

# Sistemi di stabilizzazione navale: criteri di funzionamento oleodinamico



**L'assetto in planata del maxi yacht Sanlorenzo 108 con le pinne di stabilizzazione in navigazione.**

*I sistemi di stabilizzazione sviluppati da CMC Marine si basano sull'effetto smorzante di pinne stabilizzatrici il cui movimento è pilotato dalla cpu del controllore elettronico e azionate da attuatori meccanici attraverso un sistema oleodinamico.*

✎ Marco Ballerio

**A**zienda italiana con sede a Como, CMC Marine progetta e realizza sistemi di automazione e di stabilizzazione attiva per navi e maxi yacht, assumendo un ruolo di riferimento a livello internazionale, risultato di approfondite esperienze e costanti investimenti in ricerca tecnologica. Abbiamo incontrato l'ing. Alessandro Cappiello, fondatore e presidente di CMC Marine, il quale ci ha introdotto le funzioni e descritto gli elementi chiave dell'impianto oleodinamico applicato al sistema di regolazione e stabilizzazione navale.

**Quali sono i criteri di funzionamento del sistema di stabilizzazione navale?**

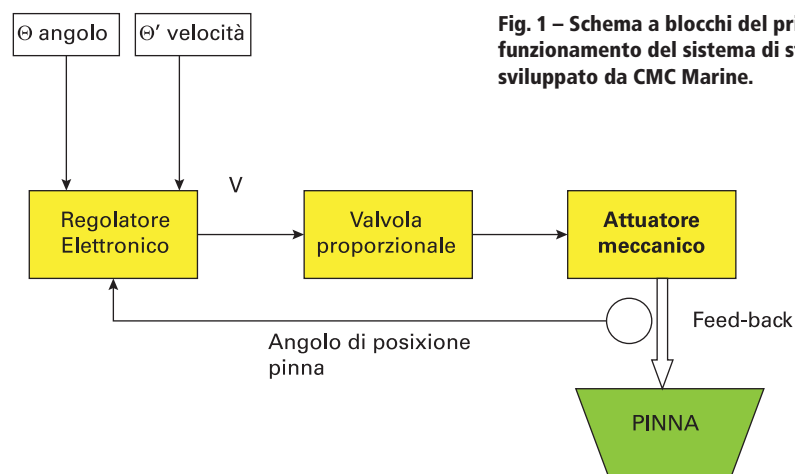
«I sistemi di stabilizzazione sviluppati da CMC Marine si basano sull'effetto smorzante di pinne stabilizzatrici il cui movimento è pilotato dalla cpu del nostro controllore elet-

tronico, e azionate da attuatori meccanici attraverso un sistema oleodinamico. La piattaforma inerziale e i vari sensori che analizzano il moto e l'oscillazione dell'imbarcazione, vengono elaborati dalla centralina elettronica che invia i segnali processati ai componenti e all'attuatore dell'impianto oleodinamico, che devono azionare e regolare in velocità e posizione le pinne stabilizzatrici, contrastando e smorzando le oscillazioni dello scafo. I moderni sistemi di regolazione devono stabilizzare la nave sia in movimento, sia quando è ferma "all'ancora". I criteri di funzionamento dell'impianto in queste due modalità, sono decisamente differenti. Quando lo scafo è in navigazione, le pinne eseguono movimenti di modulazione, con bassi valori di velocità angolari, intorno ai 22 - 25 gradi al secondo, richiedendo all'impianto una modesta dinamica di regolazione. Quando invece l'imbarcazione è all'ancora, viene a mancare l'effetto di portanza delle pinne, generato dalla

velocità del flusso sul profilo alare in navigazione. Quindi all'ancora l'azione smorzante dei moti di oscillazione dello scafo, si ottiene muovendo rapidamente le pinne, che devono raggiungere velocità angolari tra i 45 e i 60 gradi al secondo, con forti accelerazioni e decelerazioni, richiedendo all'impianto una regolazione di tipo "impulsiva", con rapide risposte dinamiche.»

**Quali sono le peculiarità e le intensità delle forze che deve gestire un impianto oleodinamico di stabilizzazione navale, e con quale tolleranza di regolazione?**

«In un sistema di stabilizzazione navale, l'impianto oleodinamico deve azionare carichi di elevata intensità dovendo controllare forti inerzie. Per muovere una pinna di 1,80 metri occorrono forze dell'ordine di diverse tonnellate con coppie all'asse dell'attuatore di 8000 - 10000 Newton/metro. La caratteristica tipica del sistema oleodinamico, adatta al nostro tipo di applicazione in navigazione, consiste nel muovere carichi elevati con basse potenze. L'aspetto critico dell'oleodinamica applicata a un sistema di stabilizzazione navale, riguarda la risposta dinamica dei suoi componenti, ovvero la necessità di eseguire una regolazione in velocità e posizione delle pinne, sopportando accelerazioni e decelerazioni di carichi gravosi e con elevate inerzie, in piccoli intervalli di tempo. Quindi la caratteristica di funzionamento di un impianto oleodinamico per la stabilizzazione navale, consiste nel controllare con una dinamica rapida, forze di elevata intensità; infatti, oltre a gestire con velocità modeste le forti coppie di forze smorzanti della regolazione in modulazione durante la navigazione, l'hardware oleodinamico deve essere in grado di muovere velocemente le pinne, in fase con i ritmi sostenuti dal controllore elettronico, per la modalità di stabilizzazione all'ancora. Necessita quindi un sistema oleodinamico con una componentistica robusta, e caratterizzata da risposte dinamiche rapide. Aumentando accelerazione e decelerazione delle pinne stabilizzatrici, aumenta l'intensità delle forze e delle inerzie da gestire velocemente, rendendo ancora più critico il controllo dell'intervallo dell'angolo di posizione. Per quanto riguarda le tolleranze,



**Fig. 1 – Schema a blocchi del principio di funzionamento del sistema di stabilizzazione sviluppato da CMC Marine.**

**Fig. 2 – Particolare del blocco pinna del sistema di stabilizzazione con la coppia di cilindri oleodinamici connessi al bilanciere dell'attuatore meccanico di azionamento. Il sistema di stabilizzazione sviluppato da CMC è composto da una coppia o da due coppie di pinne, in funzione del tipo e della lunghezza dello scafo.**

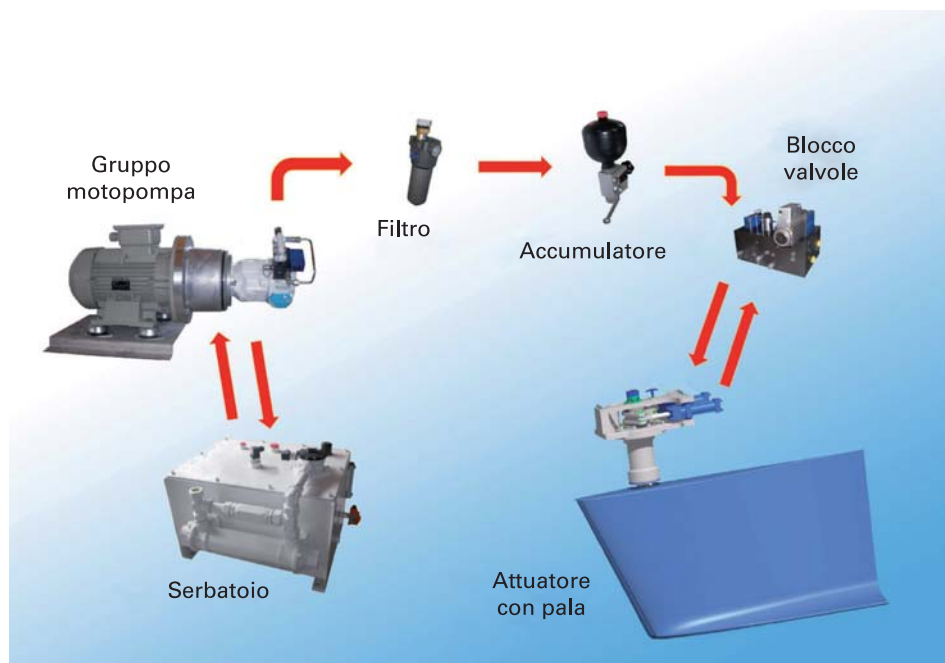


ze, nel nostro campo d'applicazione è sufficiente rispettare la posizione angolare indicata dal controllore elettronico, con uno scostamento di  $\pm 5\%$ »

**Quale è stato l'approccio di CMC per sviluppare l'impianto oleodinamico di stabilizzazione navale?**

«Ovviamente non siamo costruttori di componenti oleodinamici, ma utilizzatori. Il nostro approccio è stato quello di individuare componenti standard, che inseriti in un impianto da noi ideato, potessero soddisfare al meglio i risultati che si volevano ottenere dal nostro progetto. Quindi, per realizzare il nostro impianto oleodinamico, è stato fondamentale dapprima sviluppare una metodologia che ci permettesse di analizzare, e misurare il comportamento, le caratteristiche e le risposte dinamiche di ciascun componente, attraverso il supporto di dati tecnici forniti dai costruttori, oltre alle analisi e prove al banco di impianti prototipo realizzati nel nostro laboratorio, investendo importanti risorse in ricerca anche attraverso la collaborazione dell'università di Napoli. Abbiamo quindi studiato e misu-

rato in laboratorio le caratteristiche, il comportamento e le risposte dinamiche del singolo componente oleodinamico, dal gruppo pompante, al gruppo valvole, compreso i cilindri dell'attuatore meccanico, nelle condizioni globali di utilizzo della nostra applicazione, ovvero con regolazione modulare e impulsiva. Abbiamo catalogato una serie di dati e di misure dei singoli componenti, prima e dopo essere inseriti nell'impianto oleodinamico da noi progettato e ricreato in laboratorio, ricavando al banco le leggi di trasferimento e di risposta dinamica in funzione dei differenti segnali di regolazione inviati dal controllore. I test e le misure effettuate, ci hanno anche permesso di elaborare i



**Fig. 3 – Schema a blocchi dell'impianto oleodinamico di stabilizzazione, sviluppato da CMC Marine.**

**Fig. 4 – Gruppo elettropompa a portata variabile di Bosch Rexroth; motore elettrico 400 Vac 50 Hz. Cilindrata pompa 45cc; portata 65 litri/minuto a 1445 giri/minuto; pressione di stand-by 18-22 bar; pressione d'esercizio 120-140 bar. La temperatura di trafilamento della pompa deve essere inferiore a 80°C**

dati caratteristici e le leggi matematiche di dinamica, attraverso il nostro software di simulazione del sistema di regolazione e di stabilizzazione. Il nostro approccio per dimensionare e sviluppare un impianto oleodinamico di stabilizzazione navale, consiste quindi nel conoscere approfonditamente le problematiche, le caratteristiche e le leggi di risposta dinamica dei componenti oleodinamici standard da utilizzare, prima di essere realizzato e installato a bordo dello scafo, riducendo i margini di errore e le variabili imprevedute, che dipendono dal tipo di imbarcazione. Una particolarità della nostra applicazione consiste infatti nel fatto che ogni impianto di stabilizzazione ha caratteristiche e architetture differenti, in quanto si deve adattare ai vari tipi di scafi, diversi per dimensioni, materiali, tipologia di costruzione, e comportamento dinamico.»

**Mostrandoci il principio di funzionamento, ci illustra quali siano i componenti oleodinamici utilizzati da CMC per l'impianto oleodinamico del sistema di stabilizzazione navale?**

«Nella nostra applicazione, l'impianto oleodinamico deve trasferire energia dal gruppo pompante ai due cilindri di ciascun bilancie-

re degli attuatori meccanici, che muovono le pinne stabilizzatrici. Dovendo realizzare azionamenti con controllo d'asse in posizione e velocità, i componenti dell'impianto devono trasmettere il fluido in modo veloce e preciso, la cui dinamica è pilotata dai segnali elettrici di regolazione inviati dal controllore elettronico. Per ogni pinna stabilizzatrice, l'impianto oleodinamico è composto da una elettropompa dell'olio a portata variabile, un smorzatore di pressione, filtro sulla linea di mandata, gruppo valvole con valvola proporzionale, un accumulatore precariato, e due cilindri al bilanciere dell'attuatore della pinna. Utilizziamo componentistica standard prodotta da Bosch Rexroth. Il gruppo pompante è in genere centralizzato per scafi di lunghezza fino a 50 metri, ma l'aspetto applicativo e dell'architettura dell'impianto dipende esclusivamente dal tipo di imbarcazione su cui si sta operando e dal numero di pinne stabilizzatrici (due o quattro). L'impianto tubiero installato a bordo può utilizzare tubature rigide completamente in acciaio, e flessibili in gomma con anima costituita da una spirale in acciaio. Dove l'architettura interna dello scafo lo consente, viene installato un impianto tubiero con luci di passaggio di massima grandezza in modo da aumentare la portata del flusso d'olio, diminuendo le resistenze e le dissipazioni in calore. In base al tipo di scafo e alle caratteristiche dell'impianto, utilizziamo tubi con un diametro che varia da un minimo di 25 a un massimo di 42 millimetri. Gli attacchi variano di conseguenza da 1 pollice gas a 2 pollici gas.

**Gruppo elettropompa a portata variabile:** (figg. 4 - 5) si tratta di una pompa a pistoncini assiali a portata variabile. Attraverso una campana di accoppiamento con giunto elastico, la pompa è azionata da un motore elettrico alimentato a 400 Volt in corrente alternata a 50 Hz. Il motore elettrico è comandato e regolato da un quadro di potenza attraverso un inverter, il quale consente di effettuare la messa in marcia del motore senza sovraccaricare i genset di bordo, oltre ad assicurarne la regolazione dei giri e della coppia erogata. Abbiamo inoltre verificato che l'inverter permette di regolare il motore in modo fluido, generando meno fluttuazioni e fenomeni di pendolamento che si ri-



percuotano negativamente lungo la catena oleodinamica, generando disturbi e rumori. La scelta di una pompa a portata variabile è stata fatta per ottimizzare i rendimenti contenendo l'energia assorbita, potendo regolare la portata erogata (volume d'olio al secondo) in uscita, in funzione della effettiva richiesta istantanea dell'impianto. Inoltre la pompa a pistoni è più silenziosa rispetto alla tecnologia a ingranaggi o a palette. Il gruppo pompante è montato su resilienti elastici fissati sul basamento previsto in sala macchine o in una apposita camera d'alloggiamento isolata, dell'imbarcazione. Come si può constatare, nello sviluppo dell'impianto oleodinamico, è stata posta particolare attenzione allo studio della riduzione dei disturbi e dei rumori, un aspetto fondamentale richiesto dai cantieri per soddisfare e rispettare gli standard di qualità del comfort di bordo che un maxi yacht deve garantire al proprio armatore e ai suoi ospiti. La pompa a pistoni di Bosch Rexroth utilizzata nell'impianto, ha una cilindrata di 45cc, e una portata di 65 litri/minuto al regime di 1445 giri/minuto; il regime massimo di rotazione è di 1450 giri/minuto. La pompa è dotata di un sistema di messa a scarico che consiste in un distributore (elettrovalvola) montato sul blocco di regolazione della pompa. Tramite il distributore è possibile inviare un segnale di pilotaggio alla pompa affinché (nella messa in moto del motore elettrico) la stessa sia in ci-

lindrata nulla a una pressione di stand-by di 18- 22 bar. Oltre al distributore ON/OFF, il regolatore di portata DFR della pompa permette la taratura della pressione di stand-by (portata nulla) e la regolazione della massima pressione di esercizio. La pressione media di esercizio è approssimativamente di 120 – 140 bar. **Stabilizzatore-smorzatore di pressione:** a valle del gruppo pompante, viene inserito nella linea di mandata uno stabilizzatore-smorzatore di pressione, con la funzione di livellare e ridurre i picchi di pressione e la fluttuazione dell'olio, generati dalla pompa. Il livellamento di oscillazione della pressione riduce sensibilmente i disturbi e i rumori lungo la catena dell'impianto. I test di misurazione dei rumori eseguiti sull'impianto pilota in laboratorio, hanno rilevato una riduzione del rumore da 68 decibel a 40 decibel, inserendo nella linea di mandata lo stabilizzatore-smorzatore di pressione. **Controllo servo-proporzionale:** per ogni pinna stabilizzatrice, l'impianto oleodinamico dispone di un controllo servo proporzionale costituito da un blocco valvole con la valvola proporzionale ad alta risposta dinamica; nella linea di mandata a monte del blocco valvole, è inserito un filtro in pressione e un accumulatore precaricato a membrana.

Fig. 5 – Schema con dimensioni della pompa a portata variabile.

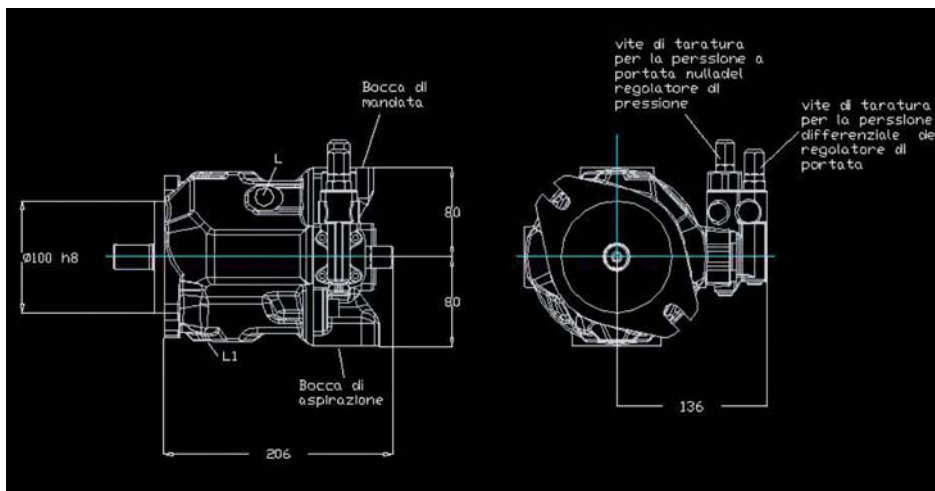


Fig. 6 – Filtro in pressione. E' composto da un corpo metallico contenente l'elemento filtrante in materiale sintetico con grado di filtraggio di 10 micron assoluti.



Fig. 7 – Accumulatore precaricato a membrana Bosch Rexroth, con blocco valvola di sicurezza; capacità di circa 1,5 litri con precarica in azoto a una pressione di 90 bar. Pressione massima del blocco di sicurezza 250 bar. Peso circa 10 Kg.

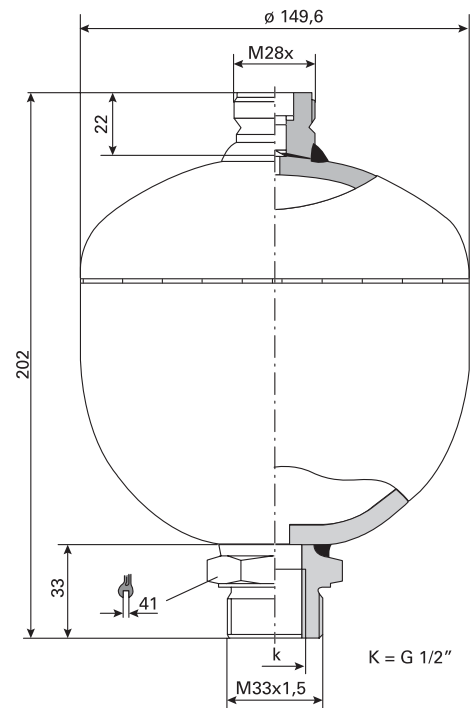
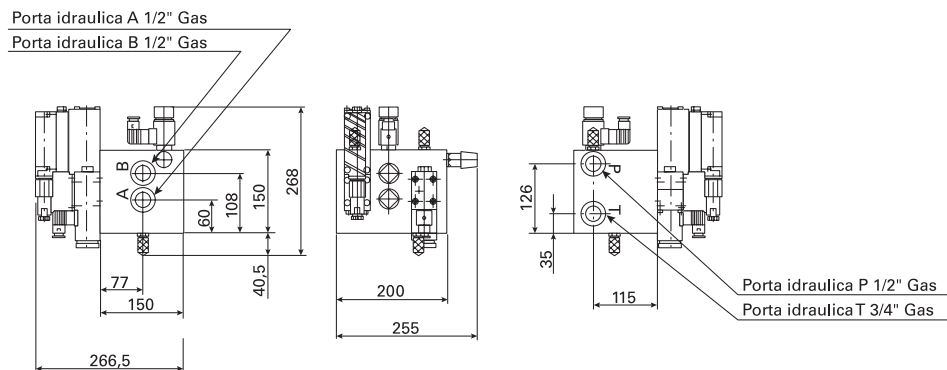


Fig. 8 – Particolare quotato dell'accumulatore precaricato a membrana; le misure sono in mm.



**Fig. 9b – Particolare quotato del Gruppo valvole; le misure sono in mm.**

**Fig. 9a – Blocco valvole progettato da CMC Marine e realizzato da Bosch Rexroth, con integrata la valvola proporzionale direzionale a 4 posizioni.**

**Il filtro in pressione:** (fig. 6) è costituito da un corpo metallico contenente l'elemento filtrante in materiale sintetico che assicura un grado di filtraggio di 10 micron assoluti. Per indicare lo stato di pulizia della cartuccia filtro, il corpo filtrante è dotato di un indicatore elettrico di intasamento. Inserito sulla linea di mandata a monte del gruppo valvole, protegge dalle impurità contenute nell'olio, le valvole e i raffinati organi meccanici della valvola proporzionale, oltre alle tenute dei cilindri dell'attuatore a valle.

**Accumulatore precaricato a membrana:** (figg. 7 e 8) inserito a monte del blocco valvole, assicura una riserva di portata d'olio localizzata e istantanea, indispensabile per garantire, durante il funzionamento all'ancora in modalità di regolazione impulsiva, una adeguata velocità di azionamento della pinna stabilizzatrice. Quando la pressione cala per un picco di richiesta di portata, l'accumulatore si scarica automaticamente, immettendo istantaneamente nell'impianto il volume d'olio in un intervallo di tempo sufficiente per rispettare la risposta dinamica richiesta dall'impianto, durante una regolazione di tipo impulsivo delle pinne. I test effettuati in laboratorio e in collaborazione con l'Università di Napoli, hanno accertato che l'utilizzo dell'accumulatore

aumenta più del 10% la dinamica dell'impianto, innalzando la velocità angolare delle pinne fino a raggiungere i 55 gradi al secondo, migliorando in modo significativo le prestazioni richieste per stabilizzare uno scafo all'ancora, con una regolazione impulsiva. L'accumulatore è precaricato con azoto a una pressione di 90 bar e ha una capacità di circa 1,5 litri.

**Blocco valvole:** (figg. 9a e 9b) il blocco valvole è il cuore del controllo servo proporzionale che regola e controlla intensità e portata del flusso d'olio inviato ai cilindri dell'attuatore della pinna, con una dinamica che dipende dai segnali elettrici di riferimento inviati dal controllore elettronico. Si tratta quindi di un insieme di valvole, ognuna delle quali assolve funzioni specifiche dell'impianto.

Il blocco valvole è realizzato da Bosch Rexroth su progetto di CMC Marine. Utilizza componentistica standard, ed è costruito con un blocco in acciaio fosfatato, per garantire una buona resistenza agli agenti ambientali.

I principali componenti del blocco valvole sono:

- Valvola di massima che manda a scarico le bocche delle linee d'utilizzo A e B (connesse ai cilindri) in caso di sovrappressioni dovuti a urti. Questa valvola quindi protegge sia i cilindri oleodinamici che il blocco stesso.
- Elettrovalvola per il comando dei ritegni pilotati. I ritegni a impianto spento assicurano il bloccaggio della pinna in posizione.

– Elettrovalvola di by\_pass; la funzione della valvola è di sicurezza. Infatti quando eccitata elettricamente la valvola mette in comunicazione i due rami dei cilindri: in tal modo la pinna è libera di mettersi in flusso e non oppone una resistenza aggiuntiva al moto dell'imbarcazione. Ovviamente a impianto spento le valvole ritegni pilotati assicurano il corretto isolamento dei cilindri.

– Valvola proporzionale direzionale a 4 posizioni a elevata dinamica. In condizione d'impianto spento la posizione della valvola mette a scarico le bocche d'utilizzo A e B; in tal modo non vi è pericolo di una contropressione residua che non consentirebbe la tenuta in posizione della pinna. La valvola proporzionale è fornita con elettronica integrata prearata.

– Prese di pressione sui rami P, e sulle linee d'utilizzo A e B. Le prese di pressione consentono di monitorare l'andamento delle pressioni sia di linea che ai cilindri oleodinamici. E' importante rendere possibile l'accesso al blocco affinché, sia in fase di avviamento che soprattutto in fase di verifica della funzionalità del sistema, sia consentito un rapido e agile accesso per effettuare le dovute misure.

Il gruppo valvole sviluppato da CMC è caratterizzato da luci maggiorate per il passaggio dell'olio, che permettono una riduzione delle perdite di carico e di conseguenza una diminuzione delle dissipazioni in calore. In questo modo è possibile mantenere la temperatura a livelli più bassi, a favore del buon funzionamento dell'impianto.»

© RIPRODUZIONE RISERVATA