dal flusso, come nel caso di un tubo di calma, anche questo aspetto deve essere preso in considerazione. Per i pozzetti termometrici con stelo a gradini, l'analisi deve essere eseguita in corrispondenza di entrambi i punti di sollecitazione di picco (radice e base dello stelo a gradini).

Per garantire la prudenzialità dei calcoli, il fattore di smorzamento intrinseco è fissato a 0,0005. I pozzetti termometrici con gambo a scalini devono essere valutati in due punti per identificare il punto di sollecitazione massima.

Una delle principali innovazioni dello standard ASME PTC 19.3 TW-2010 è l'introduzione di una tabella che specifica i limiti delle sollecitazioni da fatica consentite. Nella tabella i materiali sono raggruppati in una classe di materiale e, per determinarne il limite di sollecitazione, essi sono messi in relazione al metodo di installazione.

È importante osservare che le saldature a parziale penetrazione sono considerate meno resistenti alla fatica rispetto a quelle a piena penetrazione e alle prime la tabella attribuisce valori minori. Per ulteriori informazioni vedere Requisiti di realizzazione del pozzetto termometrico, più avanti.

Valutazione della sollecitazione a condizioni di regime alla velocità di progetto

I pozzetti termometrici devono essere valutati anche alla velocità di progetto, per verificare che siano conformi alle esigenze dell'ambiente di processo. La sollecitazione a condizioni di regime è una combinazione della pressione esterna derivante dal processo e della forza di resistenza viscosa. Anche questi valori vengono calcolati nel punto di sollecitazione massima e quindi, se il pozzetto termometrico è parzialmente schermato o se lo stelo è a gradini, i calcoli devono prendere in considerazione tali installazioni.

Una volta calcolata, la sollecitazione massima può essere utilizzata per stabilire se il criterio di Von Mises è soddisfatto. Il criterio di Von Mises consente di valutare le condizioni di tensione tangenziale e di sollecitazione di pressione in sfere e cilindri circolari e di prevedere la condizione di snervamento plastico dei materiali.⁽¹⁾ Il risultato positivo di questa valutazione indica che le sollecitazioni a condizioni di regime non superano la resistenza alla fatica del materiale e quindi il pozzetto termometrico può essere utilizzato alla velocità di progetto desiderata.

Valutazione della sollecitazione dinamica alla velocità di progetto

Le sollecitazioni dinamiche sul pozzetto termometrico sono generate dalle forze ascensionale (trasversale) e di resistenza viscosa (longitudinale) oscillanti. Il fattore di amplificazione riflette la natura esponenziale dell'aumento delle forze quando la frequenza di Strouhal si avvicina alla frequenza naturale del pozzetto termometrico, come in prossimità della velocità longitudinale critica. Se la frequenza di Strouhal non è compresa nelle fasce di blocco della frequenza naturale longitudinale o trasversale, è necessario calcolare i fattori di amplificazione e integrarli nelle equazioni delle sollecitazioni cicliche. Le forze di resistenza viscosa e ascensionale cicliche devono essere calcolate alla velocità di progetto, con le stesse modalità con cui è stata eseguita la valutazione della sollecitazione ciclica longitudinale. Diversamente dalla valutazione della sollecitazione ciclica longitudinale eseguita in precedenza, tuttavia, le forze ascensionali non vengono ignorate.

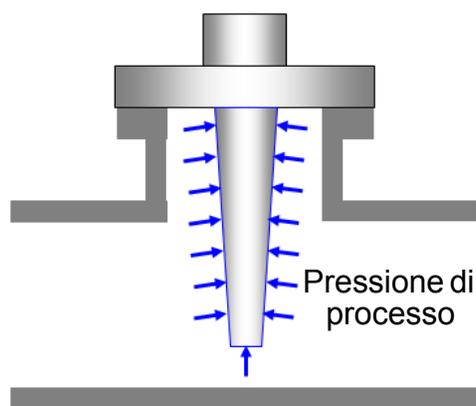
Se la velocità di progetto è maggiore della velocità critica, potrebbe essere necessario considerare il pozzetto termometrico come se fosse utilizzato a livelli di sollecitazione di risonanza longitudinale a tempo indefinito. Fare riferimento alla precedente sezione Passaggio attraverso la risonanza longitudinale.

(1) Brock, John E., "Stress Analysis of Thermowells", Naval Postgraduate School, Monterey CA (1974).

Pozzetti termometrici

Le valutazioni della configurazione del pozzetto termometrico sono ovviamente numerose, ma le informazioni fornite da valutazioni come quelle della velocità longitudinale critica, delle condizioni di regime e delle sollecitazioni dinamiche offrono una dettagliata immagine del collocamento del pozzetto termometrico all'interno del dominio di frequenza nonché della sua eventuale prossimità al limite di fatica. Tali informazioni consentono al progettista di decidere quali fattori di sicurezza devono mantenere nel proprio processo.

Valutazione della sollecitazione da pressione



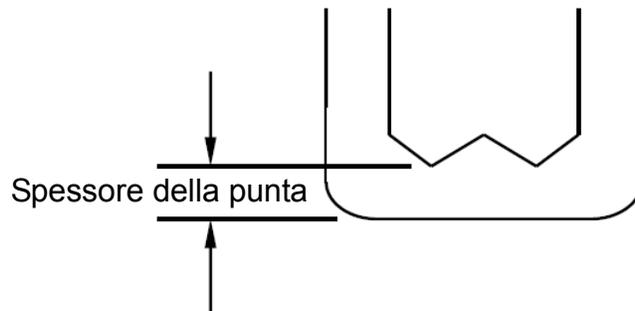
L'ultimo controllo richiesto per verificare se la configurazione del pozzetto termometrico è accettabile per l'applicazione di interesse è la valutazione della sollecitazione di pressione. È un dato che spesso viene trascurato, in quanto di solito non è una causa di inadeguatezza della configurazione, ma ciononostante ha un'importanza critica. Il controllo della sollecitazione di pressione deve essere eseguito separatamente sia sul gambo sia sulla punta.

Per calcolare la pressione sul gambo ai fini di controllo dell'idoneità sono disponibili due metodi, a seconda della pressione di processo. Per pressioni di processo inferiori a 103 MPa (15 ksi), lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010 prevede l'uso della norma ASME Boiler Pressure Vessel Code (BPVC) Section VIII Paragraph UG-28, che permette di calcolare la pressione esterna consentita. Le limitazioni di temperatura elencate in tale norma non si applicano, in quanto la maggior parte dei pozzetti termometrici sono progettati in conformità agli standard ASME B31.1 o ASME B31.3 e quindi i valori delle sollecitazioni consentite devono essere tratti da tali norme. Lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010 riprende il calcolo della norma BPVC perché è un'equazione che è stata utilizzata con buoni risultati in precedenza ed è relativamente nota nel settore.

Qualora il materiale del pozzetto termometrico di interesse non sia compreso nella norma BPVC, o se si preferisce utilizzare un metodo più semplice, lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010 fornisce anche una relazione alternativa semplificata. L'uso del metodo semplificato, tuttavia, presenta lo svantaggio che, per certi materiali e a determinate temperature, la pressione sul gambo calcolata con tale metodo può risultare fino al 17% inferiore rispetto al valore ottenuto con il metodo UG-28. I vantaggi sono invece rappresentati da calcoli meno complessi e da un margine di sicurezza aggiuntivo.

Per applicazioni ad alta pressione (> 103 MPa [15 ksi]), lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010 rimanda ai calcoli previsti dalle norme ASME BPVC Section VIII Division 3 o ASME B31.3, Chapter IX. Pressioni così elevate (superiori ai limiti di pressione per le flange 2500# previsti in ASME B16.5) devono essere valutate con particolare attenzione e senza ricorrere a uno strumento automatico.

Lo spessore della punta è dato dalla dimensione minima dalla punta esterna al punto più lontano della punta per foratura. Poiché per produrre la maggior parte dei pozzetti termometrici vengono utilizzate punte per fucili, è fondamentale che lo spessore della punta utilizzato corrisponda all'effettiva misura del punto con dimensione minima. La dimensione di picco viene invece utilizzata per calcolare la lunghezza del sensore, poiché questo sarà a contatto con il picco, non con la "valle". Quando la punta per fucili è affilata, la valle può essere fino a 1,5 mm (0.060 in.) più profonda (più sottile), mentre risulta più spessa quando la punta si usura.



Dettaglio dello spessore della punta di un pozzetto termometrico.

La pressione massima a cui il pozzetto termometrico è in grado di resistere è il limite di pressione più basso del gambo o della punta.



NOTA BENE:

Quando fa riferimento allo standard ASME PTC 19.3 o ASME PTC 19.3 TW-2010, la valutazione della sollecitazione di pressione rimanda esclusivamente alla sollecitazione a cui lo stelo (o gambo) e la punta del pozzetto termometrico sono in grado di resistere, non alle sollecitazioni a cui possono resistere la filettatura o la flangia. La selezione della connessione al processo e la valutazione della pressione nominale sono fasi da eseguire prima di valutare le vibrazioni indotte da vortici sulla configurazione del pozzetto termometrico.

Informazioni sui materiali

Durante la progettazione il metodo ottimale per ottenere informazioni sui materiali è utilizzare informazioni affidabili e regolate da standard ogni volta che sia possibile. Emerson utilizza esclusivamente informazioni sui materiali tratte da standard di tipo "open source", quali ASME Boiler and Pressure Vessel Code e ASME B31.1/B31.3, che di solito sono caratterizzate da prudenzialità e sono generalmente accettate nel settore. In teoria, per popolare i propri database sui materiali, Emerson potrebbe usare informazioni fornite dai produttori, ma questa pratica non è considerata favorevolmente perché Emerson non è in grado di garantire che uno specifico lotto di materiale è stato usato su un determinato pozzetto termometrico in modo corrispondente a un particolare documento. Non è un metodo funzionale o affidabile per ottimizzare le prestazioni di un pozzetto termometrico.

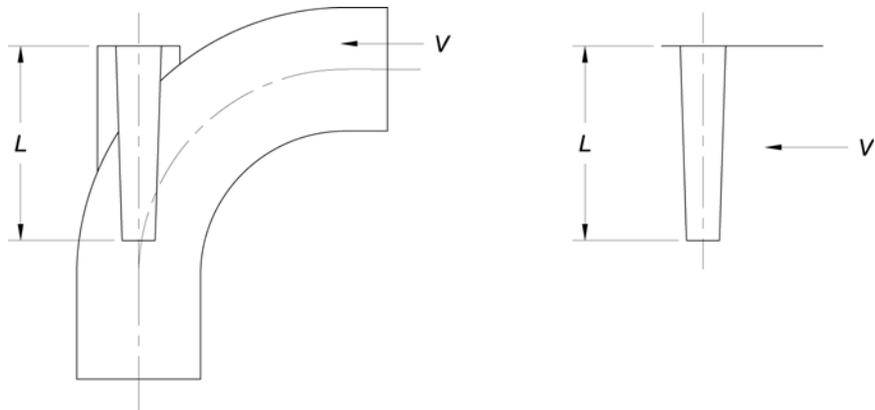
**METODI DI
INSTALLAZIONE
ALTERNATIVI**

Il modo in cui i pozzetti termometrici vengono installati in un processo può avere un impatto significativo sui calcoli delle sollecitazioni dei pozzetti e sul distacco di vortici. I metodi discussi di seguito rappresentano alternative possibili alle installazioni "standard", quali pozzetti termometrici flangiati, filettati e saldati, e alla schermatura parziale del pozzetto.

Pozzetti termometrici

Installazioni a gomito

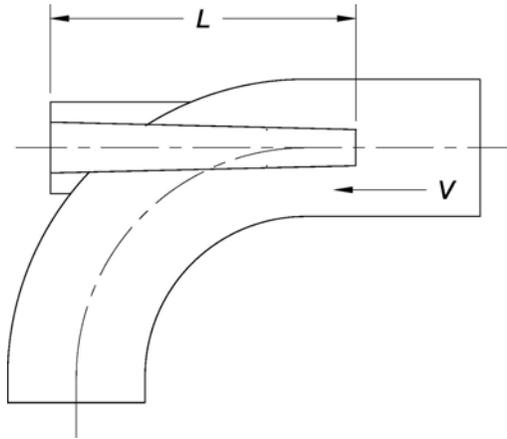
Lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010 non fornisce linee guida utili per l'installazione di pozzetti termometrici in un gomito. La rappresentazione tramite modello del flusso in un gomito è molto difficile a causa della turbolenza e della complessità. Lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010 suggerisce di adottare un approccio prudentiale e di considerare l'intera lunghezza non schermata e non supportata come esposta al flusso e sottoposta a forze perpendicolari (ovvero "normali") rispetto all'asse del pozzetto termometrico. Secondo molti questa risposta non è accettabile. Da alcuni commenti nello stesso standard ASME PTC 19.3 TW-2010 e da discussioni durante i lavori della commissione è emersa un'alternativa a questo approccio estremamente cauto: se la posizione della punta è sufficientemente a monte o a valle dal gomito che il flusso di fluido risulta parallelo all'asse del pozzetto termometrico in corrispondenza della punta, il numero di Strouhal sarà molto piccolo perché il flusso attraverso la punta è trascurabile. Nonostante in ASME PTC 19.3 TW-2010 questo tipo di installazione sia definito estraneo al campo di applicazione dello standard, molti esperti del settore ritengono che offrirebbe una soluzione semplice per configurazioni di pozzetti termometrici che sono troppo vicine alla frequenza naturale.



Pozzetto termometrico installato in un gomito con la punta rivolta a valle.⁽¹⁾

Lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010 lascia intendere che un pozzetto termometrico con la punta rivolta a monte è l'installazione migliore perché la quantità e la posizione del flusso sottopongono il pozzetto a un braccio di momento e a una forza inferiori e il flusso sulla punta è più laminare. Se la punta è rivolta a valle, i vortici del flusso dopo avere superato il pozzetto potrebbero presentare delle componenti a croce, ma è un comportamento estremamente difficile da rappresentare in un modello. Come per le installazioni ad angolo discusse di seguito, il calcolo del braccio di momento è complicato e quindi le variazioni di forza, braccio di momento e sollecitazione sono difficili da prevedere.

(1) ASME Standard, Performance Test Codes 19.3TW-2010.



Pozzetto termometrico installato in un gomito con la punta rivolta a monte.⁽¹⁾

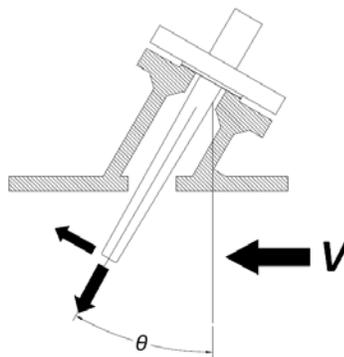
Emerson sta considerando un'analisi più completa di questi metodi di installazione per fornire maggiori informazioni sui vantaggi di tali soluzioni.

Installazioni ad angolo

I clienti spesso installano pozzetti termometrici con una posizione ad angolo rispetto al flusso per agevolare l'accesso, ridurre le forze che agiscono sul pozzetto o per aumentare l'esposizione al flusso in tubi di piccolo diametro al fine di ottenere letture della temperatura più precise. L'effetto di tale "inclinazione" sulla velocità alla punta non è una semplice questione di trigonometria elementare e inoltre rende più complessa la previsione delle sollecitazioni e delle forze che agiscono sul pozzetto termometrico.

Al variare dell'angolo di installazione, la velocità attraverso la punta si riduce.

$$V_{\text{assiale trasversale}} = V_{\text{flusso}} \cdot \cos(\theta) \text{ per } \theta \text{ fino a } 30^\circ \text{ }^{(2)}$$



Vettori di velocità in installazioni ad angolo

Più l'angolo si avvicina a 0° e più il componente della velocità attraverso la punta si avvicina all'unità, ovvero al 100% della velocità del flusso. Ciò può essere utile per ridurre la frequenza di Strouhal in installazioni in cui le sollecitazioni non sono il fattore limitante.

(1) ASME Standard, Performance Test Codes 19.3TW-2010.

(2) S. E. Ramberg, "The Effects of Yaw and Finite Length upon the Vortex Wakes of Stationary and Vibrating Cylinders", Journal of Fluid Mechanics 128, 81-107 (1983).

Pozzetti termometrici

Questo ragionamento, tuttavia, non è valido per le forze che agiscono sul pozzetto termometrico. Al variare dell'angolo, aumentano sia l'area della superficie sia la lunghezza del pozzetto termometrico, con conseguente aumento delle forze di frizione. La rappresentazione tramite modello del flusso di fluido attorno al pozzetto termometrico diventa sempre più complessa e quindi la variazione della forza, del braccio di momento e della sollecitazione è sempre più difficile da prevedere. In ASME PTC 19.3 TW-2010 questo tipo di installazione è definito estraneo al campo di applicazione dello standard, ma Emerson sta considerando un'analisi più completa di questo metodo di installazione per fornire maggiori informazioni sui vantaggi di tale soluzione. In alcune difficili applicazioni dei clienti, infatti, questo può rivelarsi l'unico metodo di installazione possibile.

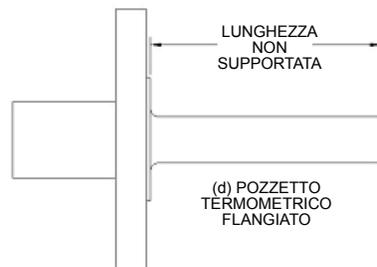
Condotti a sezione quadrata e tubi tondi

Grazie al fatto che nel nuovo standard viene utilizzata la velocità media, non è necessario conoscere o rappresentare in un modello il profilo del flusso di condotti a sezione quadrata o le sue differenze rispetto a tubi tondi. Per calcolare la velocità media è sufficiente conoscere la portata in massa, la densità e l'area della sezione. Per una discussione più dettagliata vedere la sezione Velocità media.

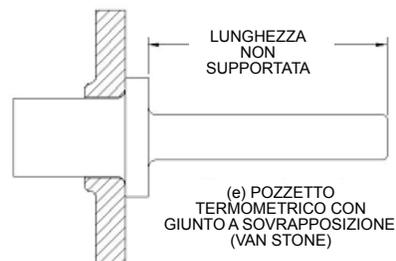
DEFINIZIONE DI LUNGHEZZA NON SUPPORTATA

La pubblicazione dello standard ASME PTC 19.3 TW-2010 ha determinato anche una modifica della definizione di lunghezza non supportata. Il modello della teoria della trave utilizzato in ASME PTC 19.3 TW-2010 è molto sensibile alle variazioni della lunghezza non supportata e quindi è necessario chiarire e dare coerenza alla definizione.

Per pozzetti termometrici flangiati (compresa flangia con giunto a sovrapposizione/Van Stone), la lunghezza di immersione è uguale alla lunghezza non supportata.

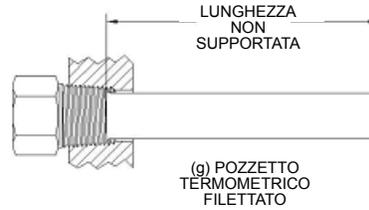


Pozzetto termometrico flangiato⁽¹⁾



Pozzetto termometrico flangiato con giunto a sovrapposizione/Van Stone⁽¹⁾

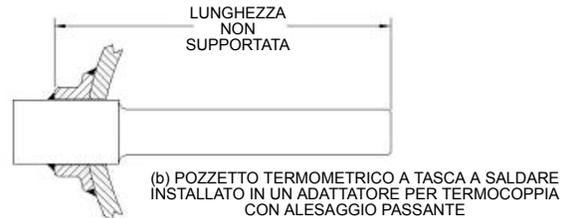
(1) ASME Standard, Performance Test Codes 19.3TW-2010.



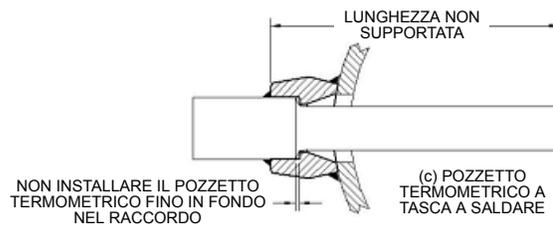
Pozzetto termometrico filettato⁽¹⁾

Per pozzetti termometrici filettati, la lunghezza di immersione è uguale alla lunghezza non supportata, ma i risultati sperimentali hanno rivelato che la lunghezza non supportata inizia circa dalla seconda o terza filettatura nella sezione filettata. Lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010 prevede questo caso mediante l'applicazione di un fattore di correzione per i pozzetti termometrici filettati.

La variazione più significativa riguarda i pozzetti termometrici saldati. L'uso della lunghezza di immersione causa una riduzione, non corretta, della lunghezza non supportata e l'aumento della frequenza naturale del pozzetto termometrico.



Pozzetto termometrico saldato con foro passante.⁽¹⁾

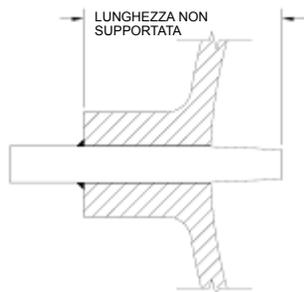


Pozzetto termometrico a tasca a saldare.⁽¹⁾

La posizione corretta per calcolare la lunghezza non supportata è dal punto di saldatura, ma poiché Emerson non conosce con precisione tale punto, per il calcolo esso deve essere stimato in modo approssimativo. In alternativa è possibile utilizzare la lunghezza totale del pozzetto termometrico, garantendo, a prescindere dal metodo di installazione del pozzetto termometrico, un risultato che offre caratteristiche di sicurezza e prudenza.

(1) ASME Standard, Performance Test Codes 19.3TW-2010.

Pozzetti termometrici



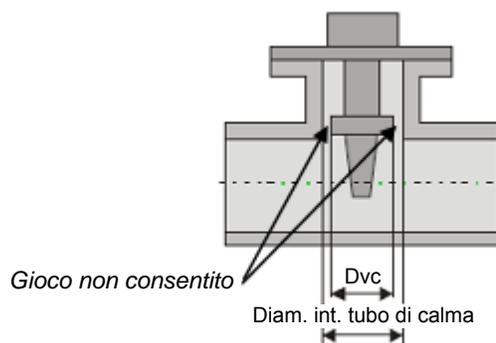
Pozzetto termometrico saldato in conformità a DIN 43772.

Un altro sistema ancora consiste nell'incidere una riga sul pozzetto termometrico per indicare dove deve essere saldato affinché il calcolo sia preciso o prudente. Questo metodo richiede un maggiore impegno, nonché la conoscenza delle dimensioni della tasca.

Un caso particolare per il quale la lunghezza non supportata deve essere chiarita è quello dei pozzetti termometrici saldati in conformità a DIN 43772, che prevedono un foro su un tubo e un pozzetto termometrico da barra lavorata a macchina, entrambi con tolleranza stretta. Dato che per l'installazione è necessaria una tolleranza, è impossibile garantire l'accoppiamento fisso che sarebbe necessario per spostare la lunghezza non supportata (vedere la sezione Anelli stabilizzatori). In assenza di ulteriori informazioni, la lunghezza non supportata per questo tipo di installazione sarà definita in base al dettaglio riportato a sinistra.

ANELLI STABILIZZATORI

Lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010 regola anche l'utilizzo di anelli stabilizzatori e ne sconsiglia l'uso come supporto rigido per ridurre la lunghezza non supportata. Tale risultato può essere ottenuto utilizzando un accoppiamento fisso. Gli spostamenti della punta del pozzetto termometrico, infatti, sono generalmente molto ridotti (meno di 0,5 mm)^{(1) (2)} e un gioco anche minimo tra l'anello e il diametro interno del tubo di calma impedirebbe all'anello di ridurre la lunghezza non supportata. Inoltre, con un effetto simile a un martello che colpisca ripetutamente una superficie metallica, il pozzetto termometrico e il tubo continuerebbero a deformarsi e il gioco aumenterebbe fino a impedire il contatto. Ciò potrebbe creare fonti di sollecitazioni nel pozzetto termometrico a causa delle rientranze, o potrebbe portare a un'eventuale rottura delle saldature vicine all'anello. Per essere efficace, lo stabilizzatore deve essere costituito da un accoppiamento fisso e dato che Emerson non può garantire il raccordo finale, per soddisfare le condizioni di processo si consiglia di ricorrere a modifiche della geometria o delle installazioni, anziché ricorrere all'uso di stabilizzatori.



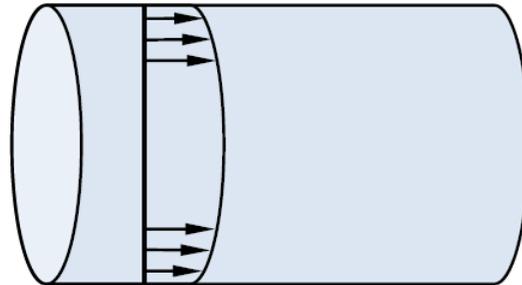
Tra lo stabilizzatore e il diametro interno del tubo di calma non può essere presente gioco.

- (1) Finch, P., Hamblin, M., e Constable, D., "In-situ Measurement of Thermowell Vibration during Production Train Pressurisation", Woodside Energy Ltd. Report (data sconosciuta, successiva a 2001 e antecedente a 2010).
- (2) Haslinger, K.H., Westinghouse Electric Company, "Flow-induced vibration testing of replacement thermowell designs", Journal of Fluids and Structures (2003).

Emerson continuerà a offrire pozzetti termometrici dotati di anelli stabilizzatori realizzati in base alle specifiche dei clienti, ma non fornirà consulenza sulle dimensioni di tali anelli né rapporti di calcoli per installazioni che prevedano l'uso di anelli stabilizzatori. Qualsiasi altro comportamento e/o condotta potrebbe sembrare un'approvazione di tale metodo. I pozzetti termometrici saldati in conformità a DIN 43772 saranno a loro volta considerati allo stesso modo degli anelli stabilizzatori, come pure altri tipi di installazioni aventi lo stesso scopo.

**VELOCITÀ MEDIA E
PROFILO DI VELOCITÀ**

Si potrebbe pensare che il miglior metodo per calcolare le forze in un pozzetto termometrico sia l'analisi degli elementi finiti (FEA), che consente di ottenere dati molto dettagliati e precisi. Il problema con il metodo FEA è il fatto che i parametri di partenza cambiano continuamente e quindi la precisione del risultato supererebbe di molto l'utilità nel momento immediatamente successivo. I calcoli di entrambi gli standard ASME PTC 19.3-1974 e ASME PTC 19.3 TW-2010 sono basati sulla velocità media, in quanto un progettista di solito conosce la portata in massa ma può sapere molto poco sul profilo del flusso nel tubo. Per calcolare la velocità media sono sufficienti la portata in massa, la densità del fluido e l'area della sezione. L'uso della velocità media, inoltre, consente di utilizzare calcoli più semplici, aspetto che favorisce la loro diffusione fra gli addetti ai lavori.



Esempio di un profilo di flusso turbolento completamente sviluppato in un tubo.

**REQUISITI DI
REALIZZAZIONE DEL
POZZETTO
TERMOMETRICO**

Per calcolare la frequenza naturale in sito, lo standard ASME PTC 19.3 TW-2010 assume che il pozzetto termometrico sia stato ottenuto da una barra piena, per poter applicare il modello di trave semplice. Gli steli dei pozzetti termometrici possono essere realizzati in materiale forgiato o profilato a rulli, ma non possono essere ottenuti da materiale a tubo o a condotto. Questa restrizione significa che i pozzetti termometrici ottenuti tramite la saldatura di 3 pezzi o mediante una foratura attraverso la punta con un cappuccio saldato non sono conformi allo standard ASME PTC 19.3 TW-2010.

Si consiglia di utilizzare saldature a piena penetrazione per ottenere la massima classificazione di resistenza alla fatica (fare riferimento a Allowable Fatigue Stress Amplitude Limits in ASME PTC 19.3 TW-2010). I pozzetti termometrici forgiati consentono di ottenere gli stessi risultati, ma a un costo molto superiore. Anche i pozzetti termometrici di tipo Van Stone offrono gli stessi livelli di classificazione, senza costi onerosi, ma i clienti che li usano sono pochi.

Pozzetti termometrici

Un altro aspetto chiave della costruzione sono le tolleranze di produzione dei pozzetti termometrici. Se le tolleranze sono troppo ampie, le equazioni basate sulla teoria della trave possono risultare imprecise, esaurendo il margine di sicurezza incorporato nelle equazioni; tolleranze troppo strette, a loro volta, comportano un aumento dei costi di produzione dei pozzetti termometrici. Le dimensioni, infine, devono includere una sovramisura per corrosione.

*Rosemount e il logotipo Rosemount sono marchi depositati di Rosemount Inc.
PlantWeb è un marchio depositato di una delle società del gruppo Emerson Process Management.
Tutti gli altri marchi appartengono ai rispettivi proprietari.*

**Emerson Process Management
Rosemount Measurement**
8200 Market Boulevard
Chanhassen MN 55317 USA
Tel. (USA) 1 800 999 9307
Tel. (tutti gli altri Paesi) +1 952 906 8888
Fax +1 952 906 8889

Emerson Process Management srl
Via Montello, 71/73
I-20038 Seregno (MI)
Italia
Tel. +39 0362 2285 1
Fax +39 0362 243655
Email: info.it@emerson.com
Web: www.emersonprocess.it

**Emerson Process Management
Shared Services Ltd.**
Heath Place
Bognor Regis
West Sussex PO22 9SH
Inghilterra
Tel. +44 (1243) 863 121
Fax +44 (1243) 867 554

**Emerson Process Management
Asia Pacific Pte Ltd**
1 Pandan Crescent
Singapore 128461
Tel. +65 6777 8211
Fax +65 6777 0947
Numero assistenza tecnica: +65 6770 8711
E-mail: Enquiries@AP.EmersonProcess.com