



GUASTI DI ROTORE NEI MOTORI ASINCRONI

Lucia FROSINI

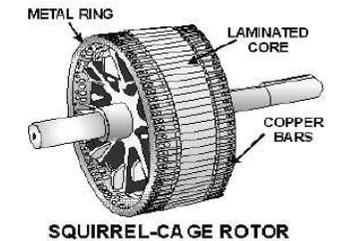
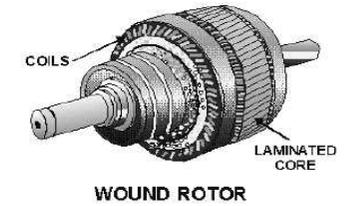
Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione
Università di Pavia
E-mail: lucia@unipv.it

Tipi di rotore

Le macchine asincrone possono avere i seguenti tipi di rotore:

✚ rotore con avvolgimenti: per macchine a rotore avvolto (fili o piattine di rame).

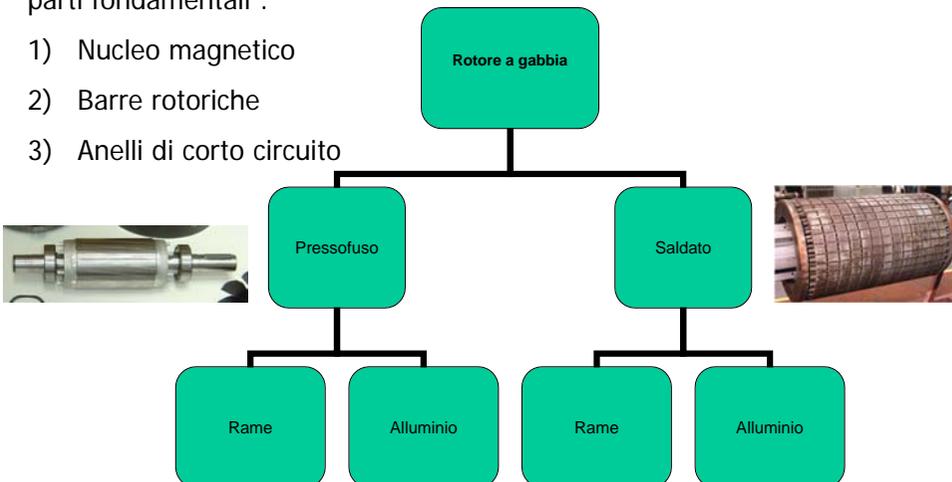
✚ rotore a barre, per macchine a gabbia. L'avvolgimento è costituito dalle barre e da due anelli frontali di corto circuito. Il rotore può essere di tipo pressofuso ("die-cast") o con le barre inserite nelle cave e saldate agli anelli frontali ("fabricated"). Nel primo caso le barre sono quasi sempre di alluminio (ma possono essere di rame o leghe di rame), nel secondo caso sono quasi sempre di rame.



Tipi di rotore a gabbia

Il rotore a gabbia di scoiattolo di una macchina asincrona è formato da tre parti fondamentali :

- 1) Nucleo magnetico
- 2) Barre rotoriche
- 3) Anelli di corto circuito



Confronto gabbia rame - alluminio

Rame:

- Minore resistività
- Minore coefficiente di dilatazione
- Conservazione delle caratteristiche meccaniche anche ad alte temperature



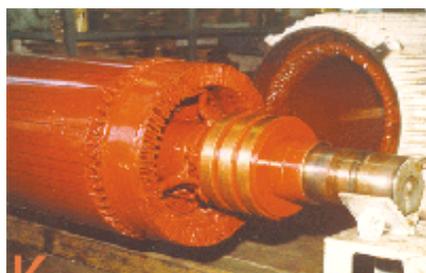
Alluminio:

- Temperatura di fusione minore
- Minore peso specifico
- Minor costo



Rotore avvolto per macchine asincrone

Le macchine asincrone con rotore avvolto sono dette anche "slip ring" perché le tre fasi dell'avvolgimento distribuito di rotore sono cortocircuitate e collegate a tre anelli.



5

Rotore a gabbia di tipo pressofuso

È impiegato nelle macchine asincrone di bassa-media potenza ($50 \div 100 \text{ kW}$).

L'intera gabbia è fusa in un pezzo unico, solitamente di alluminio.

Le barre sono generalmente inclinate rispetto alle cave di statore.



6

Rotore a gabbia di tipo pressofuso

Negli ultimi anni si sta diffondendo la tecnica di realizzazione di gabbie pressofuse in rame, per migliorare il rendimento del motore

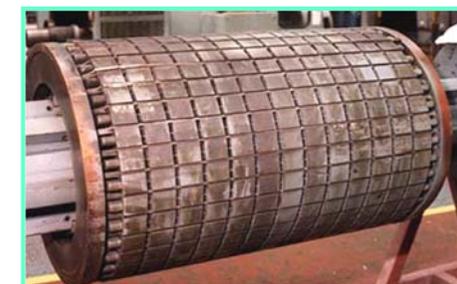
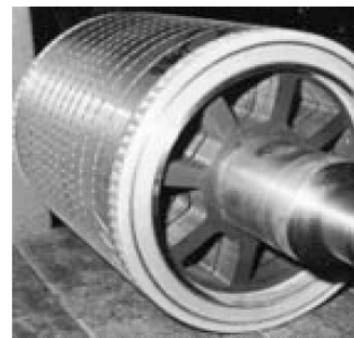
La costruzione di questo tipo di rotore, rispetto a quello con gabbia in alluminio, presenta maggiori costi in termini energetici ed economici ed è tecnicamente più complessa.



7

Rotore a gabbia con barre assemblate

Per macchine asincrone di potenza più elevata (>math>50 \div 100 \text{ kW}</math>) e alimentati generalmente in media tensione, il rotore è costituito da barre di rame che vengono inserite nelle cave e saldate agli anelli di corto circuito.



2800 kW, 6600 V, 2 poli

900 kW, 6000 V, 8 poli

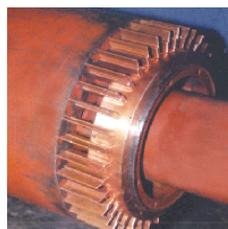
8

Rotore a gabbia con barre assemblate

Altri esempi di rotore a gabbia
"fabricated" (con barre assemblate):



Rotore a gabbia a barre di rame saldate
per motore da 3 MW, 6 kV, 2 poli

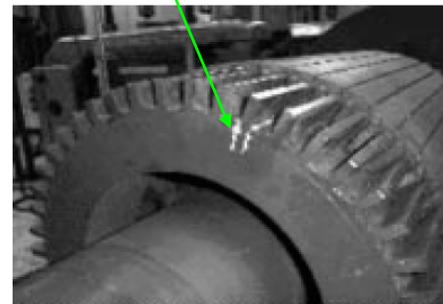


300 kW, 3300 V

9

Rotore a gabbia con barre assemblate

Per questi rotori, il guasto più probabile è dato dalla rottura di una barra o dalla frattura in prossimità della giuntura tra barre e anelli.



900 kW, 6 kV, 8 poli

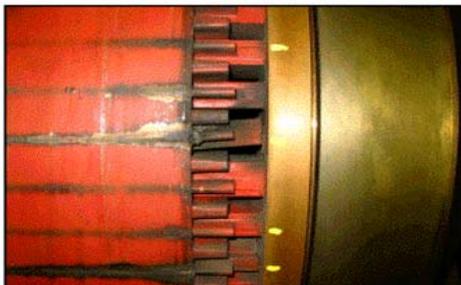


3100 kW, 11 kV, 2 poli

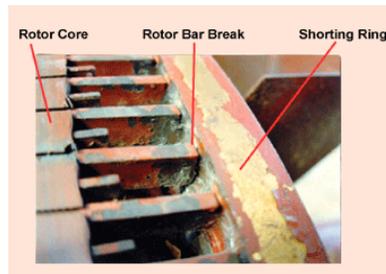
10

Rotore a gabbia con barre assemblate

Altri esempi di rotore con barre rotte:



Es.: 2600 kW, 4160 V, 2 poli



Se il guasto è diagnosticato prima di arrivare alla rottura completa del motore: costo di riparazione del motore: 60.000 \$ (riparazione) + 30.000 \$ (fermo impianto pianificato).
Altrimenti: costo di sostituzione del motore: 170.000 \$ (motore nuovo) + 200.000 \$ (fermo impianto non pianificato).

11

Rottura di una barra di rotore

La fase di avviamento è un momento critico per la gabbia: l'elevata temperatura, prodotta dalle elevate correnti, provoca dilatazioni nelle barre, favorendo la possibile insorgenza di fratture o distacchi nel punto di contatto tra barre e anelli (fatica meccanica, cedimento delle saldature).

Il conseguente aumento di impedenza del ramo soggetto al guasto comporta una ridistribuzione delle correnti nei conduttori sani, con conseguente squilibrio del flusso magnetico di reazione, che a sua volta provoca uno squilibrio nelle correnti di statore.

Questo squilibrio ha come conseguenza la formazione di campi rotanti di sequenza inversa e armonici ai quali è associato un aumento delle correnti su entrambi gli avvolgimenti (notevole sul rotore, molto meno sullo statore), con crescita delle temperature.

12

Rottura di una barra di rotore

La redistribuzione delle correnti nelle barre sane, associata all'aumento di temperatura, determina l'aumento delle sollecitazioni meccaniche e termiche cui sono soggette le barre che circondano la barra guasta.

Ciò causa la propagazione del guasto.

Solitamente si verifica un fenomeno a catena, in quanto la prima rottura determina maggiori sollecitazioni sulle barre vicine, che pertanto si deteriorano più rapidamente (questo deterioramento è comunque lentamente progressivo, perciò uno strumento diagnostico può essere efficace per prevenirlo).

Questo guasto è generalmente causato dalle sollecitazioni termiche e dal numero di avviamenti.

13

Rottura di barre di rotore

È quindi opportuno impiegare tecniche diagnostiche che consentano di stabilire con buona approssimazione se le condizioni della gabbia possono garantire il protrarsi dell'esercizio con sufficiente grado di sicurezza.

In pratica, motori con un limitato numero di barre danneggiate sono solitamente ancora in grado di espletare il servizio a loro richiesto, senza evidenti segni di funzionamento anomalo, quali l'aumento delle vibrazioni meccaniche o il sensibile allungamento del tempo di avviamento.

Alla dissimmetria del circuito elettrico di rotore che tale guasto comporta, consegue il fatto che le correnti assorbite dalla rete diventano squilibrate, per la presenza di componenti di sequenza inversa, e con contenuto armonico più elevato del normale.

14

Rottura di barre di rotore

Ciò determina l'insorgere di un'oscillazione sinusoidale di coppia sovrapposta alla componente continua e dà origine ad una componente spettrale nella corrente di statore.

L'ampiezza della componente spettrale della corrente di statore, che insorge per effetto della rottura di una sola barra di rotore, è dell'ordine di grandezza di quella indotta dalle inevitabili dissimmetrie costruttive di una macchina sana, ed è quindi difficile distinguere i due casi.

Tuttavia, il motore non deve permanere in tali condizioni a lungo, dal momento che il processo di invecchiamento risulta notevolmente accelerato ed è quindi lecito attendersi in breve tempo l'indisponibilità della macchina.

15

Modello del rotore simmetrico

L'applicazione ad un motore asincrono "sano" di una terna simmetrica di tensioni variabili sinusoidalmente nel tempo con frequenza f determina, in condizioni stazionarie, la produzione di un campo magnetico rotante alla velocità $f_1 = f/pp$, dove pp è il numero di coppie polari.

Questo campo induce una forza elettromotrice nei circuiti di rotore.

Per avere una coppia media non nulla occorre che i campi di statore e rotore siano sincroni: quindi anche la velocità assoluta (vista dallo statore) del campo magnetico di rotore sarà uguale a $f_1 = f/pp$.

La **velocità assoluta del campo magnetico di rotore** è data dalla somma della **velocità meccanica del rotore** + la **velocità del campo di rotore rispetto al rotore stesso**:

$$f_1 = f/pp = (1-s)f/pp + sf/pp$$

16

Modello del rotore simmetrico

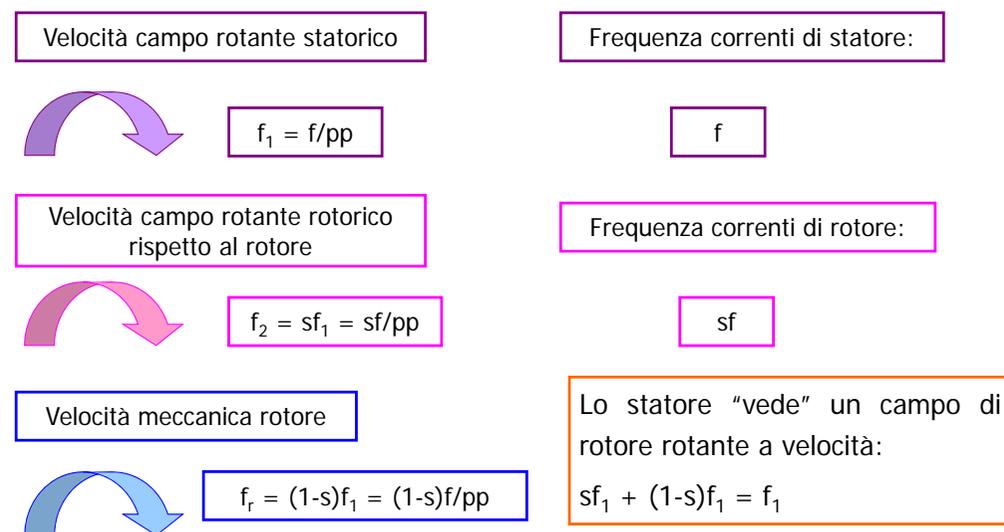
La forza elettromotrice indotta nei circuiti di rotore avrà frequenza sf , dove s è lo scorrimento relativo tra la frequenza elettrica dello statore (di alimentazione) e la frequenza elettrica del rotore (freccia da f a sf).



Il campo rotante prodotto dalle correnti di rotore a frequenza sf interagisce con il campo rotante di statore (freccia da sf a f), dando origine alla coppia elettromagnetica.

17

Modello del rotore simmetrico



18

Rotore dissimmetrico

La presenza di una asimmetria nel circuito elettrico di rotore determina un campo controrotante di rotore con correnti di rotore a frequenza $-sf$.

Lo statore "vede" un campo controrotante di rotore a frequenza:

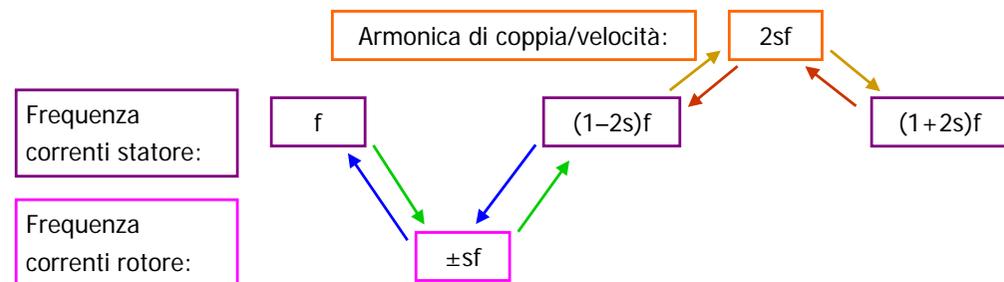
$$-sf_1 + (1-s)f_1 = f_1 - 2sf_1 = (1-2s)f_1$$

Questo campo controrotante di rotore induce nello statore una forza elettromotrice, e quindi una **componente della corrente di statore I_{left}** , a frequenza $(1-2s)f$: freccia da $-sf$ a $(1-2s)f$.

La corrente di statore I_{left} , indotta dalla dissimmetria di rotore, interagisce con le correnti di rotore di frequenza $-sf$: freccia da $(1-2s)f$ a $-sf$.

19

Rotore dissimmetrico



Ciò produce anche una **coppia alternata al doppio della frequenza di scorrimento ($2sf$)** che dà origine ad un'**oscillazione nella velocità di rotazione**, e conseguentemente ad una riduzione in ampiezza della corrente di statore I_{left} alla frequenza $(1-2s)f$.

Il fenomeno dell'oscillazione della velocità di rotazione ha come ulteriore effetto la produzione di una **seconda armonica nella corrente di statore I_{right}** a frequenza $(1+2s)f$.

20

Analisi della corrente di statore

La procedura diagnostica basata sull'analisi delle bande laterali di corrente $(1 \pm 2s)f$ è efficace se le correnti tra barre non sono presenti.

La componente a sinistra è direttamente correlata ai guasti di rotore, mentre la componente a destra è causata dall'effetto dello "speed ripple" e la sua ampiezza varia con l'inerzia combinata di rotore-carico. L'effetto dello "speed ripple" influenza anche l'ampiezza della componente a sinistra.

Di seguito sono riportati i risultati sperimentali relativi a un motore con rotore pressofuso in alluminio, 1,5 kW, 220 V, 50 Hz, 4 poli, scorrimento nominale 6%, 28 barre di rotore. Sono disponibili tre rotor: sano, con una barra rotta e con due barre rotte. Le sezioni delle barre e dell'anello sono quasi uguali.

A. Bellini C. Concari, G. Franceschini, C. Tassoni, A. Toscani, *Vibrations, currents and stray flux signals to asses induction motors rotor conditions*, IEEE Industrial Electronics, Proc. IECON 2006.

21

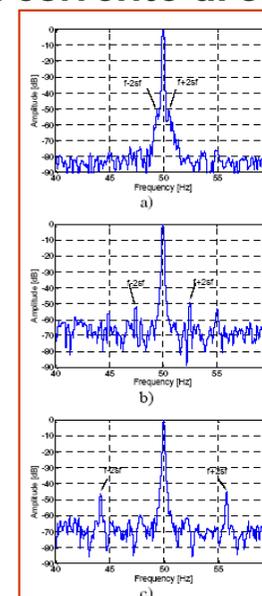
Spettro della corrente di statore

L'ampiezza delle bande laterali a frequenze $(1 \pm 2s)f$ nello spettro della corrente di statore dipende da:

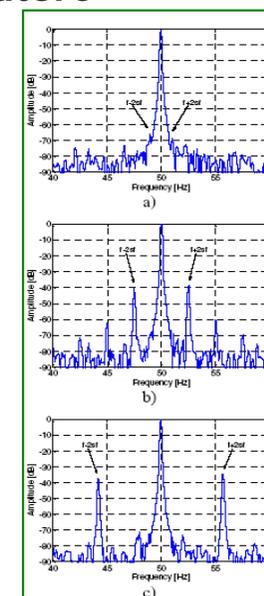
- numero di barre rotte (aumenta col numero);
- carico della macchina (aumenta col carico).



a) a vuoto
b) a mezzo carico
c) a pieno carico



1 barra rotta



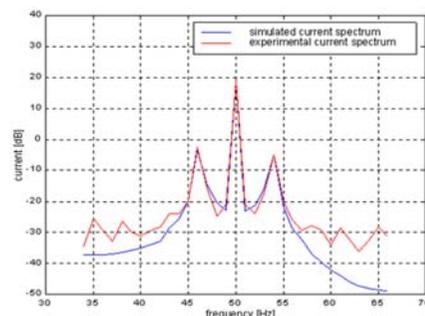
2 barre rotte

22

Rottura di barre di rotore

Purtroppo andamenti oscillanti di coppia possono essere prodotti direttamente dal carico, senza la presenza di asimmetrie o guasti di rotore.

Queste oscillazioni di coppia producono delle bande laterali nello spettro della corrente di statore, che potrebbero comparire proprio in corrispondenza delle frequenze analizzate per la rottura delle barre di rotore.



Pertanto, per un'analisi più approfondita, ma anche più costosa, può essere utile prendere in considerazione anche altre grandezze elettromagnetiche e meccaniche, utilizzando sensori di flusso, accelerometri e analisi della temperatura.

23

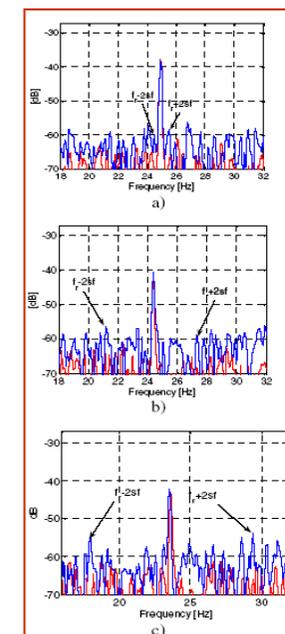
Spettro della vibrazione radiale

Anche l'ampiezza delle bande laterali a frequenze $f_r \pm 2sf$ nello spettro della vibrazione radiale dipende da:

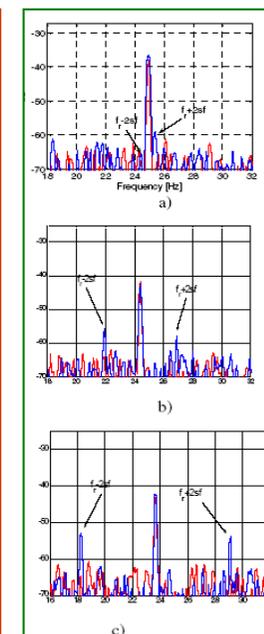
- numero di barre rotte (aumenta col numero);
- carico della macchina (aumenta col carico).

- a) a vuoto
- b) a mezzo carico
- c) a pieno carico

Rosso: sano, Blu: guasto



1 barra rotta



2 barre rotte

24

Flusso disperso esterno

Negli stessi esperimenti è stata anche rilevata la f.e.m. indotta dal flusso disperso esterno attraverso un sensore costituito da 300 spire avvolte su un nucleo magnetico a forma di C di sezione rettangolare 25x10 mm², posizionato sul motore.



Il flusso disperso esterno è il flusso magnetico che si irradia fuori dalla carcassa del motore.

È indotto dalle correnti di statore e rotore, ma prevalgono le correnti di statore, a causa dell'effetto di schermo magnetico dato dallo statore.

Nello specifico, una o due correnti di fase di statore prevalgono, a causa della posizione fissa del sensore e della posizione distribuita degli avvolgimenti di statore.

25

Flusso disperso esterno

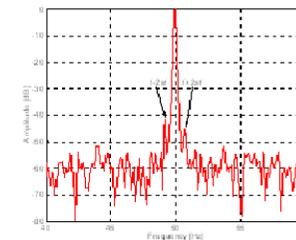
Quindi ci si aspetta che il flusso disperso esterno includa le stesse informazioni ottenute dalle correnti di statore.

Infatti, le bande laterali a frequenze $f \pm 2sf$ sono ancora presenti. Come prima, le loro ampiezze dipendono dal carico della macchina.

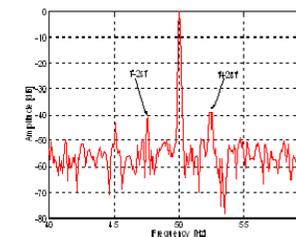
Si nota che la componente a destra aumenta con lo scorrimento di più che la componente a sinistra, perché come indicatore è utilizzata la derivata del flusso (f.e.m.) al posto del flusso.

2 barre rotte

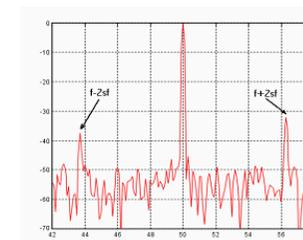
- a) a vuoto
- b) a mezzo carico
- c) a pieno carico



a)



b)



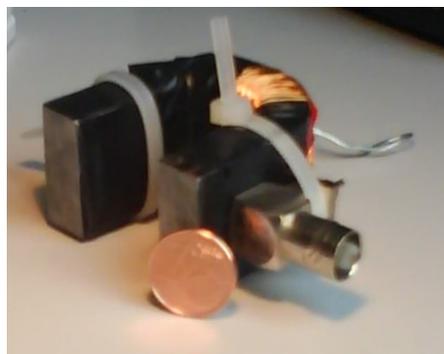
c)

26

Flusso disperso

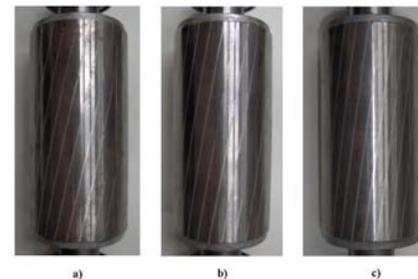
In conclusione, la corrente di statore e il flusso disperso possono essere usati con la stessa efficacia al fine di individuare e quantificare i guasti di rotore.

La scelta migliore dipende dalla specifica applicazione e dalla facilità di installare sensori di flusso o di corrente nello specifico ambiente industriale.



27

Barre inclinate e loro effetti



Pro:

- Riduzione del ripple di coppia (riduzione di coppie parassite e del conseguente rischio di impuntamento all'avviamento)
- Riduzione rumore durante la marcia

Contro:

- Favoriscono le correnti tra barre

28

Barre inclinate e loro effetti

La "inter-bar current" è la corrente che scorre tra barre adiacenti attraverso il nucleo magnetico rendendo la distribuzione della corrente lungo la lunghezza assiale della macchina non uniforme.

Poiché non c'è isolamento tra barre e ferro, è la sola resistenza di contatto barra/nucleo a limitare la circolazione della corrente nel nucleo.

Alcune ricerche hanno evidenziato che la resistenza di contatto è circa 70 volte maggiore della resistenza del ferro.

Nella teoria classica delle macchine asincrone le correnti tra barre sono generalmente trascurate.

L'ipotesi usuale è che la resistività dell'alluminio (o del rame) di cui sono fatte le barre è molto più bassa di quella del ferro di cui è fatto il nucleo e della resistenza di contatto tra barra e nucleo, quindi la corrente scorre totalmente lungo le barre.

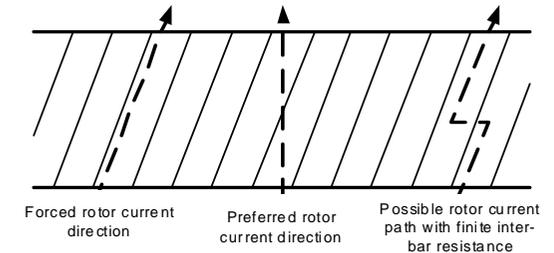
29

Barre inclinate e loro effetti

Al contrario, diversi studi sperimentali hanno provato che la corrente fluisce anche tra barre adiacenti attraverso il nucleo in ferro.

Questo fenomeno è accentuato nei rotor a gabbia a barre inclinate ("skewed"), poiché il percorso naturale per la corrente di rotore è lungo la lunghezza assiale della barra, ma è forzato lungo la direzione della barra inclinata.

Infatti, nel traferro di un motore asincrono il campo di induzione è radiale, la forza elettromotrice indotta (tensione) sul rotore è assiale e così dovrebbero essere anche le correnti.



30

Barre inclinate e loro effetti

Altre ricerche hanno mostrato che:

- ✓ la resistività tra barre è più bassa nel caso di rotor pressofusi in rame rispetto a motori pressofusi in alluminio;
- ✓ le correnti tra barre diventano notevoli quando una barra è rotta.

La presenza di elevate correnti tra barre a motore sano fa sì che, in caso di guasto, sia ancora più elevata la corrente che fluisce tra le barre adiacenti a quella rotta in prossimità dell'anello di corto circuito (dove è presente la rottura), causando una reazione a catena che potrebbe provocare più facilmente la rottura delle barre circostanti.

A livello diagnostico, queste elevate correnti tra barre possono ridurre lo sbilanciamento provocato da una barra rotta: questo effetto può rendere più difficile l'individuazione precoce del guasto di rotore, specialmente quando si monitorano le bande laterali di corrente attorno alla fondamentale.

31

Prove sperimentali sulle correnti tra barre

Sono state realizzate delle prove iniettando corrente continua in un rotore a gabbia attraverso due piastre di rame tenute insieme con una morsa e misurando la caduta di tensione in ogni barra lungo 5 sezioni assiali di rotore.

L'obiettivo era analizzare gli effetti delle correnti tra barre sulle tensioni assiali in un rotore pressofuso a gabbia di rame in 3 diverse condizioni:

- 1) sano,
- 2) con una barra rotta,
- 3) con tutte le barre rotte.

Queste misure forniscono informazioni riguardo la variazione della resistenza di barra e tra barre lungo la lunghezza assiale del rotore e informazioni sugli effetti della rottura di barre.

(D. Dorrell, L. Frosini, M. Bottani, G. Galbiati, Min-Fu-Hsieh, "Analysis of axial voltages and inter-bar currents in cast copper cage rotors during dc current injection as an aid to identify casting faults", Proc. IECON 2009)

32

Prove sperimentali sulle correnti tra barre

La corrente fluisce attraverso le piastre di rame negli anelli di corto di circuito e quindi lungo le barre di rotore.

Le barre sono state scoperte in alcuni punti per rendere possibile un buon contatto con le sonde di tensione.

L'ampiezza delle correnti iniettate durante le prove è stata: 100 A, 150 A e 200 A. In questo modo la densità di corrente in ciascuna barra rimane abbastanza bassa (al massimo 0,2 A/mm²), quindi il riscaldamento del rotore non è un problema (ogni prova richiede circa un minuto).

MAIN CHARACTERISTICS OF THE ROTORS

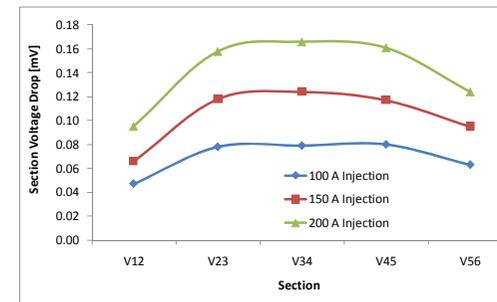
Copper resistivity	0.0178×10 ⁻⁶ Ωm	Stack length	180 mm
Rotor diameter	93.1 mm	Shaft diameter	16 mm
Bar number (N _b)	16	Pole number	2
Bar depth	11 mm	Tooth width	2.879 mm
Slot area	52.6928 mm ²	Bar area (S)	47.15 mm ²
Skew	1.3333	Lam. thickness	0.65 mm



33

Prove sperimentali sul rotore sano

Le cadute di tensione su una barra in ogni sezione del rotore sano sono:



Le leggere variazioni nelle tensioni V₁₂ e V₅₆ sono dovute alle posizioni delle sonde nei punti 1 e 6, che sono posizionati sugli anelli di corto circuito, dove la sezione del rame è considerevolmente maggiore rispetto alla sezione della barra: quindi la caduta di tensione in questi punti è minore a causa della minore resistenza degli anelli.

34

Prove sperimentali sul rotore sano

La resistenza di ciascuna sezione della barra può essere calcolata usando la formula:

$$R = \frac{N_b V}{I}$$

dove le N_b = 16 barre sono considerate nominalmente identiche, così che la corrente si possa considerare equamente divisa tra le barre.

I valori sperimentali di resistenza così calcolati sono mostrati in tabella, dove si può notare che i valori ottenuti nelle tre prove sono simili.

	100 [A]	150 [A]	200 [A]
R ₁₂ [μΩ]	7.52	7.04	7.60
R ₁₃ [μΩ]	20.00	19.63	20.24
R ₁₄ [μΩ]	32.64	32.85	33.52
R ₁₅ [μΩ]	45.44	45.33	45.40
R ₁₆ [μΩ]	55.52	55.47	56.32

Il valore teorico della resistenza di ciascuna barra è vicino al valore sperimentale R₁₆:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0.0178 \cdot 0.180}{52.6928} = 60.80 \mu\Omega$$

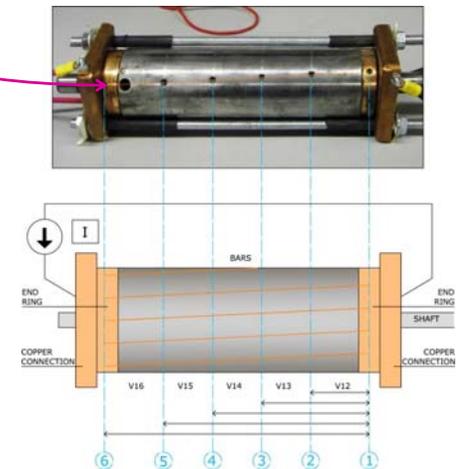
35

Prove sperimentali sul rotore con una barra rotta

Il rotore con una barra rotta ha una barra forata a un estremo.

Ogni barra di questo rotore è divisa in 5 sezioni, dove è possibile accedere alla superficie della barra per avere una buona connessione con la sonda.

È stata misurata la caduta di tensione in ogni sezione per tutte le 16 barre di rotore, collegando una prima sonda al punto 1 e una seconda sonda in ogni punto fino al 6.

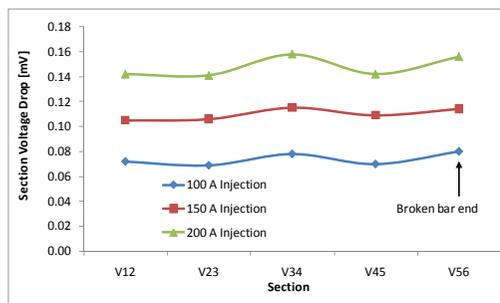


36

Prove sperimentali sul rotore con una barra rotta

La caduta di tensione lungo la **barra rotta** non è uniforme.

Si osserva che le 3 curve presentano le stesse caratteristiche, per cui si può ritenere che le misure sono consistenti.

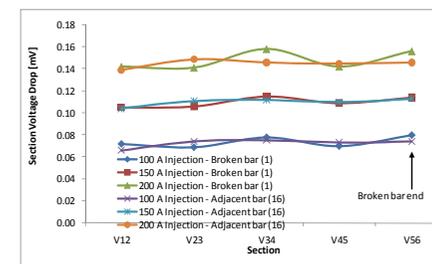
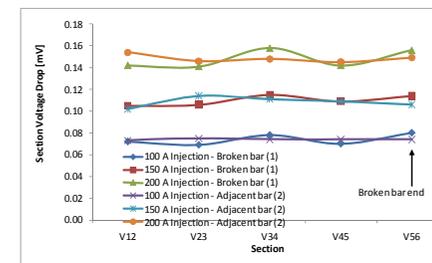


37

Prove sperimentali sul rotore con una barra rotta

La caduta di tensione lungo la barra rotta è stata confrontata con la caduta di tensione lungo le altre barre, in particolare con le barre adiacenti e con la barra opposta.

Nelle **barre adiacenti** la caduta di tensione è quasi costante nelle sezioni centrali, con un leggero abbassamento nelle sezioni alle estremità: complessivamente le curve sono quasi orizzontali.

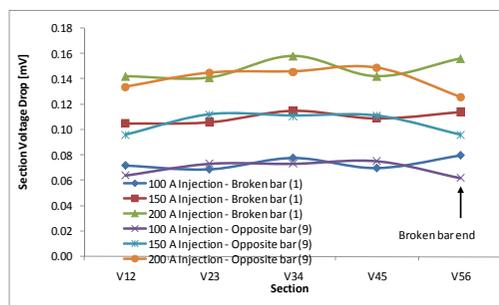


38

Prove sperimentali sul rotore con una barra rotta

La **barra opposta** presenta un andamento diverso ad entrambe le estremità: un leggero decremento in V_{12} e un decremento più pronunciato in V_{56} , ossia nell'estremità dove l'altra barra è rotta.

Al contrario, la barra rotta presentava un aumento in V_{56} : questo può essere dovuto a una redistribuzione delle correnti nelle barre causata dal guasto.

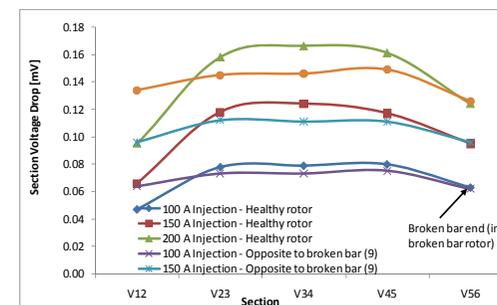


39

Prove sperimentali sul rotore con una barra rotta

L'andamento della caduta di tensione nelle barre sane del motore guasto è stato confrontato con quello di una barra di un rotore sano; i due rotori sono diversi, ma dello stesso tipo.

La caduta di tensione nella barra del rotore sano è molto simile a quella della barra opposta del motore con una barra rotta. La differenza tra i due casi è probabilmente dovuta a motivi costruttivi.

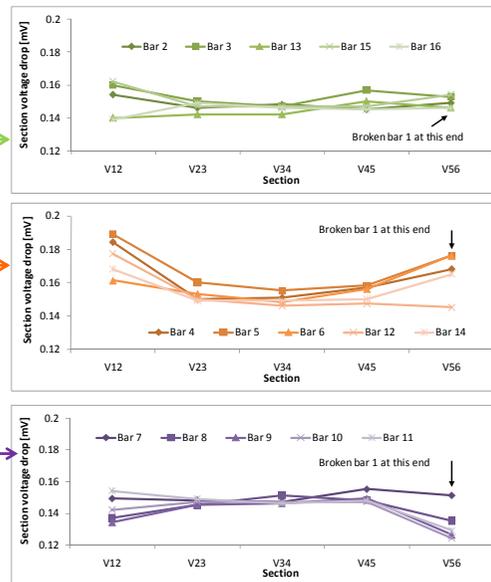
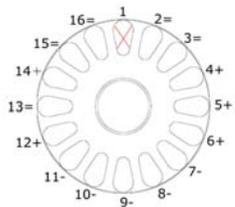


40

Prove sperimentali sul rotore con una barra rotta

In conclusione, sono stati osservati 3 diversi andamenti nella caduta di tensione per le barre del rotore guasto:

- costante (=),
- concavo (+)
- convesso (-), simile al rotore sano.



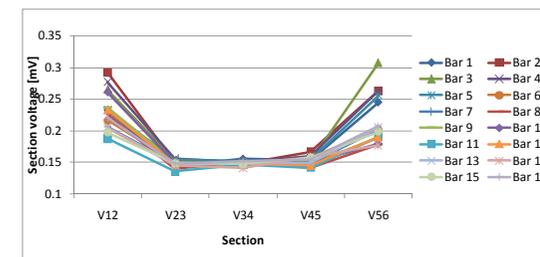
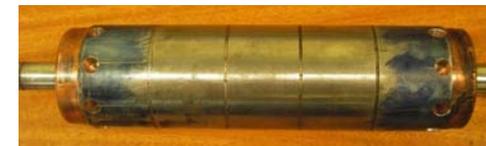
41

Prove sperimentali sul rotore con tutte le barre rotte

Infine, il rotore con una barra rotta è stato modificato forando tutte le barre ad estremità alterne.

Tutte le curve delle cadute di tensione presentano lo stesso andamento "concavo", ossia tutte le barre hanno aumentato V_{12} e V_{56} .

Questo effetto è dovuto alla condizione di guasto, che però fa sì che il rotore presenti in qualche modo una condizione simmetrica elettricamente.



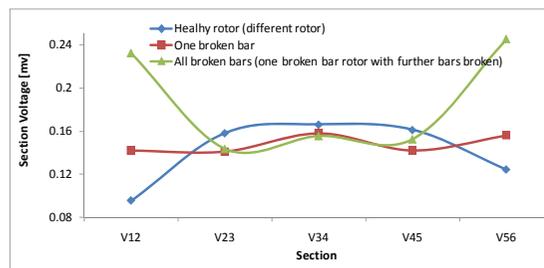
42

Prove sperimentali sul rotore con tutte le barre rotte

In conclusione, per V_{12} e V_{56} si sono manifestati 3 tipi di andamenti:

- riduzione della caduta di tensione per il motore sano,
- caduta di tensione quasi costante per la barra rotta del rotore con una sola barra rotta,
- aumento della caduta di tensione per il rotore con tutte le barre rotte.

Nell'ultimo caso, ciascuna barra è rotta solo in una delle estremità, in modo alternato: questa rottura provoca un aumento di tensione anche nelle estremità non rotte delle barre adiacenti, poiché queste sezioni saranno percorse da correnti più elevate.



43

Prove sperimentali sui rotori

In conclusione, dai risultati sperimentali è evidente che una rottura completa in una barra non impedisce alla corrente di fluire lungo questa barra.

La corrente fluisce attraverso percorsi disponibili nel nucleo ferro-magnetico verso le altre barre.

Quindi gli andamenti costante e concavo della tensione dipendono dalle correnti tra barre che passano attraverso il nucleo nelle altre barre.

Nota importante: le prove sperimentali descritte hanno avuto l'obiettivo di comprendere il comportamento delle correnti tra barre nei motori a gabbia, ma non possono trovare applicazione come prove diagnostiche, in quanto distruttive.

44

Effetto delle correnti tra barre sulla diagnostica

La procedura diagnostica basata sulla sola analisi delle correnti di statore per individuare la rottura di barre di rotore può fallire nel caso in cui siano presenti correnti tra barre, poiché queste riducono il grado di asimmetria del rotore e, di conseguenza, l'ampiezza delle componenti spettrali considerate.

D'altro canto, la presenza di correnti tra barre ha effetto sulle vibrazioni del rotore: l'interazione del flusso radiale con le correnti tra barre, che si sviluppano lungo la circonferenza del rotore, produce una forza (e quindi una vibrazione) in direzione assiale.

Pertanto, l'analisi congiunta delle grandezze precedentemente considerate (corrente di statore, flusso disperso, vibrazioni radiali) con quella della vibrazione assiale può aumentare l'efficacia della procedura diagnostica proposta.

45

Effetto delle correnti tra barre sulla diagnostica

C. Concari, G. Franceschini, C. Tassoni, *Differential Diagnosis Based on Multivariable Monitoring to Assess Induction Machine Rotor Conditions*, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 55, Issue 12, 2008.

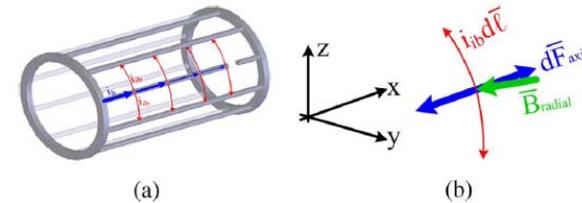


Fig. 8. Interbar currents in case of (a) bar breakage and (b) generation of an axial force.

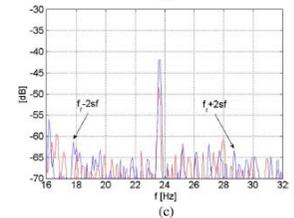
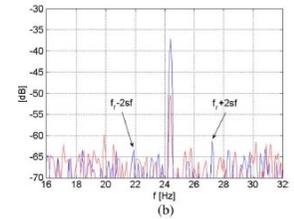
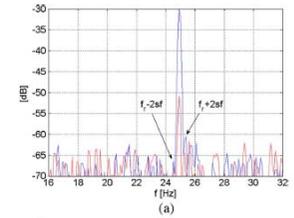


Fig. 19. Axial vibration signal spectra in the range close to f_r (blue two broken bars, red healthy) (a) no load, (b) half load, and (c) full load.

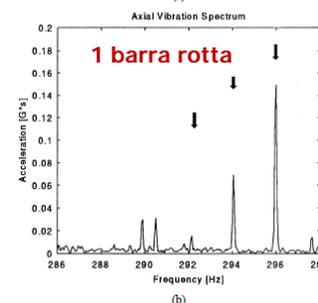
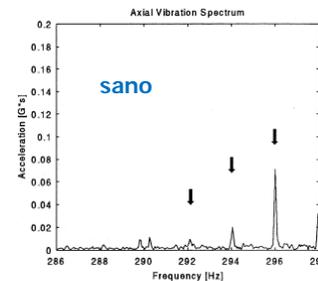
46

Effetto delle correnti tra barre sulla diagnostica

I grafici riportati nella pagina precedente sono riferiti a un piccolo motore asincrono (1,5 kW, 4 poli) con gabbia pressofusa in alluminio: in questo caso le correnti tra barre in presenza di una o due barre rotte sono trascurabili e la diagnostica di rotore attraverso l'analisi della corrente di statore rimane efficace.

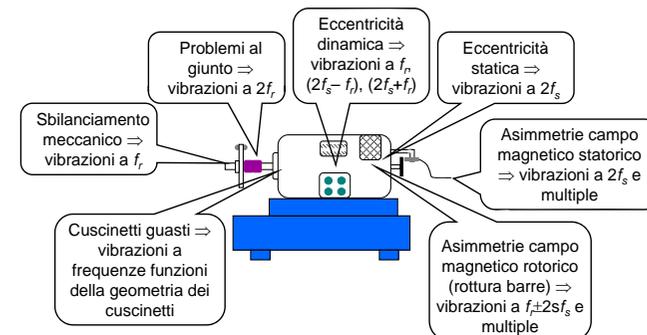
Un'altra ricerca ha considerato motori di taglia superiore (55 kW, 2 poli, con gabbia in rame e barre inclinate) e ha verificato che la rottura di una barra modifica le vibrazioni assiali a frequenze diverse da quelle indicate nel grafico precedente.

G.H. Muller, C.F. Landy, *A novel method to detect broken rotor bars in squirrel cage induction motors when interbar currents are present*, IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 18, Issue 1, 2003.



Influenza di altri guasti sullo spettro della vibrazione

La figura sintetizza le frequenze che vengono sollecitate nello spettro delle vibrazioni della cassa di statore, nei vari casi di malfunzionamento.



48