

1. INTRODUZIONE

Nel quadro delle attività di una società petrolifera, la valutazione del valore economico di un giacimento, sia esso di petrolio o di gas, richiede, per diversi piani di sviluppo, l'elaborazione di previsioni di produzione che consentano di stimare le riserve disponibili. A tale scopo vengono realizzati modelli dinamici, ovvero rappresentazioni numeriche del giacimento e del flusso dei fluidi nel mezzo poroso in grado di simulare i processi di produzione in corso o previsti. Tali modelli rappresentano una sintesi, in continuo aggiornamento, di tutte le informazioni sul sottosuolo raccolte dalle varie branche delle geoscienze.

Naturalmente il modello è molto lontano dall'essere una rappresentazione fedele della realtà. La conoscenza del giacimento fornita dalla sedimentologia, dalla geofisica, dall'analisi dei dati di pozzo, anche integrata all'interno di un modello geologico non può esaurire la complessità del sistema fisico in oggetto, né considerarsi scevra da incertezze. Un'informazione dettagliata per quanto concerne le proprietà petrofisiche, petroacustiche e le distribuzioni dei fluidi è disponibile solo ai pozzi, mentre fra un pozzo e l'altro e nelle aree non coperte dai pozzi le uniche informazioni provengono dall'interpretazione sismica, dalla sedimentologia e dalla caratterizzazione petrofisica. Tale incertezza si trasferisce nel modello dinamico e, quindi, nelle valutazioni delle riserve.

Ovviamente il sistema fisico giacimento è soggetto, nel corso dello sviluppo, ad una serie di perturbazioni, quali la produzione di olio o l'iniezione di fluidi spiazzanti, acqua o gas. A queste perturbazioni possiamo associare una risposta del sistema, in termini di pressioni di giacimento e composizione dei fluidi prodotti, legata naturalmente alle proprietà di conduzione e di immagazzinamento della roccia. Questi dati, che possiamo classificare come dinamici in quanto relativi alla variazione delle proprietà dei fluidi nel tempo, contengono implicitamente un'informazione sulla natura del giacimento.

L'integrazione dei dati dinamici nella definizione del modello di giacimento rappresenta l'obiettivo di tutte le attività, propedeutiche generalmente alla formulazione delle previsioni di produzione, classificate come calibrazione storica o, per utilizzare la terminologia anglosassone in uso, *History Matching*.

Nella fase di *History Matching* il modello dinamico viene utilizzato allo scopo di riprodurre la storia passata, confrontando quindi il risultato del calcolo con i dati raccolti ai pozzi. L'obiettivo è di ottenere, attraverso opportune modifiche dei parametri, un modello di giacimento coerente con i dati di produzione noti.

Come vedremo si tratta della soluzione di un problema inverso, caratterizzabile matematicamente come soluzione di un problema di minimo una volta fissato un insieme di parametri. La qualità di una calibrazione di un modello di giacimento è ottenuta mediante la definizione di una funzione obiettivo, che misura lo scarto tra i dati storici di pozzo e le proprietà calcolate durante la simulazione. L'*History Matching* rappresenta dunque il problema di minimo per tale funzione oggetto, per la cui soluzione sono disponibili una serie di tecniche matematiche di ottimizzazione.

Molte sono le criticità che rendono l'*History Matching* un problema particolarmente impegnativo all'interno del flusso di lavoro di un dipartimento di modellistica di giacimento. In primo luogo nasce il problema di determinare quali parametri modificare nel corso della calibrazione. Si tratta di un problema di identificazione dei parametri chiave reso particolarmente complesso dal numero di potenziali candidati. In secondo luogo, una volta individuata una possibile parametrizzazione, la non linearità della relazione fra la risposta numerica e le variazioni dei parametri del sistema rende il problema comunque numericamente mal condizionato.

La funzione obiettivo può quindi essere non convessa, presentare cioè un grande numero di minimi locali isolati. Da un punto di vista matematico, ciò rende vana la quasi totalità delle strategie di ottimizzazione numerica, generalmente concepite per una minimizzazione locale di una funzione oggetto. Dato che i software commerciali di simulazione di giacimento incorporano solamente degli algoritmi di ottimizzazione locale, nasce naturalmente l'esigenza di affiancare ad essi delle metodologie di minimizzazione ibride, con caratteristiche di convergenza globali.

Per questo motivo, lo studio del problema di *History Matching* è stato affrontato utilizzando un nuovo algoritmo di ottimizzazione matematica, il metodo di *Tunneling*, in grado di ottenere una sequenza di minimi locali distinti caratterizzati da un valore decrescente della funzione obiettivo. Tale sequenza, se l'ottimizzazione è spinta all'estremo, tende al minimo globale della funzione oggetto. Questa metodologia ibrida

ci ha consentito, dunque, di ottenere diversi modelli calibrati per una stessa parametrizzazione ad un costo computazionale accettabile.

Nell'ambito di questa tesi, non ci soffermeremo sul problema dell'identificazione dei parametri chiave per la definizione corretta del modello del giacimento: la parametrizzazione proviene da studi precedenti ed è da noi a priori assunta come corretta durante il processo di *History Matching*.

1.1. Profilo della Tesi

Data la grande complessità dell'argomento che ci accingiamo a trattare, è necessario che il problema venga descritto in modo particolareggiato ed esauriente, prima di poter accennare ad una qualunque metodologia di soluzione. Per questo motivo, il Capitolo 2 è interamente destinato alla descrizione del problema di taratura di un modello di giacimento, tralasciando la definizione matematica stretta del modello in se stesso: essa può essere approfondita, a discrezione del lettore, nell'Appendice A, in cui è presentata la formulazione completa delle equazioni che governano il giacimento e i singoli pozzi.

Il Capitolo 3 è destinato alla descrizione di una possibile strategia matematica di soluzione del problema, vantaggiosa in termini di tempo – macchina nonché allettante da un punto di vista algoritmico: il metodo di *Tunneling* rappresenta uno degli argomenti chiave della tesi, ed è per questo motivo che è necessaria una sua dettagliata descrizione.

Il problema di taratura di un modello di giacimento, unitamente ad una possibile tecnica di soluzione dello stesso, necessitano di un banco di prova per poter essere convalidati. Il Capitolo 4 presenta un tipico caso test nella letteratura sull'argomento, intensamente studiato e considerato uno dei modelli sintetici più completi ed esaustivi presenti oggi nelle problematiche di simulazione di giacimenti. Sarà dunque proposta, in questo capitolo, una descrizione geologica, geostatistica e numerica approfondita del caso test in questione.

Considerando l'importanza dello studio di un giacimento e l'impatto sul *business* di una compagnia petrolifera che un'interpretazione erronea delle simulazioni può avere, una vasta sezione della tesi è dedicata all'analisi dei risultati ottenuti mediante

l'applicazione del metodo di ottimizzazione di *Tunneling* al primo caso test considerato. Nel Capitolo 5, le prestazioni di questo algoritmo saranno confrontate con i risultati ottenuti in seguito all'utilizzo di metodi standard di ottimizzazione solitamente implementati nei software di simulazione commerciali.

In base all'analisi di tutti i risultati ottenuti, dai confronti fra le varie tecniche di soluzione e dai possibili scenari di produzione ottenuti nel corso della tesi, si giungerà a delle conclusioni, esposte nel Capitolo 6, relative alla soluzione del problema di taratura di un modello di giacimento.

La natura del metodo di *Tunneling*, nonché degli algoritmi di ottimizzazione solitamente implementati nei software di simulazione commerciali, ha reso necessaria la presenza di un'appendice relativa al calcolo dei gradienti. La loro definizione e implementazione all'interno del programma di simulazione sono descritte nell'Appendice B.

L'Appendice C propone la definizione matematica dettagliata dei vari algoritmi di ottimizzazione locale utilizzati nella letteratura sull'argomento, incluso il metodo utilizzato all'interno del codice sorgente del *Tunneling*.

Infine, qualora una sigla risultasse poco chiara, il lettore potrà fare riferimento ad un piccolo glossario per le abbreviazioni e le sigle più comunemente utilizzate durante la stesura della tesi, presentato nell'Appendice D; l'Appendice E mostra un classico esempio di file di *output* ottenuto in seguito all'ottimizzazione di un modello di giacimento utilizzando il metodo di *Tunneling*.