

WHITE PAPER TECNICO

Il controllo e la protezione delle vibrazioni nelle grandi macchine rotanti

Monitoraggio fisso, condition monitoring e protezione macchina con sistema CEMB TDSP

Obiettivo del documento

Fornire un quadro tecnico-pratico delle grandezze di vibrazione da monitorare, dei trasduttori più adatti e delle funzioni richieste a un sistema fisso di protezione e diagnostica per macchine rotanti impiegate nella produzione di energia.



Sistema di protezione e condition monitoring CEMB TDSP.

Sintesi esecutiva

Il controllo delle vibrazioni, integrato con i principali parametri di funzionamento, rimane uno dei metodi più efficaci per garantire la sicurezza operativa delle macchine rotanti e per ottimizzare gli interventi manutentivi. Il monitoraggio continuo permette di rilevare degradi in fase iniziale, ridurre il rischio di guasti improvvisi e rivedere gli intervalli di manutenzione sulla base dello stato reale della macchina.

Nelle grandi macchine per la produzione di energia, la scelta della grandezza di misura dipende in modo sostanziale dal tipo di supporto e dal comportamento dinamico della macchina. La vibrazione relativa dell'albero è particolarmente significativa sui cuscinetti a strisciamento; la vibrazione assoluta del supporto è invece centrale sui cuscinetti a rotolamento. Nei casi più critici, la combinazione delle due misure aumenta la capacità di protezione e diagnosi.

Messaggio chiave

L'installazione di un sistema fisso di monitoraggio è economicamente giustificata anche quando consente di evitare un solo guasto importante durante la vita della macchina. Il valore cresce ulteriormente quando i dati vengono usati per manutenzione predittiva, trend, analisi delle cause e gestione sicura dei transitori.

Contenuti

- Perché monitorare in modo continuo le vibrazioni.
- Quali grandezze misurare: vibrazione relativa albero, vibrazione assoluta supporto e combinazione delle due.
- Come il sistema TDSP elabora i segnali per protezione, diagnostica, soglie e gestione delle rampe di avvio.
- Benefici operativi per sicurezza, disponibilità impianto e manutenzione.

Riferimento tecnico richiamato

Il documento richiama l'impostazione della famiglia ISO 20816 per la valutazione delle vibrazioni di macchina. Le figure presenti in questo white paper sono schemi tecnici esemplificativi e non sostituiscono le prescrizioni della norma o le specifiche del costruttore della macchina.

1. Perché il monitoraggio fisso è strategico

Le macchine rotanti di grande taglia operano spesso in condizioni gravose, con elevati costi di fermo impianto e conseguenze significative in caso di guasto. In questo contesto il monitoraggio fisso delle vibrazioni non è solo uno strumento diagnostico: è una componente del sistema di protezione della macchina.

La misura continua consente di correlare l'andamento delle vibrazioni con velocità, carico, temperatura, condizioni di processo e transitori di avviamento o arresto. Rispetto a controlli periodici, il monitoraggio fisso intercetta variazioni rapide e consente l'attivazione automatica di allarmi o blocchi quando vengono superate soglie definite.

Risultati attesi

- Protezione della macchina con allarmi e blocchi affidabili.
- Rilevamento tempestivo di variazioni rispetto alla condizione normale.
- Supporto alla manutenzione predittiva e alla revisione degli intervalli manutentivi.
- Maggiore disponibilità dell'impianto e riduzione dei fermi non programmati.
- Dati oggettivi per analisi di squilibrio, disallineamento, dilatazioni termiche, fenomeni legati al carico e passaggi in velocità critica.

Criterio di scelta

Per proteggere la macchina in modo efficace non basta misurare una vibrazione qualsiasi. Occorre misurare la grandezza che meglio rappresenta il comportamento dinamico del componente critico: albero, supporto, struttura o combinazione di essi.

2. Le grandezze fondamentali da controllare

La configurazione del sistema di monitoraggio deve essere definita in funzione della tipologia di macchina, del tipo di cuscinetto, della criticità del servizio e degli obiettivi di protezione e diagnosi. Le tre configurazioni più ricorrenti sono riportate di seguito.

Grandezza	Applicazione tipica	Trasduttori	Informazione ottenuta
Vibrazione relativa albero	Cuscinetti a strisciamento	Sonde di prossimità senza contatto, ad esempio CEMB NC-8000	Movimento dell'albero rispetto al supporto cuscinetto; utile per orbita e spostamento radiale.
Vibrazione assoluta supporto	Cuscinetti a rotolamento o strutture rigide	Accelerometro CEMB TA-100 o velocimetro CEMB T1-40	Movimento del supporto rispetto al suolo; utile per livelli globali e protezione del supporto.
Misura combinata	Grandi macchine rotanti critiche	Sonde relative + trasduttori assoluti	Confronto tra fenomeni interni macchina e fenomeni amplificati o generati dalla struttura.

2.1 Vibrazione relativa dell'albero

La vibrazione relativa dell'albero rappresenta il movimento tra albero e cuscinetto. È la misura più significativa per macchine con cuscinetti a strisciamento, perché l'albero ruota sostenuto dal film d'olio. L'elasticità e lo smorzamento del film possono attenuare il segnale trasmesso all'esterno del supporto, rendendo la sola vibrazione assoluta del supporto meno rappresentativa del reale movimento dell'albero.

Per questa applicazione CEMB propone il proximity transducer NC-8000, progettato per la misura senza contatto delle vibrazioni relative dell'albero e adattabile alle principali configurazioni di cuscinetti a strisciamento.

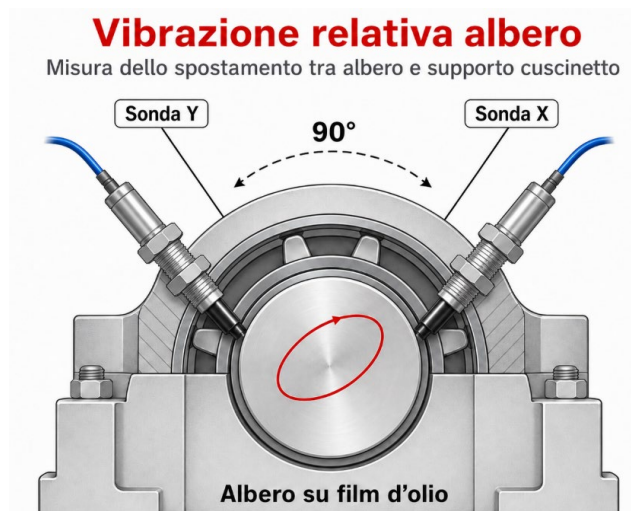


Figura 1 - Schema esemplificativo di misura della vibrazione relativa dell'albero con due sonde a 90°.

L'impiego di due trasduttori radiali posti a 90° consente di proteggere meglio la macchina quando non è nota a priori la direzione principale della vibrazione. La doppia misura è inoltre indispensabile quando si vuole determinare l'orbita dell'albero nel piano radiale.

2.2 Vibrazione assoluta del supporto

La vibrazione assoluta del supporto rappresenta il movimento del supporto rispetto al suolo. È la misura più significativa per macchine con cuscinetti a rotolamento, nei quali il collegamento meccanico tra albero e supporto è molto rigido e le oscillazioni vengono trasferite in modo diretto alla struttura del supporto.

CEMB realizza diversi trasduttori di vibrazione assoluta. In funzione delle caratteristiche della macchina, possono essere impiegati l'accelerometro TA-100 o il velocimetro T1-40, selezionando la grandezza più coerente con le esigenze di protezione e monitoraggio.

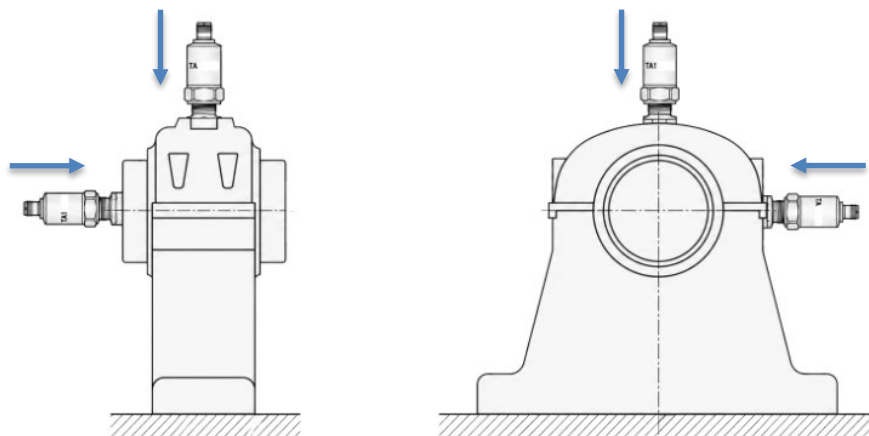


Figura 2 - Schema esemplificativo di misura della vibrazione assoluta del supporto nelle direzioni X, Y e Z.

La misura nelle tre direzioni ortogonali permette di descrivere il comportamento del supporto in modo completo e di intercettare vibrazioni che possono manifestarsi in direzioni diverse al variare delle condizioni operative.

2.3 Combinazione di vibrazione relativa e assoluta

Sulle grandi macchine rotanti per la produzione di energia è frequente l'impiego combinato di sonde di prossimità e trasduttori sismici. La misura relativa evidenzia con maggiore sensibilità i fenomeni interni alla macchina, mentre la misura assoluta permette di valutare la risposta del supporto e delle strutture portanti.

Il confronto tra i due segnali aiuta a discriminare vibrazioni generate da forzanti interne, come squilibrio o fenomeni dell'albero, da vibrazioni generate o amplificate dalla fondazione, dal supporto o dalla struttura collegata.

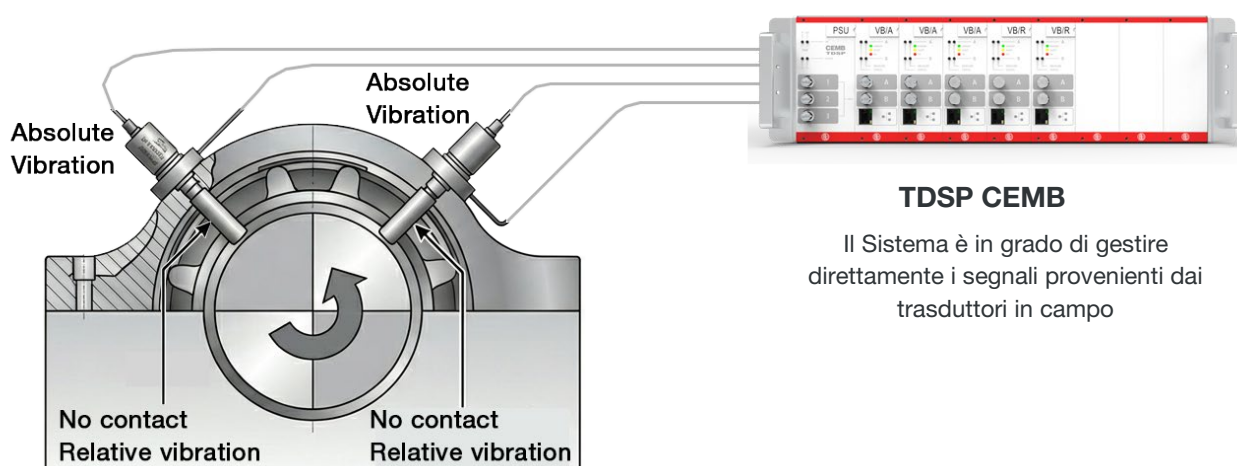
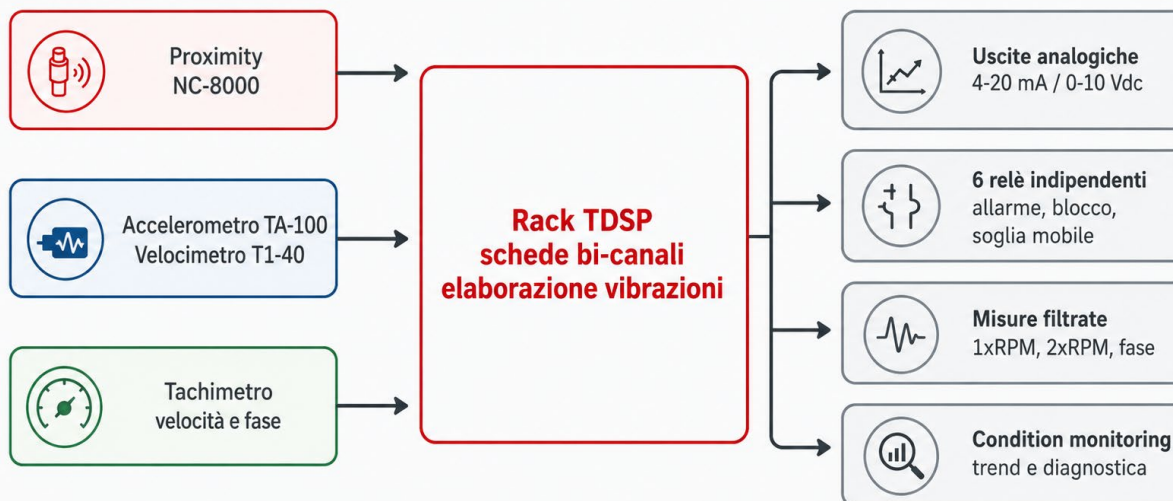


Figura 3 - Schema esemplificativo di misura combinata relativa albero e assoluta supporto.

3. Elaborazione del segnale con sistema TDSP

Il sistema di protezione macchine e condition monitoring CEMB TDSP elabora in continuo i segnali di vibrazione e fornisce le informazioni necessarie alla gestione sicura della macchina. La struttura modulare consente di configurare il sistema in funzione del numero di canali, della tipologia di trasduttori e delle logiche di allarme richieste.

Architettura funzionale del monitoraggio fisso



Dalla misura continua alla protezione macchina: soglie, trend, diagnostica e segnali verso sistemi di supervisione.

Figura 4 - Architettura funzionale del monitoraggio fisso con sistema TDSP.

Schede bi-canali e segnali di uscita

Il rack modulare TDSP è composto da schede bi-canali. Ogni scheda rende disponibili uscite analogiche e segnali digitali per l'integrazione con sistemi di supervisione, acquisizione dati e protezione impianto.

- Due uscite analogiche per scheda, configurabili come 4-20mA o 0-10Vdc, utili per sistemi di acquisizione tradizionali o DCS.
- Sei relè indipendenti per l'invio di segnali digitali ai sistemi di protezione.
- Un ingresso tachimetrico per misure filtrate, fase e gestione delle soglie in funzione della velocità.

Gestione delle soglie: allarme, blocco e soglia mobile

La disponibilità di sei contatti indipendenti consente una gestione delle vibrazioni sotto condizione. In una configurazione tipica, due contatti vengono dedicati alle soglie di allarme e blocco, mentre un ulteriore contatto può essere usato per una soglia mobile, impostata poco sopra il valore reale di funzionamento, in modo da intercettare rapidamente un degrado.

L'approccio riprende i due criteri di valutazione richiamati dalla ISO 20816: un criterio assoluto, basato sul valore di vibrazione, e un criterio relativo, basato sulla variazione rispetto a una condizione precedente.

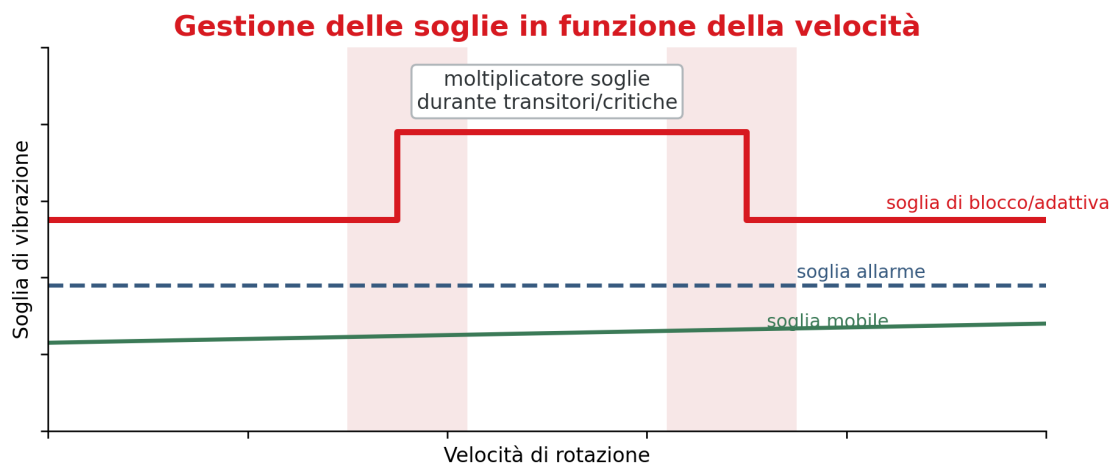


Figura 5 - Schema concettuale di soglie assolute, soglia mobile e moltiplicatori durante i transitori.

Ingresso tachimetrico e misure sincrone

Conoscere la velocità di rotazione è il primo passo per una diagnostica efficace. L'ingresso tachimetrico permette di affiancare al valore totale di vibrazione le componenti filtrate legate alla frequenza di rotazione e ai suoi multipli principali.

- 1xRPM: componente generalmente associata allo squilibrio.
- 2xRPM: componente spesso associata a disallineamento o a fenomeni correlati alla geometria di montaggio.
- Fase angolare della vibrazione: informazione utile per confermare uno squilibrio e per interpretare comportamenti influenzati da carico o dilatazioni termiche.
- Velocità istantanea: base per soglie adattate durante rampe di avvio, arresto e attraversamento delle velocità critiche.

Gestione delle rampe di avvio

Le macchine di grande taglia lavorano spesso al di sopra della prima velocità critica flessionale. Durante i transitori, l'attraversamento delle critiche può richiedere soglie temporaneamente più alte per evitare interventi impropri. La scheda TDSP consente di selezionare intervalli di velocità e di applicare un moltiplicatore alle soglie impostate, mantenendo la protezione coerente con il comportamento atteso della macchina.

4. Benefici per esercizio e manutenzione

Un sistema fisso di monitoraggio vibrazionale genera valore quando la protezione automatica viene integrata con l'analisi storica dei dati. La disponibilità di trend, allarmi, valori filtrati e informazioni di fase consente di passare da un controllo puramente reattivo a una gestione basata sulla condizione reale della macchina.

Area	Beneficio operativo
Sicurezza	Intervento automatico su soglie di allarme e blocco, con riduzione del rischio di danni gravi.
Disponibilità impianto	Individuazione precoce dei degradi e pianificazione degli interventi prima del guasto.
Manutenzione	Possibilità di rivedere gli intervalli manutentivi sulla base di trend e condizioni operative reali.
Diagnostica	Analisi di componenti 1xRPM, 2xRPM, fase, orbita e confronto tra vibrazione relativa e assoluta.
Integrazione	Uscite analogiche, relè e segnali tachimetrici per collegamento con sistemi di supervisione e protezione esistenti.

Valore economico

Nei contesti ad alta criticità, il ritorno dell'investimento può essere ottenuto evitando anche un solo guasto importante. Il monitoraggio continuo riduce inoltre l'incertezza decisionale e migliora la qualità delle fermate programmate.

5. Conclusioni

La protezione delle grandi macchine rotanti richiede una misura corretta, stabile e coerente con la dinamica della macchina. La vibrazione relativa dell'albero, la vibrazione assoluta del supporto e la loro combinazione costituiscono le grandezze fondamentali per descrivere lo stato della macchina e per impostare logiche di protezione efficaci.

Il sistema CEMB TDSP integra acquisizione, elaborazione, uscite analogiche, relè di protezione, ingresso tachimetrico, misure filtrate e gestione delle soglie in funzione della velocità. In questo modo il monitoraggio fisso diventa uno strumento operativo per sicurezza, disponibilità e manutenzione predittiva.