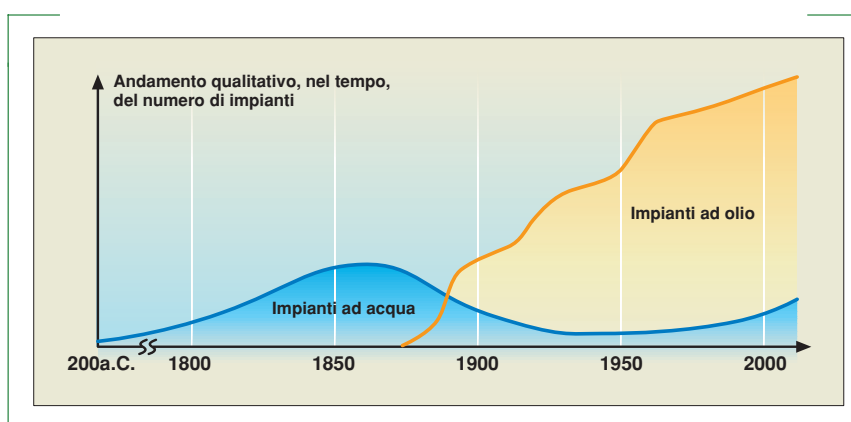


L'acqua è protagonista



1. Sviluppo degli impianti oleodinamici e di idraulica ad acqua.

L'idraulica ad acqua vanta lontane e nobili origini: non mancano testimonianze presso le civiltà classiche, come fluido per trasferire potenza, la usarono gli antichi Egizi, Archimede, i Greci ed i Romani [1]. Ctesibio inventò, due secoli prima della nascita di Cristo, una macchina ad acqua e nel tredicesimo secolo Al-Jazari di Al-Razzaz di Ibn, inventore ed intellettuale, ha scritto un libro su ingegnosi meccanismi, in cui descrive automazioni meccaniche mosse ad acqua. L'acqua, come fluido per il trasferimento di potenza, compare, in epoca industriale, nel 1795, nella pressa ad acqua, inventata e brevettata da Joseph Bramah, inventore nato nello Yorkshire (1748-1814), considerato pioniere dell'industria meccanica di precisione (figura 1). L'acqua gioca un ruolo da sempre importante nella trasmissione di potenza. Dopo un primo

periodo di successo essa è stata praticamente soppiantata dall'olio; solo dall'inizio del ventunesimo secolo è tornata protagonista, grazie a fattori economici e ambientali ed alla maturazione di una tecnologia vincente per la trasmissione di potenza ed il controllo [2, 3]. Attualmente il mercato dell'idraulica ad acqua equivale ad una quota tra il cinque ed il dieci per cento della quota di mercato coperta da realizzazioni che utilizzano olio, ma questa percentuale è tendenzialmente in rapida crescita [4].

Acqua ed olio a confronto

I fattori che hanno determinato la diffusione degli impianti oleodinamici, a scapito di quelli ad acqua, dall'inizio del XIX fino a tutto il XX secolo, sono rappresenta-

L'acqua gioca un ruolo da sempre importante nella trasmissione di potenza.

Dopo un primo

periodo di successo

essa è stata

praticamente soppiantata

dall'olio.

Solo dall'inizio

del ventunesimo secolo

è tornata alla ribalta,

grazie a fattori economici,

ambientali

e alla maturazione

di una tecnologia vincente

ti dalle diverse caratteristiche fisiche dei fluidi acqua ed olio [5]. I principali aspetti coinvolti sono la corrosione, dovuta a gas disciolti in acqua; il congelamento dell'acqua ad una temperatura prossima a quella di esercizio degli impianti; la bassa viscosità dell'acqua rispetto a quella dell'olio e la conseguente bassa capacità di lubrificazione dell'acqua; la presenza di microrganismi nell'acqua che, sviluppandosi, accrescono fenomeni di attrito e dissipazione; l'alto modulo di comprimibilità volumica dell'acqua, rispetto a quello dell'olio, ed il conseguente pericolo di colpi d'ariete; la cavitazione, per la presenza di gas disciolti in acqua e per l'alta tensione di vapore dell'acqua rispetto all'olio.

Le considerazioni seguenti su particolari ca-

rapporto si riduce a meno di due.

Altra grande differenza tra impianti ad olio e ad acqua è l'aspetto legato alla cavitazione che è in agguato in impianti ad acqua per la bassa temperatura di ebollizione dell'acqua rispetto all'olio e rappresenta uno dei più gravi problemi dell'idraulica ad acqua. Questo fenomeno è causato principalmente dal livello della tensione di vapore dell'acqua legata alla temperatura del fluido. Esso provoca rumore, vibrazioni, perdita di efficienza e rapida erosione quando le bolle si formano e implodono violentemente presso le pareti di componenti e condotti [6]. Risulta, quindi, fondamentale mantenere la temperatura al di sotto di opportuni livelli. A favore del controllo della temperatura gioca il fatto che il calore specifi-

catto è confrontabile con quello che si misura nel caso di strisciamento di parti in acciaio in presenza di olio minerale. Il Peek è oggi spesso usato nell'idraulica ad acqua per parti striscianti [8]. La viscosità dell'acqua è 30-40 volte più bassa di quella dell'olio idraulico con la conseguenza di avere flusso turbolento praticamente sempre presente. Ad esempio in condotti di diametro 15 mm con olio si ha transizione da regime laminare a turbolento per velocità intorno ai 5 m/s, con l'acqua si ha già flusso turbolento ad una velocità del fluido molto più bassa, intorno a 0,15 m/s. La presenza di flusso turbolento ha importanti implicazioni per le cadute di pressione lungo il carico nei condotti; inoltre la bassa viscosità favorisce i trafiletti di fluido. Al fine di ridurre i trafiletti è necessario, per i componenti di impianti di idraulica ad acqua, prestare particolare attenzione a finiture e tolleranze, riducendo drasticamente i giochi. Non mancano approfonditi studi su applicazioni a bassa pressione per ridurre i trafiletti [11, 12].

Altra importante differenza tra acqua ed olio come fluido per trasferimento di potenza, è legata al fatto che l'acqua solidifica ad una temperatura spesso compresa nell'intervallo delle temperature di esercizio di impianti idraulici, a differenza degli oli che sono in grado di sopportare temperature molto più basse. Questo impone additivi all'acqua, come glicoli non tossici o l'uso di acqua in impianti che lavorano solo a temperature sensibilmente al di sopra della temperatura di solidificazione dell'acqua, solitamente tra i 3 °C e i 50 °C.

In ogni caso, su tutte le considerazioni che si possono fare nel confronto tra acqua e olio, caratteristica vincente dell'idraulica ad acqua è la sua sostenibilità ambientale rispetto all'olio idraulico. A questo proposito, riferendosi al documento redatto dall'esercito statunitense [9] in cui si tratta della sostenibilità ambientale di fluidi idraulici industriali, l'acqua è indicata come una proposta vincente per applicazioni nell'industria alimentare, in applicazioni medicali, in ambiente eco sensibile o in pericolo di esplosione od incendio. Inoltre in [9] si sottolinea la capacità di smaltimento termico



2. Veicolo elettrico ibrido con impianti idraulici ad acqua.

ratteristiche fisiche di acqua ed olio possono chiarire gli aspetti salienti per un confronto tra acqua ed olio come fluidi per il trasferimento di potenza. Fondamentale differenza tra olio e acqua è il valore del modulo di comprimibilità volumica, che per l'acqua è molto più alto che per l'olio, con la conseguenza di potere ottenere bassi tempi di risposta ma con il pericolo di colpi d'ariete e cavitazione, in presenza di forti gradienti di pressione. Questo modulo è fortemente influenzato dal livello di pressione, e meno fortemente, da quello della temperatura. A pressioni basse la differenza è molto più accentuata: per pressioni al disotto di 10 bar il valore del modulo di comprimibilità volumica dell'acqua è anche più del quadruplo di quello dell'olio, mentre a pressione più elevata, oltre i 50 bar, il

rapporto si riduce a meno di due. Altra grande differenza tra impianti ad olio e ad acqua è l'aspetto legato alla cavitazione che è in agguato in impianti ad acqua per la bassa temperatura di ebollizione dell'acqua rispetto all'olio e rappresenta uno dei più gravi problemi dell'idraulica ad acqua. Questo fenomeno è causato principalmente dal livello della tensione di vapore dell'acqua legata alla temperatura del fluido. Esso provoca rumore, vibrazioni, perdita di efficienza e rapida erosione quando le bolle si formano e implodono violentemente presso le pareti di componenti e condotti [6]. Risulta, quindi, fondamentale mantenere la temperatura al di sotto di opportuni livelli. A favore del controllo della temperatura gioca il fatto che il calore specifi-

dell'acqua, ben più alta di quella dell'olio, la sua bassa viscosità e quelle caratteristiche fisico-chimiche sulle quali si gioca il confronto con gli oli idraulici.

Per sfruttare appieno i vantaggi dell'idraulica ad acqua il progetto di componenti ed impianti deve essere mirato alle caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua in pressione. Questo significa alta resistenza dei

veicolo della Geesink Norba Group, rappresentato in figura 2, è un veicolo operatore ecologico mosso da un motore a gas naturale in combinazione a trazione elettrica [20]. Gli impianti di bordo per il sollevamento, lo svuotamento dei contenitori e la compattazione dei rifiuti sono impianti idraulici ad acqua che operano a 160 bar; l'acqua è addizionata di glicole non tossico

nemente filtrato. Tra questi dispositivi si ricordano quelli mossi da attuatori deformabili a fluido come il dispositivo rappresentato in figura 3. Questo dispositivo è stato ideato e realizzato per l'ispezione di condotti per la distribuzione di servizi in edifici e realtà metropolitane. In particolare è utile per l'ispezione di condotti di acqua potabile; si intuisce come sia fondamentale che il fluido in pressione, che movimentata il dispositivo, debba essere assolutamente non tossico ed eco-compatibile: il fluido utilizzato può essere l'acqua potabile stessa presente nel condotto. Il dispositivo rappresentato in figura 3 è in grado di muoversi all'interno di un condotto, anche pieno di acqua, utilizzando l'acqua stessa come fluido per la pressurizzazione del corpo che, periodicamente, si estende sotto l'effetto dell'acqua in pressione realizzando l'avanzamento. Questo tipo di attuazione, con elementi deformabili, si presta all'uso dell'idraulica ad acqua,

poiché questo tipo di attuazione non ha parti in strisciamento relativo; questo elimina alla radice i problemi dovuti alle scarse prestazioni dell'acqua come lubrificante e sono evitati completamente i trafiletti, poiché il moto è realizzato per deformazione di una camera pressurizzata isolata

dotata di tenute statiche [21-24]. Altra applicazione in cui l'idraulica ad acqua trova la sua naturale collocazione, è rappresentata da attuatori per la movimentazione di robot mobili in ambiente acquatico. In figura 4 si vede un robot natante che può utilizzare l'acqua dell'ambiente in cui opera come fluido per pressurizzare gli attuatori rappresentati dai bracci palmati per la propulsione. Questi bracci sono attuatori deformabili a fluido che si flettono realizzando il movimento remigante delle pinne laterali.

Il dispositivo descritto è stato progettato



3. Robot per l'ispezione dei condotti.

materiali alla corrosione ed agli effetti della cavitazione, come anche saranno necessari progetti dedicati all'attenzione alle basse caratteristiche dell'acqua come lubrificante [10]. A testimonianza della dinamicità del settore e della velocità di evoluzione delle risposte ai requisiti richiesti, attualmente esistono impianti ad acqua con alta efficienza e durata confrontabile con quelle di impianti oleodinamici, in campi di applicazione sempre più vasti, fino a ieri impensabili per l'idraulica ad acqua [3].

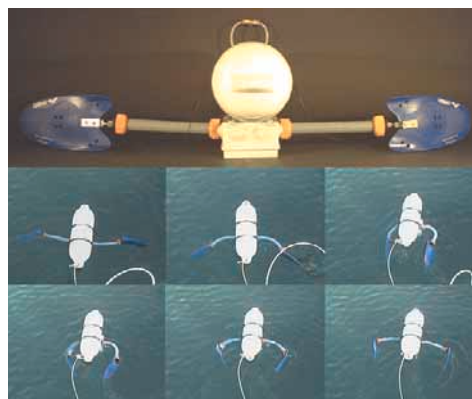
Applicazioni

In epoca recente, tra le applicazioni industriali più significative, si può citare quella del programma "Nessie" della Danfoss, che portò, nel 1994, al lancio della linea di prodotti per l'idraulica ad acqua. Nel giro di pochi anni, le grandi aziende che offrono prodotti per l'idraulica ad acqua si sono moltiplicate; tra esse si possono citare, oltre a Danfoss, anche Fenner, Walter voss, Hauhinco, Hytar Ov Water Hydraulics, Ebara [13-18].

L'idraulica ad acqua trova applicazioni interessanti non solo in impianti industriali ma anche in impianti di bordo di veicoli ed in robotica non convenzionale. Ad esempio il

per evitare il congelamento alle temperature di esercizio. Il veicolo risulta pienamente eco compatibile e, quasi completamente, silenzioso.

Tra le applicazioni in meccanica e robotica non convenzionale si possono citare attuatori e sistemi utilizzati per realizzare robot mobili per esplorazione in ambienti eco sensibili. Questi dispositivi, che possono essere mossi da acqua in pressione, possono attingere il fluido motore dall'ambiente circostante, essendo in grado di sopportare l'utilizzo di fluido non pretrattato e non fi-



4. Robot mobile, a basso impatto ambientale per ispezione in ambiente marino.

per la perlustrazione di aree marine protette ad elevata eco sensibilità [25].

Cosa dire

L'idraulica ad acqua è sempre più una valida e competitiva alternativa all'oleodinamica certamente per motivi di eco compatibilità, ma anche per validi motivi tecnici e commerciali.

L'attenzione dei progettisti e dell'industria, al fine di proporre soluzioni competitive ed efficienti di idraulica ad acqua, si sta concentrando, in primo luogo, sullo studio dei materiali da impiegare nei componenti e sulle opportunità offerte dalle caratteristiche fisiche dell'acqua per l'efficienza degli impianti di potenza e delle strategie di controllo.

Ringraziamenti

Si desidera ringraziare la società Geesink per la concessione delle immagini ed il Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca per il supporto dato ad alcuni dei progetti citati in questo articolo.

Bibliografia

- [1] E. Varandili, Properties of tap water as a hydraulic pressure medium, The Sixth Scandinavian Int. Conf on Fluid Power, SICFP'99, Tampere, Finland, May 26-28 1999: 113-127.
- [2] F. Conrad, B. Hilbrect, H. Jepsen, Design of Low-Pressure Tap Water Hydraulic Systems for Various Industrial Applications, SAE Technical Paper Series 2000-01-2614, International Off-highway & Power-plant Congress and Exposition, Milwaukee, Wisconsin, 11-13 Sept. 2000.
- [3] Gray W. Krutz and Patrick S.K. Chua, Water Hydraulics – Theory and Applications 2004, Workshop on Water Hydraulics Agricultural Equipment Technology Conference AETC'04, Louisville, Kentucky.
- [4] Backé W: Water or Oil-hydraulics in the Future, The Sixth Scandinavian Int. Conf on Fluid Power, SICFP'99, Tampere, Finland, May 26-28 1999: 51-64
- [4] Inoue K, Teraoka T, Urata E: Development of a Novel Water Hydraulic Pump, 1999
- [5] K-E Rydberg, "Energy Efficient Water Hydraulic Systems", The Fifth Int. Conference on Fluid Power Transmission and Control, ICFP'2001, Hangzhou, China, April 3-5, 2001, LiTH-IKP-CR0355.
- [6] Berger J: Kavitationserosion und Massnahmen zu ihrer Vermeidung in Hydraulikanlagen für HFA-flüssigkeiten, Doctoral Dissertation, University of Aachen (RWTH), 1983.
- [7] Urata E: Technological Aspects on the New Water Hydraulics. The Sixth Scandinavian Int. Conference on Fluid Power, Tampere, Finland, May 26-28, 1999: 21-34.
- [8] Inoue K, Teraoka T, Urata E: Development of a Novel Water Hydraulic Pump, 1999.
- [9] CECW-ET Engineer Manual 1110-2-1424, Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC 20314-1000.
- [10] Trostman E: Water Hydraulics Control Technology. Marcel Dekker Inc, New York 1996, ISBN: 0-8247-9680-2
- [11] P. Kunttu, K. T. Koskinen and M. Vilenius. Low pressure water hydraulics state of the art, The Sixth Scandinavian International Conference on Fluid Power, Tampere, Finland, 1999, 67-75.
- [12] J. Aaltonen, K. T. Koskinen, M. Vilenius and P. Kunttu. Experiences on the low pressure water hydraulic systems, The Fourth JHPS International Symposium on Fluid Power, Tokyo, Japan, 1999, 357-363.
- [13] <http://www.danfoss.com/>
- [14] <http://www.sfpa.bc.ca/fenner.htm>
- [15] <http://www.adcomtec.co.uk/products/hydraulic-products/walter-voss-water-hydraulics/>
- [16] <http://www.hauhinco.com/waterhyd/water.htm>
- [17] <http://www.avs-yhtiot.fi/hytar/>
- [18] <http://www.ebara.co.jp/en/>
- [19] <http://nessie.danfoss.com>
- [20] GEESINK B.V.
<http://www.geesinknorbagroup.com>
http://www.norba.com/produkter/specialfordon/norba_elhybrid_med_vattenhydraulik
- [21] A. Manuello Bertetto, M. Ruggiu, "In-Pipe inch-Worm pneumatic flexible Robot" 2001 IEEE – ASME Int. Conf. On Advanced Intelligent Mechatronics Proceedings 8-12 July 2001 Como, Italy, pp. 1226-1231, ed. B. Siciliano, publ. IEEE.
- [22] Manuello Bertetto, M. Ruggiu, "Pneumatic Robot for Pipe Inspection", International Journal of Mechanics and Control, Vol. 2 No. 2, 2002, (ed.) Ario Romiti, (publ.) Pozzo Gros Monti.
- [23] A. Manuello Bertetto, M. Ruggiu, "In Pipe Pneumatic Robot with Locking Devices to Navigate", RAAD'05, 14th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region. 26-28 May 2005.
- [24] A. Manuello Bertetto, M. Ruggiu, "Low Cost Pipe-Crawling Pneumatic Robot", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 14 No. 4, 2002.
- [25] A. Manuello Bertetto, M. Ruggiu, "Pneumatic aquatic robot", Proceedings of the RAAD'04, 13th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, Brno, Czech Republic, June 1-6, 2004.