



Ente per le Nuove tecnologie,
l'Energia e l'Ambiente



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Test sperimentale pompa triplex a zero pulsatilità per alimentazione slurry di carbone-acqua

R. Bruschi, C. Stringola, M. Arabia





Ente per le Nuove tecnologie,
l'Energia e l'Ambiente



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Test sperimentale pompa triplex a zero pulsatilità per alimentazione slurry di carbone-acqua

R. Bruschi, C. Stringola, M. Arabia

TEST SPERIMENTALE POMPA TRIPLEX A ZERO PULSATILITÀ PER ALIMENTAZIONE SLURRY DI CARBONE-ACQUA

R. Bruschi, C. Stringola (ENEA)

M. Arabia (EN.SY.EN. Srl)

Aprile 2009

Report Ricerca Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Produzione e fonti energetiche

Tema: Tecnologie innovative per migliorare i rendimenti di conversione delle centrali a polverino di carbone - Sviluppo di un sistema di combustione di tipo "flameless" per impianti di produzione di elettricità con ridottissimi livelli di emissione di inquinanti e CO₂

Responsabile Tema: Stefano Giammartini, ENEA

INDICE

1.	Introduzione	3
2.	Descrizione dei componenti critici del circuito	4
3.	Procedura per il test funzionale-qualitativo	5
3.1.	Innesco Pompa	5
3.2.	Messa in pressione del loop	5
3.3.	Spillamento	6
3.4.	Valutazione dei risultati	6
3.5.	Deperibilità delle valvole	8
4.	Conclusioni	8
	Note tecniche.....	9

1. Introduzione

Nel processo di valutazione della pompa triplex a zero pulsatilità come sistema di alimentazione slurry di carbone sono state individuate due fasi:

- c) **test funzionale-qualitativo**, mirato alla verifica delle possibilità funzionali: possibilità di pompaggio di slurry di carbone, criticità funzionali di tipo on/off e indicazioni di modifiche strutturali consistenti, continuità di esercizio, deperibilità del componente. La concentrazione carbone/acqua usata per la composizione dello slurry è quella indicata da ITEA.
- d) **test funzionale-analitico**, mirato alla validazione analitica della funzionalità: entità della pulsatilità, curve di rendimento e di lavoro. Questo test implica anche lo studio della fluidodinamica dello slurry di carbone e della sua interazione con la funzionalità della pompa.

Terminato il test funzionale qualitativo, si è in procinto di realizzare un loop per il test funzionale-analitico.

Il test qualitativo è mirato alla verifica della possibilità di pompaggio di slurry di carbone e delle possibili criticità funzionali di tipo on/off, ovvero della continuità di esercizio e della deperibilità del componente. E' stato approntato un loop chiuso di prova, riportato in fig. 1, costituito da: serbatoio in pressione contenente slurry di carbone, pompa triplex, misuratore di pressione, carico fluidodinamico e valvola di spillamento per la stima di portata in pressione. Il loop è anche dotato di una adduzione acqua in pressione per il pre e post lavaggio.

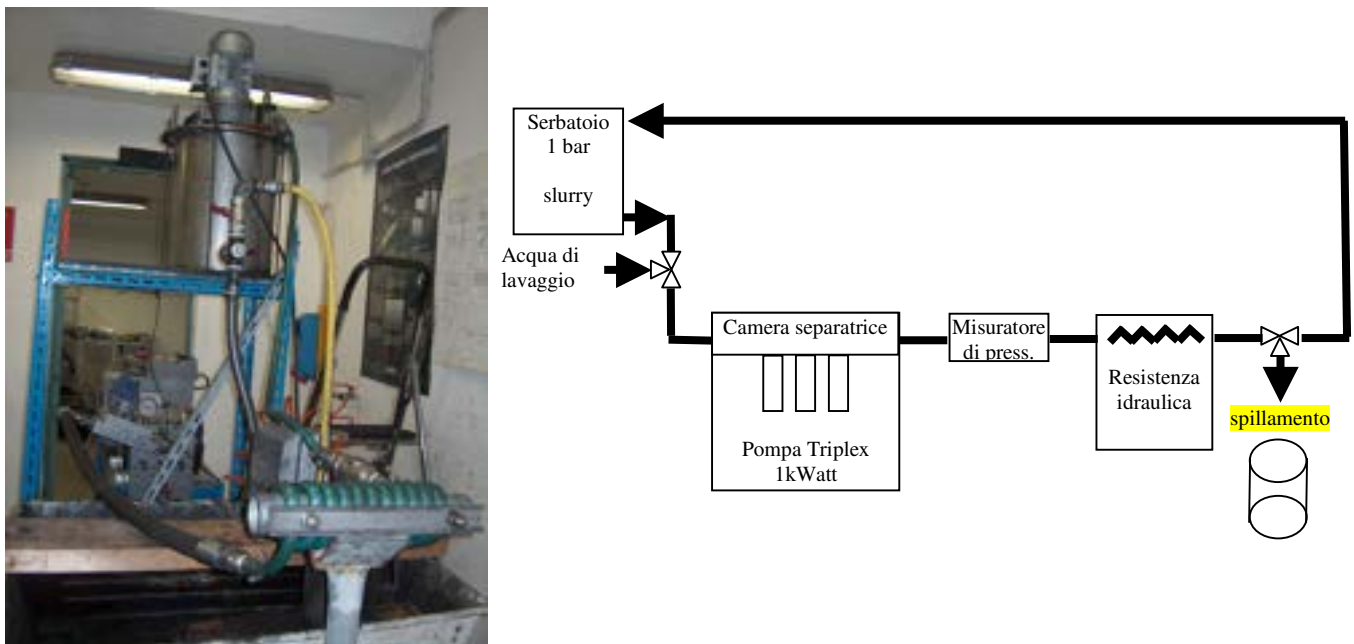


Figura 1 Prova pompa triplex, loop-slurry e relativo diagramma funzionale

2. Descrizione dei componenti critici del circuito

Il sistema, come da diagramma funzionale riportato in fig.1, è costituito da:

- a) Serbatoio in acciaio, a chiusura ermetica, per una pressione di esercizio di 1 bar, dotato di valvola di sicurezza. Contiene un agitatore necessario a mantenere lo slurry, fluido non newtoniano, in uno stato di viscosità e fluidità accettabile (lo slurry in condizione statica si separa nelle due fasi che lo costituiscono, solida e liquida, e si altera pesantemente la sua caratteristica fluidodinamica);
- b) pompa triplex a zero pulsatilità da 1 kW - componente sotto test;
- c) misuratore di pressione con pressostato, tarato a 20 bar. Il pressostato esegue un intervento veloce di protezione togliendo l'alimentazione elettrica al motore della pompa quando si verifica il superamento del limite di pressione impostato;



Figura 2 Misuratore di pressione e relativo limitatore di pressione

- d) carico idraulico variabile, ottenuto con un tubo flessibile (pressione max 30 bar) avvolto a spirale attorno ad un tubo di acciaio, e comprimibile, per diminuirne la sezione utile ed aumentare il carico idraulico, tramite due barre in metallo laterali e serrabili, a modo di morsa, con due bulloni;



Figura 3 Resistenza idraulica variabile.

- e) valvola a tre vie per lo spillamento, in pressione, dello slurry. La valvola garantisce il mantenimento in pressione del serbatoio, durante lo spillamento.
- f) slurry di carbone ed acqua.

Il fluido utilizzato nel loop è un fango costituito da polverino di carbone, a grana omogenea di diametro 0.1 mm, ed acqua. E' stato preparato secondo le indicazioni fornite da ITEA: volumi uguali di acqua e di polverino di carbone (le prescrizioni precedenti erano massa acqua uguale

alla metà della massa carbone), in questo caso il rapporto delle masse carbone acqua non è 2 a 1, ma 1.13 a 1. La densità dello slurry ottenuto è: 1.217 g/cc. Lo slurry stabilizzato e decantato presenta 1/3 di volume di acqua in eccesso al carbone saturo di acqua, che occupa i restanti 2/3.



Figura 4 Slurry di carbone, grana da 0.1 mm, umido.

La velocità di separazione della parte solida da quella liquida è alta, pertanto il fluido trattato è molto instabile dal punto di vista fluidodinamico.

3. Procedura per il test funzionale-qualitativo

La procedura seguita per attuare il test consiste in quattro azioni:

- a. Innesco pompa,
- b. messa in pressione del loop,
- c. spillamento,
- d. valutazione dei risultati.

3.1. Innesco Pompa

Il processo di innesco pompa, è una fase abbastanza delicata in quanto implica due attenzioni particolari:

- la prima che lo slurry non si sia separato ed abbia ostruito il condotto;
- la seconda è che la portata naturale in uscita dal serbatoio sia potenzialmente superiore a quella richiesta dalla pompa ; ciò si ottiene se la somma (pressione aria [nel nostro caso 1 Bar] nel serbatoio slurry) + (pressione dovuta al dislivello serbatoio pompa) + (valore assoluto depressione nel cilindro pompa in riempimento [nel nostro caso non superiore a 0.5 Bar]) $\geq$ (massima perdita di carico nel condotto tra serbatoio slurry e pompa alla massima portata di lavoro): ciò garantisce che la portata in entrata alla pompa sia uguale a quella che la pompa volumetrica richiede in entrata ed invia all'uscita. Se questa condizione non viene realizzata la pompa si blocca con i relativi inconvenienti della ostruzione della tubazione di ingresso.

Questo secondo punto è indispensabile che sia rispettato, non tanto perché la pompa può andare in cavitazione, ma perché altrimenti è possibile che si inneschi una anomalia funzionale dovuta al meccanismo di recupero olio: il meccanismo (tarato a - 0.5 bar) traduce la depressione come mancanza di olio e non come mancanza di fluido all'ingresso, e quindi lo reintegra provocandone un eccesso che va a sollecitare le membrane di separazione (olio-slurry) rompendole.

3.2. Messa in pressione del loop

La messa in pressione del loop viene ottenuta aumentando il carico, ovvero la resistenza idraulica. Durante il raggiungimento della pressione voluta (non superiore ai 10 bar per questioni di sicurezza) è possibile che lo slurry abbia un comportamento fluidodinamico instabile. Infatti, per raggiungere il carico idraulico adeguato all'ottenimento della pressione voluta è possibile che la sezione di

strozzamento del tubo sia troppo piccola rispetto a quella necessaria affinché le dimensioni dei grani di carbone non costituiscano un problema di scorrimento: raggruppandosi in prossimità della strozzatura ostruiscono completamente il condotto, e quindi l'anomalia si ha per una questione geometrica e non di viscosità. Si è notato che con resistenze elevate, in prossimità della strozzatura si possono provocare fenomeni di turbolenza (fruscio) che giocano a favore della stabilità del flusso, e quindi anche della pressione di esercizio, in quanto non favoriscono l'aggregamento dei granuli di carbone. Questo ci permette di ipotizzare che l'utilizzo di un sistema che vibri il fluido, e che quindi lo mantenga uno stato dinamico anche se fermo (soprattutto nelle zone critiche), sia una soluzione da non trascurare per garantire una buona funzionalità del loop.

3.3. *Spillamento*

Lo spillamento è l'operazione che viene effettuata per misurare la portata e per verificare (anche se non in modo ortodosso) se il sistema mantiene le sue caratteristiche di generatore di portata, ossia di indipendenza della portata dalla pressione del carico. Il metodo usato consiste nella registrazione, tramite telecamera della sequenza relativa al riempimento di un volume noto (contenitore da 2 litri). Per ogni misura viene registrata, la pressione di esercizio e la frequenza dell'inverter in modo da risalire, conoscendo la cilindrata complessiva dei tre pistoni (53cc), ed il rapporto motore/asse-pompa (72/14) anche alla portata volumetrica corrispondente. La possibilità di rivedere rallentati i fotogrammi (acquisiti a 25 Hz) permette di misurare, con una certa correttezza, il tempo di riempimento del contenitore. Il contenitore, una volta pieno, viene pesato con una bilancia elettronica in modo da stimare la portata massica con una discreta precisione, da cui derivare la portata in volume essendo nota la densità dello slurry.

3.4. *Valutazione dei risultati*

Sono state fatte due serie di misure di portata massica a frequenza diversa (50 e 40 Hz) fissa e pressione di carico variabile con 4,6,8,10 bar. Questo per avere due curve di confronto e poter così verificare il possibile diverso comportamento della pompa.

filename	frequenza inverter (Hz)	pressione in uscita (bar)	t0 (sec)	t1 (sec)	t riempimento	pesata (g)
910	50	4	20	35	15	2530
912	50	6	28	42	14	2521
918	50	10	26	41	15	2642
920	50	10	26	41	15	2558
923	50	10	26	41	15	2599
925	50	8	27	42	15	2642
927	50	8	26	42	16	2705
929	50	8	29	46	17	2551
931	50	6	25	40	15	2539
933	50	6	22	38	16	2621
935	50	4	25	40	15	2674
937	50	4	25	40	15	2657
0939, 0940, 0941	40	10	2	27	25	2701
0944, 0945	40	8	2	27	25	2598
950	40	8	6	30	24	2553
0952, 0953	40	6	1	23	22	2734
0955, 0956	40	6	0	22	22	2734

Figura 5 Tabella delle misure effettuate con frequenza di inverter 50 e 40 Hz e pressione di esercizio 4,6,8,10 bar



Figura 6 Nelle figure sono riportate i fotogrammi delle quattro fasi della misura: freq. inverter, press. di esercizio, spillamento e pesatura slurry.

I risultati riportati nella tabella di fig.5 sono stati graficati in modo da verificarne l'andamento.

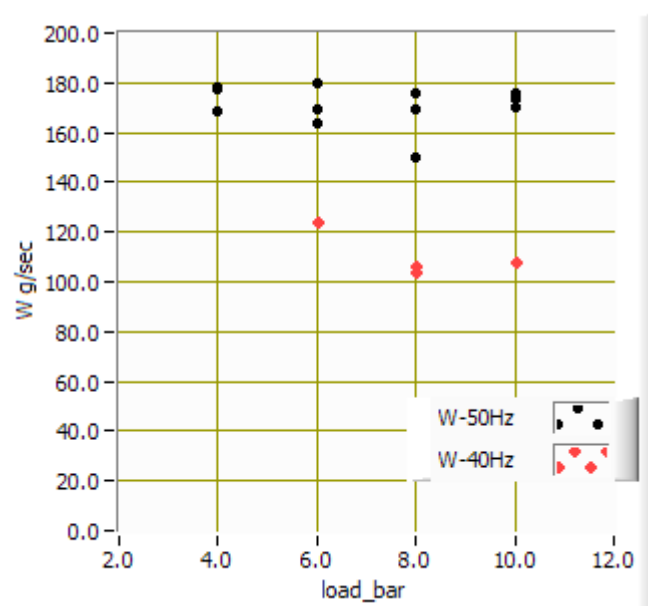


Figura 7 Rappresentazione grafica delle due curve nero (50Hz) e rossa

Dati statistici

50 Hz	portata media misurata = 171.03 g/sec	sd = 8.16
40 Hz	portata media misurata = 113.38 g/sec	sd = 10.05

Poiché la portata geometrica a 50 Hz è pari a $163 \text{ cm}^3/\text{sec}$ (portata in massa = 198.4 g/sec) ed a 40 Hz è pari a $128.8 \text{ cm}^3/\text{sec}$ (portata in massa = 156.8 g/sec), si ottiene uno scostamento tra valori calcolati e valori misurati pari al 14% a 50 Hz e pari al 28% a 40 Hz. Questo risultato è da attribuire ai riflussi dinamico (durante la fase di chiusura) e statico (a valvola chiusa, per imperfetta chiusura) delle valvole di entrata e di uscita.

3.5. Deperibilità delle valvole

La pompa, dopo le misure è stata smontata per verificare lo stato delle valvole. Queste mostrano un logorio evidente dove l'otturatore batte sulla tazza di contenimento. Il materiale delle valvole è acciaio inox normale, questo dovrebbe essere trattato con un processo di indurimento.



Figura 8 Vista dello stato delle valvole dopo un esercizio 5 giorni (6 ore/gg)

Il fenomeno essenzialmente è dovuto all'effetto della pressione di carico che completa la chiusura della valvola (sia per la valvola di entrata, sia per quella di uscita) in presenza di riflusso di slurry. L'utilizzo di valvole attive annulla questo effetto in quanto garantiscono la chiusura dell'otturatore prima che inizi la fase di aspirazione del pistone.

4. Conclusioni

La sperimentazione ha permesso di caratterizzare in modo qualitativo il componente prototipale sotto test che ha mostrato una funzionalità stabile ed efficace mettendo comunque in evidenza difetti recuperabili nella fase di ingegnerizzazione (durezza valvole, modifica camere di pompaggio, valvole attive). Il componente, nel suo stato prototipale, può essere utilizzato anche nella fase analitica in quanto, garantendo un esercizio continuativo affidabile permetterebbe lo studio del comportamento fluidodinamico dello slurry.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Sig. Federico Manfredi, di EN.SY.EN. srl, per l'utilissima collaborazione.

Note tecniche

Dati sistema motore-pompa

Motore asincrono 6 poli

Rapporto di trasmissione 72/14 (5.14)

Cilindrata 53 cm³

Portata geometrica massima:

50 Hz 950 giri/min (15.8 giri/sec) riduzione 72/14 -> 3.07 giri/sec asse pompa
40 Hz 750 giri/min (12.5 giri/sec) riduzione 72/14 -> 2.43 giri/sec asse pompa

Portata a 50 Hz 53 cm³ * 3.07 = 163 cm³/sec -> * 1.217 g/cc -> 198.4 g/sec

Portata a 40 Hz 53 cm³ * 2.43 = 128.8 cm³/sec -> * 1.217 g/cc -> 156.8 g/sec