

A2 – Cenni di idraulica

A2.1. Generalità

Con il termine “idraulica” ci si riferisce sostanzialmente alla trasmissione di forze ed al comando di movimenti mediante liquidi. Lo sfruttamento della potenza idraulica avviene al giorno d'oggi in ogni settore industriale, dagli aeroplani alle navi, ai missili, alle macchine industriali, etc. In tutti questi diversificati settori, la trasmissione dell'energia idraulica avviene mediante olii, da cui il termine “oleodinamica”.

La principale ragione della diffusione dell'oleodinamica risiede nella grande versatilità posseduta dal fluido per trasmettere potenze anche grandi e movimenti di elevata precisione. Infatti un fluido è ottimamente deformabile, e contemporaneamente incomprimibile in pratica, potendo facilmente cambiare forma, essere distribuito in molte parti e trasmettere la pressione in tutte le direzioni. Nessun altro mezzo riunisce in sé lo stesso grado di sicurezza, precisione e flessibilità di controllo, con la capacità di trasmettere elevate potenze impiegando piccoli volumi e pesi.

A2.2. La pressione

La pressione costituisce una delle grandezze fondamentali dell'idraulica, e viene definita come la forza che agisce sull'unità di

superficie, per la quale vengono usate una moltitudine di unità di misura. Nel Sistema internazionale (SI) l'unità di misura della pressione è il pascal (Pa), dato dal rapporto della forza misurata in newton (N) e la superficie misurata in metri quadrati (m^2); nel mondo della tecnologia idraulica è diffuso il chilogrammo al centimetro quadrato (kg/cm^2). Quindi, riassumendo

$$p = F/S \quad (N/m^2 ; kg/cm^2)$$

Tenendo presente che tutti i liquidi hanno un peso proprio non trascurabile, un recipiente è soggetto a pressioni dovute al peso del liquido contenuto. Infatti (fig. A2.1), si consideri un recipiente cilindrico, di sezione di base S, pieno di un liquido fino all'altezza h. Sapendo che il peso Q del liquido è dato dal prodotto del suo peso specifico γ per il volume occupato dallo stesso, si trova per la pressione l'espressione

$$p = Q/S = S h \gamma / S = h \gamma$$

Dall'espressione precedente rappresenta la legge di Stevino: la pressione esercitata da un liquido sul fondo del recipiente dipende esclusivamente dall'altezza del pelo libero e dal peso specifico del liquido. La pressione prodotta dal solo peso del liquido viene indicata "pressione idrostatica". Naturalmente, nel caso si voglia determinare la pressione idrostatica in un qualsivoglia punto interno del liquido, occorre usare nella formula precedente la distanza di questo dal pelo libero del liquido.

La legge di Stevino, determinata in precedenza nel caso di recipiente a sezione cilindrica, è in realtà valida per qualsiasi forma del

recipiente. Infatti, il valore della pressione idrostatica sul fondo dei recipienti in fig. A2.2 è la stessa nonostante la diversità di forma e di volume, in quanto è lo stesso il peso specifico ed è la stessa l'altezza del livello del liquido contenuto.

La legge fondamentale sulla quale si basa l'oleodinamica è la legge di Pascal, uno dei tanti enunciati della quale è il seguente: la pressione esercitata su una porzione di superficie del fluido, si manifesta con la stessa intensità in ogni altro punto della superficie a contatto con il fluido, in direzione ad essa perpendicolare (fig. A2.3). Il principio di Pascal ha trovato la sua più importante applicazione nel torchio idraulico. Questo è composto essenzialmente da due cilindri di sezione differente, comunicanti tra loro, entro i quali scorrono senza attrito ed a perfetta tenuta due cilindri; è questa una macchina capace di spostare grossi carichi con uno sforzo limitato. Si consideri la fig A2.4; applicando una forza F sullo stantuffo più piccolo A , si produce all'interno del liquido una pressione

$$p = F/S$$

la quale si trasmette su tutte le superfici a contatto del fluido con la stessa intensità ed in direzione perpendicolare alle superfici stesse. Tale pressione agisce anche sullo stantuffo più grande B . pertanto la forza F' agente sulla superficie S' è data dall'espressione

$$F' = p \times S' = F/S \times S'$$

la quale può essere posta nella forma

$$F' = F \times S'/S$$

Dalla precedente si vede che la forza esercitata su uno stantuffo dipende dalla forza agente sull'altro e dal rapporto delle superfici. Nel caso di figura, siccome $S' > S$, risulta che $F' > F$. naturalmente, la velocità e lo spostamento di S' saranno minore di quelle di S , per cui il lavoro compiuto resta lo stesso.

A2.3. Sistema idraulico elementare

In un impianto idraulico in genere, la funzione del pistone più piccolo, cioè del dispositivo che esercita la pressione sul liquido, viene svolta dalla pompa, mentre la funzione del pistone più grande, cioè del dispositivo che deve trasformare la la pressione in lavoro meccanico, viene svolta dall'attuatore (o martinetto) dimensionato proporzionalmente alle caratteristiche dell'utenza. Così (fig. A2.5) esercitando una forza sul pistone della pompa, si ottiene nel fluido una certa pressione; tanto maggiore è la forza agente, tanto maggiore risulta la pressione. Questa aumenta fino a quando nel cilindro grande si sviluppa una forza capace di muovere il carico. Il carico può essere spostato solo se si genera una pressione adeguata. La velocità di spostamento del carico dipende dalla quantità di liquido convogliata all'attuatore nell'unità di tempo.

Nelle applicazioni pratiche, il sistema considerato deve essere ampliato inserendo elementi capaci di controllare la direzione e la velocità di movimento dell'attuatore, nonché la sollecitazione massima

dell'impianto stesso. La pompa in genere è di tipo continuo. Da quanto detto si deve precisare che una pompa idraulica non genera pressione, ma piuttosto eroga del flusso di liquido idraulico. La pressione si genera solo quando una tubazione, un motore idraulico, una valvola o una restrizione offrono resistenza al flusso del fluido.

A2.4. Cenni di dinamica dei fluidi

Considerando un fluido in movimento in un condotto, se si osserva il comportamento delle particelle che lo compongono, è possibile verificare che ciascuna particella percorre una traiettoria che viene definita linea di flusso o di corrente (fig. A2.6); la velocità delle singole particelle è tangente a tale linea. L'insieme di particelle fluide che si muovono su una stessa linea di flusso prende il nome di filetto fluido. Se la configurazione della linea di flusso rimane sempre la stessa nel tempo, si ha un moto permanente o stazionario. Viceversa, se in istanti successivi la configurazione delle linee di flusso cambia, si ha un moto vario.

La portata di un condotto è la quantità di fluido che attraversa una sezione nell'unità di tempo. In genere si può definire la portata in massa, intesa come la massa di fluido che attraversa la sezione nell'unità di tempo (kg/s), e la portata in volume o volumetrica, intesa come il volume che attraversa la sezione nell'unità di tempo (m^3/s). Siccome il fluido idraulico può essere considerato incompressibile, le due grandezze sono analoghe in sostanza, e differiscono solo per l'unità di misura. Per i fluidi idraulici si usa comunemente la portata volumetrica.

Considerando la fig. A2.7, si esprime la portata volumetrica Q per un fluido incompressibile che scorre in un tubo di sezione S con velocità costante V

$$Q = \text{Vol}/t = S \times l/t = S \times V \times t / t = S \times V \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

La portata volumetrica in un condotto dipende quindi dal prodotto della sezione del condotto per la velocità del fluido che la attraversa.

Si consideri un condotto a sezione variabile (fig A2.8). Se non si verificano aggiunte o sottrazioni di fluido ed il sistema è permanente, nelle diverse sezioni del condotto la portata rimane costante, quindi è la stessa anche se viene calcolata in due sezioni diverse

$$Q = S_1 \times V_1 = S_2 \times V_2$$

La precedente espressione è nota come equazione di continuità, e esprime il fatto che le velocità variano in modo inversamente proporzionale alle sezioni di passaggio: dove diminuisce la sezione, aumenta la velocità.

Perdite per attrito

una vena fluida possiede dell'energia in virtù del suo stato fisico e della sua velocità; sostanzialmente, si possono considerare l'energia potenziale e l'energia cinetica. L'energia potenziale, a sua volta, dipende dalla posizione del fluido e dalla sua pressione. Il principio di Bernoulli

afferma che, in un sistema conservativo, in cui non avvengano apporti o cessioni di energia all'esterno, parte dell'energia può convertirsi da una all'altra forma, ma la somma totale dell'energia deve rimanere costante. È evidente quindi, nel caso precedente di un tubo a sezione variabile, che un aumento di velocità comporta un aumento di energia cinetica, a cui deve corrispondere una uguale diminuzione di energia potenziale, cioè una diminuzione di pressione, in modo che la somma delle energie rimanga costante.

In realtà quando un fluido scorre in un condotto, è sempre presente dell'attrito tra fluido e fluido e tra fluido e pareti del condotto, ed a tale attrito fa seguito una generazione di calore. Una parte dell'energia posseduta dal fluido viene perciò dissipata in calore, con conseguente diminuzione della pressione. Il calore generato per attrito viene irradiato nell'ambiente circostante dalla tubazione e dai singoli componenti. Una parte dell'energia termica prodotta surriscalda il fluido e tutte le parti dell'impianto, fino al punto di raggiungere una condizione di equilibrio tra il calore generato per attrito ed il calore dissipato nell'ambiente; in tali condizioni il fluido si stabilizza in una condizione detta di regime. Nelle applicazioni pratiche, quindi, non è possibile trasmettere energia senza perdite. Se la temperatura di regime risulta inferiore alle massime temperature consentite per il normale esercizio di ogni parte del sistema, si può fare a meno di un dispositivo di raffreddamento esterno.

L'entità delle perdite per attrito dipende principalmente dalla lunghezza delle tubazioni, dalla rugosità delle pareti interne delle tubazioni, dal numero e dal raggio di curvatura delle curve, dalla sezione dei tubi e dalle sue variazioni, dalla velocità del flusso e dalla viscosità del fluido.

Sebbene l'attrito non possa essere del tutto eliminato, neanche in via di principio, esso può essere tenuto sotto controllo ed in gran parte ridotto, controllando il regime di flusso. Quest'ultimo, e di conseguenza la caduta di pressione da questo causata, dipende principalmente dalla sezione della tubatura e dalla velocità del flusso. Nel regime definito laminare (fig. A2.9) le singole particelle del fluido scorrono in strati paralleli tra loro, senza rimescolamenti e passaggi da una linea di flusso all'altra, con scarsa influenza reciproca, entro una determinata velocità. All'aumentare della velocità del flusso, a parità di sezione del tubo e di viscosità del fluido, si raggiunge una velocità critica, oltre la quale il comportamento del flusso varia. In particolare, questo diventa vorticoso e turbolento, e le singole particelle non scorrono più ordinatamente e parallelamente tra loro, ma tendono a mescolarsi ed a influenzarsi reciprocamente. Questo regime di flusso, detto turbolento (fig. A2.10), è indesiderabile negli impianti idraulici, in quanto comporta un notevole aumento della resistenza del flusso con conseguente aumento delle perdite.

A2 – Cenni di idraulica

A2.1. Generalità

Con il termine “idraulica” ci si riferisce sostanzialmente alla trasmissione di forze ed al comando di movimenti mediante liquidi. Lo sfruttamento della potenza idraulica avviene al giorno d'oggi in ogni settore industriale, dagli aeroplani alle navi, ai missili, alle macchine industriali, etc. In tutti questi diversificati settori, la trasmissione dell'energia idraulica avviene mediante olii, da cui il termine “oleodinamica”.

La principale ragione della diffusione dell'oleodinamica risiede nella grande versatilità posseduta dal fluido per trasmettere potenze anche grandi e movimenti di elevata precisione. Infatti un fluido è ottimamente deformabile, e contemporaneamente incomprimibile in pratica, potendo facilmente cambiare forma, essere distribuito in molte parti e trasmettere la pressione in tutte le direzioni. Nessun altro mezzo riunisce in sé lo stesso grado di sicurezza, precisione e flessibilità di controllo, con la capacità di trasmettere elevate potenze impiegando piccoli volumi e pesi.

A2.2. La pressione

La pressione costituisce una delle grandezze fondamentali dell'idraulica, e viene definita come la forza che agisce sull'unità di

superficie, per la quale vengono usate una moltitudine di unità di misura. Nel Sistema internazionale (SI) l'unità di misura della pressione è il pascal (Pa), dato dal rapporto della forza misurata in newton (N) e la superficie misurata in metri quadrati (m^2); nel mondo della tecnologia idraulica è diffuso il chilogrammo al centimetro quadrato (kg/cm^2). Quindi, riassumendo

$$p = F/S \quad (N/m^2 ; kg/cm^2)$$

Tenendo presente che tutti i liquidi hanno un peso proprio non trascurabile, un recipiente è soggetto a pressioni dovute al peso del liquido contenuto. Infatti (fig. A2.1), si consideri un recipiente cilindrico, di sezione di base S, pieno di un liquido fino all'altezza h. Sapendo che il peso Q del liquido è dato dal prodotto del suo peso specifico γ per il volume occupato dallo stesso, si trova per la pressione l'espressione

$$p = Q/S = S h \gamma / S = h \gamma$$

Dall'espressione precedente rappresenta la legge di Stevino: la pressione esercitata da un liquido sul fondo del recipiente dipende esclusivamente dall'altezza del pelo libero e dal peso specifico del liquido. La pressione prodotta dal solo peso del liquido viene indicata "pressione idrostatica". Naturalmente, nel caso si voglia determinare la pressione idrostatica in un qualsivoglia punto interno del liquido, occorre usare nella formula precedente la distanza di questo dal pelo libero del liquido.

La legge di Stevino, determinata in precedenza nel caso di recipiente a sezione cilindrica, è in realtà valida per qualsiasi forma del

recipiente. Infatti, il valore della pressione idrostatica sul fondo dei recipienti in fig. A2.2 è la stessa nonostante la diversità di forma e di volume, in quanto è lo stesso il peso specifico ed è la stessa l'altezza del livello del liquido contenuto.

La legge fondamentale sulla quale si basa l'oleodinamica è la legge di Pascal, uno dei tanti enunciati della quale è il seguente: la pressione esercitata su una porzione di superficie del fluido, si manifesta con la stessa intensità in ogni altro punto della superficie a contatto con il fluido, in direzione ad essa perpendicolare (fig. A2.3). Il principio di Pascal ha trovato la sua più importante applicazione nel torchio idraulico. Questo è composto essenzialmente da due cilindri di sezione differente, comunicanti tra loro, entro i quali scorrono senza attrito ed a perfetta tenuta due cilindri; è questa una macchina capace di spostare grossi carichi con uno sforzo limitato. Si consideri la fig A2.4; applicando una forza F sullo stantuffo più piccolo A , si produce all'interno del liquido una pressione

$$p = F/S$$

la quale si trasmette su tutte le superfici a contatto del fluido con la stessa intensità ed in direzione perpendicolare alle superfici stesse. Tale pressione agisce anche sullo stantuffo più grande B . pertanto la forza F' agente sulla superficie S' è data dall'espressione

$$F' = p \times S' = F/S \times S'$$

la quale può essere posta nella forma

$$F' = F \times S'/S$$

Dalla precedente si vede che la forza esercitata su uno stantuffo dipende dalla forza agente sull'altro e dal rapporto delle superfici. Nel caso di figura, siccome $S' > S$, risulta che $F' > F$. naturalmente, la velocità e lo spostamento di S' saranno minore di quelle di S , per cui il lavoro compiuto resta lo stesso.

A2.3. Sistema idraulico elementare

In un impianto idraulico in genere, la funzione del pistone più piccolo, cioè del dispositivo che esercita la pressione sul liquido, viene svolta dalla pompa, mentre la funzione del pistone più grande, cioè del dispositivo che deve trasformare la la pressione in lavoro meccanico, viene svolta dall'attuatore (o martinetto) dimensionato proporzionalmente alle caratteristiche dell'utenza. Così (fig. A2.5) esercitando una forza sul pistone della pompa, si ottiene nel fluido una certa pressione; tanto maggiore è la forza agente, tanto maggiore risulta la pressione. Questa aumenta fino a quando nel cilindro grande si sviluppa una forza capace di muovere il carico. Il carico può essere spostato solo se si genera una pressione adeguata. La velocità di spostamento del carico dipende dalla quantità di liquido convogliata all'attuatore nell'unità di tempo.

Nelle applicazioni pratiche, il sistema considerato deve essere ampliato inserendo elementi capaci di controllare la direzione e la velocità di movimento dell'attuatore, nonché la sollecitazione massima

dell'impianto stesso. La pompa in genere è di tipo continuo. Da quanto detto si deve precisare che una pompa idraulica non genera pressione, ma piuttosto eroga del flusso di liquido idraulico. La pressione si genera solo quando una tubazione, un motore idraulico, una valvola o una restrizione offrono resistenza al flusso del fluido.

A2.4. Cenni di dinamica dei fluidi

Considerando un fluido in movimento in un condotto, se si osserva il comportamento delle particelle che lo compongono, è possibile verificare che ciascuna particella percorre una traiettoria che viene definita linea di flusso o di corrente (fig. A2.6); la velocità delle singole particelle è tangente a tale linea. L'insieme di particelle fluide che si muovono su una stessa linea di flusso prende il nome di filetto fluido. Se la configurazione della linea di flusso rimane sempre la stessa nel tempo, si ha un moto permanente o stazionario. Viceversa, se in istanti successivi la configurazione delle linee di flusso cambia, si ha un moto vario.

La portata di un condotto è la quantità di fluido che attraversa una sezione nell'unità di tempo. In genere si può definire la portata in massa, intesa come la massa di fluido che attraversa la sezione nell'unità di tempo (kg/s), e la portata in volume o volumetrica, intesa come il volume che attraversa la sezione nell'unità di tempo (m^3/s). Siccome il fluido idraulico può essere considerato incompressibile, le due grandezze sono analoghe in sostanza, e differiscono solo per l'unità di misura. Per i fluidi idraulici si usa comunemente la portata volumetrica.

Considerando la fig. A2.7, si esprime la portata volumetrica Q per un fluido incompressibile che scorre in un tubo di sezione S con velocità costante V

$$Q = \text{Vol}/t = S \times l/t = S \times V \times t / t = S \times V \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

La portata volumetrica in un condotto dipende quindi dal prodotto della sezione del condotto per la velocità del fluido che la attraversa.

Si consideri un condotto a sezione variabile (fig A2.8). Se non si verificano aggiunte o sottrazioni di fluido ed il sistema è permanente, nelle diverse sezioni del condotto la portata rimane costante, quindi è la stessa anche se viene calcolata in due sezioni diverse

$$Q = S_1 \times V_1 = S_2 \times V_2$$

La precedente espressione è nota come equazione di continuità, e esprime il fatto che le velocità variano in modo inversamente proporzionale alle sezioni di passaggio: dove diminuisce la sezione, aumenta la velocità.

Perdite per attrito

una vena fluida possiede dell'energia in virtù del suo stato fisico e della sua velocità; sostanzialmente, si possono considerare l'energia potenziale e l'energia cinetica. L'energia potenziale, a sua volta, dipende dalla posizione del fluido e dalla sua pressione. Il principio di Bernoulli

afferma che, in un sistema conservativo, in cui non avvengano apporti o cessioni di energia all'esterno, parte dell'energia può convertirsi da una all'altra forma, ma la somma totale dell'energia deve rimanere costante. È evidente quindi, nel caso precedente di un tubo a sezione variabile, che un aumento di velocità comporta un aumento di energia cinetica, a cui deve corrispondere una uguale diminuzione di energia potenziale, cioè una diminuzione di pressione, in modo che la somma delle energie rimanga costante.

In realtà quando un fluido scorre in un condotto, è sempre presente dell'attrito tra fluido e fluido e tra fluido e pareti del condotto, ed a tale attrito fa seguito una generazione di calore. Una parte dell'energia posseduta dal fluido viene perciò dissipata in calore, con conseguente diminuzione della pressione. Il calore generato per attrito viene irradiato nell'ambiente circostante dalla tubazione e dai singoli componenti. Una parte dell'energia termica prodotta surriscalda il fluido e tutte le parti dell'impianto, fino al punto di raggiungere una condizione di equilibrio tra il calore generato per attrito ed il calore dissipato nell'ambiente; in tali condizioni il fluido si stabilizza in una condizione detta di regime. Nelle applicazioni pratiche, quindi, non è possibile trasmettere energia senza perdite. Se la temperatura di regime risulta inferiore alle massime temperature consentite per il normale esercizio di ogni parte del sistema, si può fare a meno di un dispositivo di raffreddamento esterno.

L'entità delle perdite per attrito dipende principalmente dalla lunghezza delle tubazioni, dalla rugosità delle pareti interne delle tubazioni, dal numero e dal raggio di curvatura delle curve, dalla sezione dei tubi e dalle sue variazioni, dalla velocità del flusso e dalla viscosità del fluido.

Sebbene l'attrito non possa essere del tutto eliminato, neanche in via di principio, esso può essere tenuto sotto controllo ed in gran parte ridotto, controllando il regime di flusso. Quest'ultimo, e di conseguenza la caduta di pressione da questo causata, dipende principalmente dalla sezione della tubatura e dalla velocità del flusso. Nel regime definito laminare (fig. A2.9) le singole particelle del fluido scorrono in strati paralleli tra loro, senza rimescolamenti e passaggi da una linea di flusso all'altra, con scarsa influenza reciproca, entro una determinata velocità. All'aumentare della velocità del flusso, a parità di sezione del tubo e di viscosità del fluido, si raggiunge una velocità critica, oltre la quale il comportamento del flusso varia. In particolare, questo diventa vorticoso e turbolento, e le singole particelle non scorrono più ordinatamente e parallelamente tra loro, ma tendono a mescolarsi ed a influenzarsi reciprocamente. Questo regime di flusso, detto turbolento (fig. A2.10), è indesiderabile negli impianti idraulici, in quanto comporta un notevole aumento della resistenza del flusso con conseguente aumento delle perdite.