

Capitolo 1

Generalità sui flussi bifase

1.1 Introduzione

La termodinamica classica definisce una fase come uno stato macroscopico della materia omogeneo per composizione chimica e struttura fisica. I *flussi bifase* sono caratterizzati dalla presenza di due fasi dello stesso componente e rappresentano il caso più semplice di flussi multifase. Per la precisione si dovrebbe anche utilizzare il termine multicomponente per indicare i flussi composti da fasi appartenenti ad elementi chimicamente diversi. Per esempio un flusso di acqua e vapore risulta essere bifase monocomponente, mentre un flusso di acqua ed aria è bifase bicomponente. In determinate applicazioni si possono anche avere flussi monofase bicomponente non miscibili tra loro come acqua ed olio.

I flussi multifase vengono suddivisi in 4 categorie:

- gas-liquido
- gas-solido
- liquido-solido
- flusso trifase

Nei flussi gas-liquido si possono ottenere diverse distribuzioni come bollicine di gas disperse nella fase liquida, goccioline di liquido trasportate da un fluido gassoso, flusso continuo del liquido nella parte inferiore della tubazione e del gas nella parte superiore oltre a tutte le possibili varianti di queste configurazioni.

Generalmente per i primi due casi si parla di flusso disperso mentre per il terzo di flusso separato. Nei flussi gas-solido abbiamo invece un flusso continuo di gas con le particelle solide in sospensione. Tipiche applicazioni industriali sono i trasportatori pneumatici ampiamente utilizzati per il trasporto di sabbia e graniglia. In questo caso si tratta sempre di flusso disperso.

Anche per i flussi liquido-solido si considera la fase solida dispersa nella fase liquida. Flussi di questo tipo si trovano nel trasporto di minerali, di carbone e di fanghi. I flussi trifase sono invece tipi di flusso caratterizzati dalla presenza di bolle nel trasporto di fanghi e per questo il loro studio risulta essere alquanto difficoltoso.

I flussi bifase caratterizzati dallo scorrere contemporaneo di un gas ed un fluido non si riscontrano esclusivamente nell'ambito di applicazioni industriali ma si possono osservare anche nella vita quotidiana. Basti pensare a quello che accade quando si svuota una bottiglia, se l'operazione viene fatta lentamente si osserva che l'aria che entra scorre separatamente dall'acqua che esce, si verifica cioè un tipico flusso separato. Se invece viene svuotata più velocemente osserviamo che le due fasi scorrono in maniera intermittente alternando una frazione liquida (*slug*) che esce dal collo della bottiglia ad una bolla d'aria (*bolla di Taylor*) che vi entra. Da questo banale ma efficace esempio ci si può facilmente rendere conto come un gas ed un liquido, che fluiscono simultaneamente all'interno di una tubazione, possono dar luogo ad una grande varietà di regimi di flusso. Il verificarsi di un particolare regime dipende dalla portata, dalle caratteristiche fisiche e dalle condizioni termodinamiche cui sono sottoposte le singole fasi oltre alle caratteristiche fisiche dell'impianto nelle quali scorrono.

1.1.1 Regimi di flusso

Il regime di flusso viene generalmente caratterizzato considerando la velocità superficiale j_i che rappresenta la portata volumetrica trasportata dalla i -esima fase attraverso una qualunque sezione di passaggio ed è definita come:

$$j_g = \frac{Q_g}{A} \quad (1.1)$$

$$j_l = \frac{Q_l}{A} \quad (1.2)$$

dove Q è la portata volumetrica, A è la sezione della tubazione mentre i pedici g ed l sono rispettivamente gli indici di gas e liquido.

Considerando che il comportamento fluidodinamico del flusso, le perdite di carico nella tubazione, la frazione di vuoto ed i profili di velocità variano sistematicamente a seconda del regime in cui si opera, è evidente che bisogna prestare molta attenzione alle diverse situazioni che si verificano.

Come regimi di riferimento si sono prese le definizioni date da Tong dove vengono proposti 6 regimi di flusso per tubazioni orizzontali e solo 5 per tubazioni verticali.

Questa classificazione risulta essere:

1. Tubazione orizzontale

- flusso a bolle disperse
- flusso a plug
- flusso stratificato
- flusso a onde
- flusso a slug
- flusso anulare

Una rappresentazione schematica dei precedenti regimi è riportata in figura 1.1.

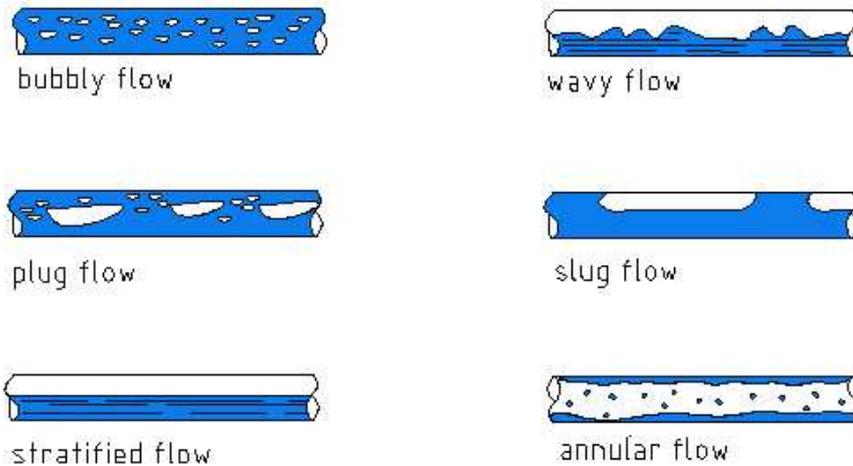


Figura 1.1: Regimi di flusso bifase in tubazioni orizzontali

2. Tubazione verticale

- flusso a bolle disperse
- flusso a slug
- flusso a churn
- flusso anulare
- flusso a gocce disperse

I precedenti regimi vengono rappresentati schematicamente in figura 1.2.

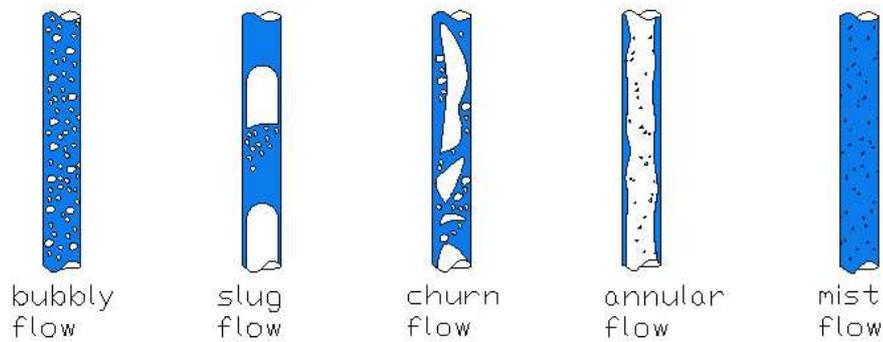


Figura 1.2: Regimi di flusso bifase in tubazioni verticali

Come si può notare dalle precedenti figure, l'inclinazione della tubazione incide in maniera considerevole sulla formazione dei veri regimi di flusso bifase.

Nei condotti verticali, infatti, agisce oltre alla forza inerziale anche quella gravitazionale che rende impossibile il verificarsi di alcuni regimi presenti nei condotti orizzontali. Ad esempio, il flusso stratificato identificabile dallo scorrere separato dei 2 fluidi all'interno del condotto orizzontale non si può verificare in una tubazione verticale in quanto la forza gravitazionale trattiene il fluido a maggiore inerzia, il liquido, impedendone la stratificazione. Si può anche vedere che la forza di gravità, agendo lungo l'asse delle tubazioni verticali, rende il flusso molto vicino alle condizioni di perfetta simmetria. Nelle tubazioni orizzontali invece la forza gravitazionale agisce perpendicolarmente all'asse e questo tende a far depositare il liquido nella parte inferiore del condotto ed il gas nella parte superiore rendendo impossibili le condizioni di simmetria rispetto all'asse. Oltre a tubazioni orizzontali e verticali, spesso si devono utilizzare condotte con diversi cambi di pendenza, come mostrato in figura 1.3, di cui bisogna assolutamente tenere conto per analizzare il tipo di regime che si va a sviluppare.

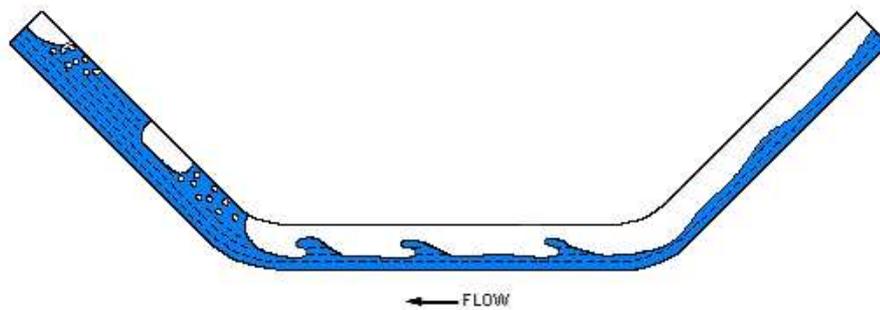


Figura 1.3: Regimi di flusso bifase in tubazioni con cambi di pendenza

1.1.2 Regimi di flusso bifase in tubazione orizzontale

La nostra attenzione viene quindi focalizzata sui regimi di flusso bifase aria-acqua che si possono sviluppare in una tubazione orizzontale in funzione delle caratteristiche dell'impianto e dei fluidi stessi.

Utilizzando la classificazione proposta da Barnea et al., è possibile identificare 4 regimi di flusso:

- flusso stratificato
- flusso intermittente
- flusso anulare
- flusso con bolle disperse

Questi regimi vengono schematizzati in figure 1.4 con riferimento alle definizioni date da Tong.

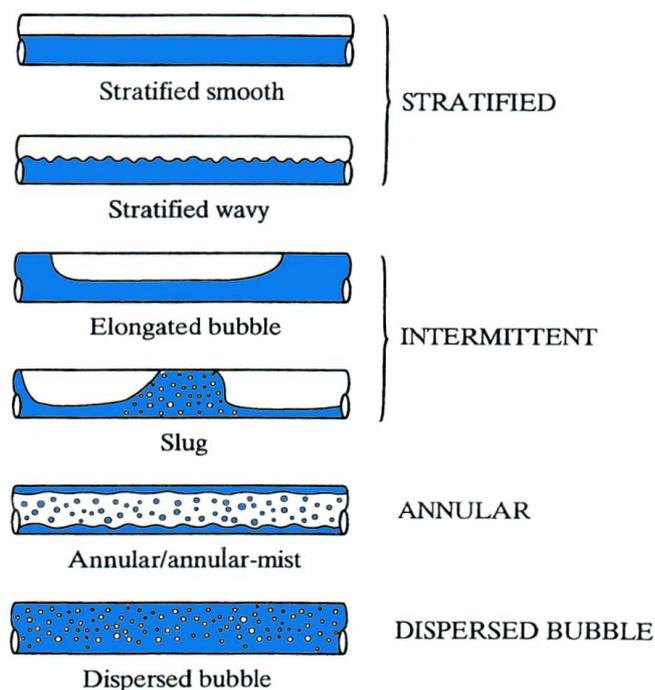


Figura 1.4: Classificazione dei regimi di flusso bifase proposta da Barnea et al.

Per la determinazione dei diversi regimi di flusso bifase aria-acqua risulta di fondamentale importanza la mappa proposta da Mandhane et al. che viene rappresentata in figura 1.5.

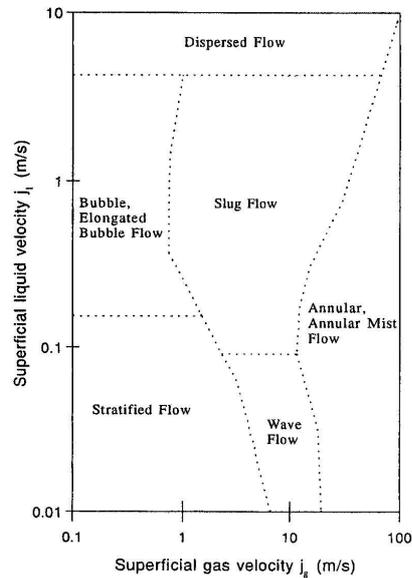


Figura 1.5: Mappa per regimi di flusso bifase proposta da Mandhane et al.

Analizzando la mappa di Mandhane si può notare che caratterizza i diversi regimi di flusso bifase ponendo in ascissa la velocità superficiale dell'aria ed in ordinata la velocità superficiale dell'acqua. Le linee tratteggiate rappresentano la transizione tra i diversi tipi di regime.

Tale mappa è stata sviluppata per flussi aria-acqua ma ciò non esclude di poterla adottare anche per flussi con diverse caratteristiche chimico-fisiche; inoltre non risulta essere influenzata dal diametro delle tubazioni ma esclusivamente dalle velocità superficiali delle singole fasi.

Si può notare che a basse velocità superficiali della fase liquida si verificano flussi stratificati (*stratified flow* e *wave flow*) e flussi anulari (*annular flow*) a seconda della velocità superficiale della fase gassosa. Questi regimi possono essere raggruppati nella categoria dei flussi separati; infatti in entrambi le due fasi appaiono come se fossero due flussi continui che scorrono separatamente in un condotto. La differenza tra questi due regimi è la diversa posizione delle fasi nella sezione del condotto. Nel flusso stratificato la fase liquida scorre nella parte inferiore del tubo mentre la fase gassosa in quella superiore; l'interfaccia tra le due fasi può essere liscia (*stratified smooth*) o caratterizzata dalla presenza di onde (*stratified wavy*). Nel flusso anulare invece la fase liquida scorre come un film sottile lungo l'intera superficie interna della tubazione mentre la fase gassosa occupa la parte centrale. All'aumentare della velocità superficiale della fase liquida si osserva un sempre maggiore miscelamento delle due fasi e si passa dal flusso stratificato al flusso distribuito che può essere intermittente o a bolle. Nella mappa di Mandhane si osserva che i flussi intermittenti occupano una

regione piuttosto estesa e possono essere, a sua volta, suddivisi in flusso a slug o a bolle allungate (*slug flow* o *elongated bubble flow*). Questi regimi hanno caratteristiche piuttosto simili, ma si differenziano dal fatto che all'interno della fase liquida nel flusso a slug sono disperse numerosissime bollicine d'aria che sono invece assenti nel flusso a bolle (*plug*). Il flusso a slug è probabilmente il flusso più studiato in quanto caratterizzato dal movimento intermittente ad alta velocità di grosse bolle allungate e porzioni di liquido. Queste sono un ostacolo serio nel trasporto di fluidi in tubazioni basti pensare alle industrie, ad esempio petrolifere, che devono trasportare per tratti molto lunghi grosse quantità di liquidi miscelati a dei gas. Per concludere, ad alte velocità superficiali della fase liquida si verifica il flusso a bolle caratterizzato dalla presenza di piccole bolle d'aria disperse nella fase liquida.

1.1.3 Flusso stratificato e flusso ad onde

Il flusso stratificato è caratterizzato da alte portate di gas e basse portate di liquido. Si presenta, solo nei condotti orizzontali come flusso separato di gas e liquido. Nella sezione superiore del condotto scorre il gas, mentre in quella inferiore il liquido, visto che quest'ultimo è più denso dell'aeriforme e subisce maggiormente l'azione della forza gravitazionale.

Il flusso a onde è un caso particolare di quello stratificato. Esso è caratterizzato da una uguale separazione tra i due fluidi, ma l'interazione tra la più elevata velocità del flusso di gas e lo strato liquido, favorisce la formazione di onde sull'interfaccia. All'aumentare della velocità del gas, il flusso tende a diventare anulare. Sperimentalmente si ricava che lo strato liquido ha un caratteristico profilo concavo, guardando la sezione trasversale del condotto, ed ha uno spessore medio costante a parità di velocità del gas. Aumentando quest'ultima infatti si nota un aumento dell'area di interfaccia gas-liquido. E' possibile che il caratteristico profilo concavo dello strato liquido sia da collegarsi alla presenza di onde di disturbo che viaggiano sulla superficie del fluido con una frequenza caratteristica (circa 1 Hz), dipendenti anch'esse dalla velocità del gas. Il flusso del liquido nel condotto è turbolento, e nelle vicinanze della parete della tubazione il suo comportamento è simile ad un flusso monofase. I problemi si verificano nell'interfaccia, dove avvengono sostanziosi scambi di energia tra il gas veloce e lo strato liquido lento. Il gas si comporta in maniera analoga al liquido cioè in prossimità della parete superiore del condotto si comporta come un flusso monofase, mentre vicino all'interfaccia subisce delle modificazioni. Da tutto ciò si evince che la criticità maggiore è quella di determinare con buona approssimazione un coefficiente di attrito di interfaccia che serva per la determinazione delle perdite di carico in fase progettuale.

1.1.4 Flusso anulare

Il flusso anulare è caratterizzato da elevate velocità del gas e basse velocità del liquido. Quest'ultimo è presente in parte sotto forma di un sottile film continuo, aderente alla parete interna del tubo, ed in parte come gocce disperse nel gas.

Lo spazio occupato dal gas e dalla fase dispersa prende il nome di *core*, mentre la frazione di liquido trascinato viene detta *entrainment fraction*. Sia per il flusso verticale che orizzontale, il film è sospinto nel verso del moto del gas dalla forza di attrito all'interfaccia, e nel contempo esercita una azione frenante sul gas stesso. Date le elevate velocità dell'aeriforme, la forza di gravità ha un effetto trascurabile.

Nel complesso invece il liquido sia alla parete che disperso, innalza le perdite di carico, riducendo la sezione del flusso gassoso che quindi aumenta la sua velocità, esercitando un notevole attrito sul gas stesso.

In particolare, la formazione di piccole onde dette *ripples*, sulla superficie del film, ne aumenta la rugosità, mentre la resistenza esercitata dalle gocce, eventualmente disperse, sul gas è tanto più forte, quanto minore è il loro diametro medio. La presenza della fase dispersa accresce inoltre la superficie di scambio tra i due fluidi, innalzando i flussi di materia e calore tra le fasi.

Sperimentalmente si è osservato che, per portate di liquido superiori ad un certo valore critico, decrescente all'aumentare della velocità del gas, compaiono sulla superficie del film delle onde di grande ampiezza, nettamente distinte dalle *ripples* che ne modificano sensibilmente la struttura, rendendola fortemente dipendente dal tempo. Queste onde sono dette *roll waves* ed hanno una notevole importanza nello sviluppo del flusso.

1.1.5 Flusso a slug

Il flusso a slug è caratterizzato dall'intermittenza di bolle di grosse dimensioni, seguite da una zona mista di liquido con bolle disperse. Proprio questa intermittenza fa sì che questo flusso sia uno dei più importanti nella fluidodinamica bifase, in quanto causa di grosse perdite di carico e di vibrazioni all'interno dei condotti, che possono risultare molto dannose per la statica dell'intero impianto.

Questa tipologia di flusso avviene con medie frazioni di vuoto e medio-basse portate specifiche di liquido, e può essere considerata come una zona di transizione tra il flusso a bolle ed il flusso anulare.

Ad elevate portate di liquido avviene, infatti, un aumento delle bolle disperse e quindi il flusso tenderà a trasformarsi in un regime detto a bolle. Al contrario a basse portate di fluido lo slug liquido è tanto ridotto da far avvenire una stratificazione del flusso.

L'orientazione del tubo è molto importante per la dinamica del sistema. Mentre nel condotto verticale il flusso a slug è caratterizzato da una serie di bolle quasi aderenti alla parete e con una caratteristica forma di proiettile, nei condotti orizzontali, la simmetria non è mantenuta e le bolle hanno caratteristiche diverse. Queste bolle dette di *Taylor* sono di grosse dimensioni, arrivano ad essere lunghe fino a 10-15 volte il diametro del tubo, e sono seguite da una zona caratterizzata da liquido e piccole bolle disperse che creano turbolenze sulla coda della bolla di Taylor. Questa zona è chiamata *slug liquido*, ed è qui che avvengono le cadute di pressione più rilevanti. La bolla è caratterizzata da una coda, una testa ed un corpo, mentre la zona di slug da una gran quantità di piccole bolle in sospensione.

Dalle osservazioni sperimentali si nota anche come le cadute di pressione siano prevalentemente individuate nella zona dello slug liquido. Infatti, siccome la viscosità e la densità di un gas sono molto inferiori rispetto a quelle di un liquido la pressione del gas nella bolla è sostanzialmente costante e quindi nella zona del film liquido non si hanno sostanziali cali di pressione. Nel caso orizzontale in questione non c'è la forza di galleggiamento a sostenere la bolla, tuttavia la velocità della stessa non è uguale a quella del fluido.

Si consideri il film liquido lungo la bolla, l'area di flusso per la stessa è:

$$A_b = \pi \left(\frac{D}{2} - \delta \right)^2 \quad (1.3)$$

dove

- A_b : superficie trasversale della bolla
- D : diametro del condotto
- δ : spessore del film liquido

Tramite questa relazione si può ricavare la velocità della bolla:

$$v_b = j \cdot C_1 \quad (1.4)$$

con

$$C_1 = \frac{A}{A_b} \quad (1.5)$$

dove

- j : velocità specifica della miscela bifase
- v_b : velocità della bolla

Se si considera un film molto sottile, dalle precedenti relazioni si ricava:

$$v_b = \left(1 + \frac{4\delta}{D} \right) j \quad (1.6)$$

1.1.6 Flusso a bolle

Questo tipo di flusso è caratterizzato da bolle isolate di piccole e piccolissime dimensioni che si muovono in un fluido continuo. Questa tipologia di flusso avviene per basse frazioni di vuoto, cioè con una piccola quantità di gas nella miscela bifase. Il range di velocità superficiale del liquido è abbastanza ampio e va da 0,02 a 1 m/s.

Il regime a bolle si presenta in un gran numero di applicazioni tecniche, come il trasporto di calore, gli evaporatori, gli impianti di spillamento di bevande gassate ed altro ancora. In generale si nota che il flusso a bolle è una fase di transizione verso un regime più stabile. Le bolle disperse nel fluido, infatti, tendono ad unirsi ed a perdere la loro identità. Esse sono generate in diversi modi e pertanto risultano diverse le forme e le dimensioni con le quali si presentano.

1.2 Flussi monofase e multifase in applicazioni industriali

Negli ultimi decenni l'interessamento da parte delle aziende allo studio dei flussi bifase è notevolmente aumentato. Si vogliono ora proporre alcuni esempi di come questi flussi vengono utilizzati e dei problemi che creano nelle applicazioni industriali.

1.2.1 Sistemi di trasporto

Nell'industria sono molto diffusi sistemi di trasporto che utilizzano aria od acqua come fluidi vettori. Quando si impiega l'aria si parla di trasporti pneumatici mentre quando si utilizza l'acqua si parla di trasporti di fanghi.

Trasporti pneumatici

Trasportatori pneumatici sono spesso utilizzati quando vi è necessità di movimentare materiali come: cemento, graniglie, polveri metalliche, polvere di carbone. Questi apparati sono caratterizzati da un'elevata flessibilità di funzionamento, possono adattarsi a layout aziendali piuttosto complicati ed evitano il diffondersi in atmosfera delle polveri trasportate, particolare per cui vengono spesso preferiti ai nastri trasportatori.

Per il funzionamento di questo tipo di trasportatori è necessario considerare la capacità di galleggiamento delle particelle del materiale da trasportare all'interno di una corrente d'aria.

Se la velocità dell'aria è abbastanza elevata si assiste a un flusso piuttosto omogeneo che rappresenta la condizione di funzionamento ideale. Al diminuire

della velocità dell'aria si assiste, nel caso di tubazioni orizzontali, al progressivo deposito del materiale nella parte inferiore del condotto e si può arrivare fino al totale riempimento della sezione. Questo provoca un drastico aumento delle perdite di carico ed un regime di flusso intermittente, che causa decadimenti delle prestazioni dell'impianto e rapida usura delle tubazioni.

Trasporto di fanghi

Con il termine trasporto di fanghi si intende il trasporto di particelle disperse in una fase liquida. Le particelle che vengono trasportate in questo modo possono essere di varie dimensioni e questo è la causa della grande varietà di regimi che si possono manifestare.

Per comprendere la fluidodinamica dei flussi liquido-solido è necessario considerare sia le interazioni fra le varie particelle solide che fra le particelle e il fluido, questo rende estremamente complicato lo studio di questo tipo di flussi.

1.2.2 Trasporto di prodotti petroliferi

Il settore industriale che probabilmente subisce maggiormente gli effetti negativi dei flussi bifase gas-liquido è quello petrolifero a causa della necessità di trasportare il greggio all'interno di tubazioni che raggiungono lunghezze considerevoli. Una chiara descrizione di questi problemi è data da Havre et al. riguardo i problemi, dovuti al flusso a slug, riscontrati nelle piattaforme petrolifere nel Mare del Nord.

L'utilizzo delle piattaforme offshore per lo sfruttamento dei giacimenti sottomarini è ormai diventato molto frequente e si prevede che, in futuro, lo sarà sempre di più. Il sito in questione è costituito da una piattaforma di trivellazione automatica collegata, tramite una tubazione sottomarina del diametro di 12 pollici e lunga circa 13 chilometri, alla piattaforma principale. I problemi che sono stati riscontrati in questo impianto sono dovuti al fatto che il flusso del greggio, composto da una miscela multifase di petrolio, acqua e gas, degenera in flusso a slug comportando considerevoli problemi operativi quali:

- vibrazioni tali da danneggiare le tubazioni e mettere in pericolo la stabilità stessa della piattaforma;
- malfunzionamento del separatore acqua-petrolio comportando così un aumento dei tempi di lavorazione e il rischio di contaminazione dell'acqua all'uscita del separatore con conseguenze di inquinamento facilmente immaginabili;
- poco efficienti operazioni di pompaggio in quanto, per evitare conseguenze ancora peggiori, è necessario limitare la pressione e la velocità di trasporto del greggio.

Nel caso in questione, il flusso a slug si verifica a causa della conformazione del fondo marino su cui si appoggia la tubazione; esso infatti non è piano e lungo i 13 chilometri sono presenti alcuni avvallamenti che le condotte sono costrette a seguire. Quindi il flusso a slug si genera perchè il petrolio e l'acqua tendono a depositarsi nei punti meno elevati creando una specie di tappo per la circolazione del gas che, tranne una piccola parte che riesce a defluire attraverso la fase liquida, aumenta di pressione fino a quando non riesce a muovere in avanti la sezione di liquido. Questo fenomeno si ripete ciclicamente dando vita alle caratteristiche pulsazioni del flusso a slug.

Sono state impegnate notevoli risorse per riuscire ad evitare che lo slug raggiungesse la piattaforma principale compromettendo tutte le lavorazioni che sono svolte su di essa. E' stato anche sperimentato un sistema di controllo feedback che, agendo su un orifizio all'uscita della tubazione, è stato in grado di permettere un buon utilizzo del separatore ed un conseguente aumento della produzione.

1.2.3 Impianti geotermici

Gli impianti geotermici sfruttano l'energia messa a disposizione dal vapore presente sotto la crosta terrestre per la produzione di energia elettrica.

Questi impianti rappresentano un'alternativa per la produzione di energia elettrica evitando l'utilizzo di combustili fossili che sono, per i residui delle loro combustione, una delle principali fonti di inquinamento atmosferico. L'utilizzo del vapore geotermico comporta però alcuni problemi tecnici in quanto esso, a causa delle sostanze che vi si trovano disciolte, presenta una certa acidità che può risultare dannosa sia che per le tubazioni che per le costose palette delle turbine. Per eliminare i condensati acidi, in particolare acido cloridrico (HCl), prima del loro ingresso nella turbina, normalmente si usa iniettare una soluzione di idrossido di sodio ($NaOH$) all'interno del flusso di vapore. L'iniezione della soluzione alcalina alla base del pozzo dà il doppio vantaggio di proteggere sia le pareti del pozzo che le tubazioni di trasporto del fluido. La soluzione alcalina, che presenta caratteristiche fisiche simili a quelle dell'acqua, al contatto con la fase gassosa ad alta temperatura subisce una vaporizzazione istantanea creando una dispersione di goccioline, in equilibrio termodinamico con il vapore, che tendono a depositarsi sulle pareti del pozzo. Le due fasi sono spinte verso la superficie dal gradiente di pressione presente all'interno del pozzo.

La fase liquida che si deposita sulle pareti interne previene il problema della corrosione delle tubazioni, mentre le goccioline che scorrono nella parte centrale del condotto garantiscono un'ampia superficie di scambio con la fase gassosa. Si crea, quindi, un flusso bifase gas-liquido di tipo anulare.

Le caratteristiche di questo flusso bifase variano, nel percorso dalla base del pozzo alla superficie, con il variare delle condizioni di pressione e temperatura all'interno del condotto. E' necessario stabilire con cura quanta soluzione alcalina iniettare in quanto una quantità eccessiva provoca un aumento non accettabile delle perdite di carico ma, allo stesso tempo, una quantità troppo bassa non permette una adeguata protezione contro la corrosione.

1.2.4 La corrosione e i flussi bifase

Le variabili che incidono nei processi di corrosione sono in presenza di flussi bifase sono:

- temperatura;
- pressione;
- composizione chimica dei fluidi;
- condizione superficiale del metallo con cui sono realizzate le tubazioni;
- portate;
- regimi di flusso.

Di questi parametri, i primi 5 sono piuttosto facili da tenere sotto controllo, mentre è molto difficile determinare esattamente il tipo di regime di flusso che si determina in ogni singolo punto di una tubazione in quanto esso dipende dalla combinazione di precedenti parametri oltre che dal diametro, dall'inclinazione e dalla forma del condotto.

Esperimenti su questo argomento sono stati svolti dalla Multiphase Technology Inc. grazie a un circuito sperimentale dove è stato possibile utilizzare vari tipi di fluido più o meno corrosivo. Sono stati effettuati, in particolar modo, dei test in cui era simulato il trasporto di prodotti petroliferi in tubazioni di grosso diametro. E' stato preso in esame anche il caso di una tubazione costretta a seguire un avvallamento, condizione critica che è stata precedentemente descritta. La corrosione, in questo tipo di trasporti, è dovuta all'acqua miscelata al petrolio. In seguito agli esperimenti è stato notato che le caratteristiche corrosive di questa miscela sono piuttosto basse in presenza di flussi di tipo disperso, mentre si amplificano in condizione di flusso meno turbolento in cui l'acqua non è più del tutto miscelata nell'olio ma scorre in una fase propria.

Il flusso a slug, inoltre, si presenta come il regime di flusso peggiore nel trasporto di prodotti petroliferi per le sue caratteristiche erosive e corrosive. Nel passato, l'attenzione era rivolta allo studio di inibitori chimici della corrosione con cui proteggere la superficie interna delle tubazioni e di particolari leghe metalliche particolarmente resistenti. Negli ultimi anni, invece, la ricerca sui metodi per la prevenzione della corrosione nelle pipeline si è concentrata sullo studio dei regimi multifase che si creano al loro interno. In particolar modo, sono stati introdotti degli agenti chimici fluidificanti per diminuire l'attrito tra il fluido e le pareti delle tubazioni in condizioni di flusso turbolento e rendere meno probabile il verificarsi di flusso a slug.