

I SISTEMI ESPERTI E IL MONDO DEGLI IMPIANTI COMPLESSI: UN ESEMPIO DI APPLICAZIONE

Laura Ferrari

Introduzione

Il presente lavoro analizza lo sviluppo di una applicazione mediante uno shell di Sistema Esperto per progettare il layout di impianti anche complessi, quali quelli dell'industria petrolchimica considerati nella loro varietà, costituiti da un elevato numero di apparecchiature. L'architettura che si formalizza nel tentativo di modellare l'approccio al problema viene, come caso prova, applicata ad un impianto unicracker e uno per la produzione di urea. Ciò rende necessaria una categorizzazione delle più tipiche e ricorrenti problematiche impiantistiche relative agli impianti complessi per costruire un corpo di regole di comportamento indispensabile per la gestione del sistema.

Il lavoro si articola in quattro fasi.

Nella prima si descrive come utilizzare uno shell di Sistema Esperto per lo sviluppo di una applicazione in termini di architettura, acquisizione della conoscenza e sua traduzione in regole formali, metodi di concatenamento delle regole di produzione.

Nella seconda si analizzano le problematiche relative alla progettazione degli impianti con particolare riferimento alla definizione del layout tipicamente visto come un problema multiobiettivo.

Nella terza parte si riporta l'architettura dell'applicazione sviluppata per disegnare il layout di impianti petrolchimici complessi, riferendosi alle problematiche e ai vincoli posti dalla particolare realtà impiantistica. Si sottolinea il metodo di acquisizione della conoscenza propria dell'esperto (nel caso specifico frutto della collaborazione con alcuni progettisti della Snamprogetti) e di traduzione delle informazioni ricevute in regole software da dare in input al sistema che deve elaborare la soluzione.

Nella quarta e ultima parte si presenta l'utilizzo dell'applicazione sviluppata in due casi reali e si confrontano le soluzioni fornite dal sistema con quelle disegnate dai progettisti, sottolineandone analogie e differenze.

Lo scopo che ci si pone è di definire in tempi brevi un layout di massima di un impianto anche complesso, che soddisfi i vincoli legati alle distanze di sicurezza fra le apparecchiature e agli spazi per la loro manutenzione e che ne minimizzi i costi di collegamento (*piping*). Il costo del piping, che è il 70% del costo dei materiali e che, a sua volta, costituisce il 50% del costo totale, rappresenta la voce più rilevante sulla quale sia possibile intervenire nella costruzione degli impianti petrolchirnici.

In una realtà impiantistica dove la competizione è spinta all'estremo e dove l'acquisizione o meno di una commessa dipende in larga parte dall'offerta iniziale, dal momento che il livello di professionalità e di affidabilità delle principali società di ingegneria è perlomeno confrontabile, diventa strategicamente importante poter disporre di un sistema che permetta di elaborare preventivi in tempi concorrenziali. Si può valutare facilmente il vantaggio che deriva, in fase di preventivazione, dal possedere un sistema in grado di fornire soluzioni a costo minimo in tempi brevi sia relativamente a nuovi impianti che in ristrutturazioni. Tutto questo difficilmente potrebbe essere ottenuto con un sistema di programmazione tradizionale in base a regole solo quantitative, mentre con un programma di intelligenza artificiale possono essere meglio rappresentati i ragionamenti umani.

Un'applicazione di questo tipo pare efficace dal momento che quando ci si trova a dover simulare l'approccio ai problemi che viene seguito da un esperto, è necessario disporre di un sistema molto flessibile che sia in grado di perseguire simultaneamente più obiettivi, di tornare a modificare le scelte già effettuate alla luce di nuovi sviluppi, e di adattare il proprio modo di ragionare in presenza di eventuali incongruenze con i vincoli che una realtà impiantistica normalmente presenta.

Il Sistema Esperto

Caratteristiche generali

Si sottolinea che nel seguito per Sistema Esperto (Expert System, ES) si intende il riempimento di una base di conoscenza per ottenere il quale è necessario utilizzare un ambiente di sviluppo chiamato "shell di sviluppo".

Il compito di un ES è quello di coadiuvare l'attività di utenze professionali nella soluzione di questioni che usualmente richiedono la consulenza di una persona con esperienza in una particolare e ristretta area applicativa; come l'esperto umano, tali sistemi mettono a disposizione la loro competenza, *expertise*, e la capacità di giudizio, permettendo di lavorare in modo soddisfacente per la soluzione di problemi specifici e limitando così all'indispensabile la presenza in loco di uno specialista. La funzione principale di un ES è, in buona parte dei casi, solo quella di un supporto decisionale da utilizzare sotto un attento controllo da parte dell'utente [Maio, Rizzi 1990].

Si evidenziano alcune caratteristiche che un ES deve possedere per svolgere correttamente il suo compito di simulazione di un esperto umano:

- * essere in grado di fornire una giustificazione delle conclusioni raggiunte, affinché l'utente possa avere un controllo sul funzionamento interno del sistema;
- * essere in grado di trarre conclusioni anche senza conoscere tutte le possibili informazioni, allo stesso modo in cui un medico è in grado di formulare una diagnosi senza conoscere i risultati di tutte le possibili analisi;
- * essere in grado, in caso di informazioni carenti, di dirigere l'acquisizione di nuovi dati in modo efficiente richiedendo all'utente con maggior sollecitudine quelli più significativi per il raggiungimento di una soluzione.

L'ambiente circostante

Gli ES operano in diversi ambienti di lavoro e la loro realizzazione comporta la cooperazione tra l'esperto della specifica area applicativa interessata e l'ingegnere della conoscenza che si occupa di acquisire, organizzare e rappresentare formalmente in modo appropriato il know-how del dominio dell'applicazione per la quale è necessario acquisire regole pratiche, strategie risolutive e conoscenza generale.

L'ingegnere della conoscenza decide quali delle conoscenze proprie dell'esperto possono essere automatizzate e delinea la conoscenza necessaria per gli scopi del caso specifico tramite interviste all'esperto stesso.

L'esperto del dominio è lo specialista nella risoluzione di problemi nell'ambito di un particolare settore applicativo e possiede una conoscenza pubblica, tratta da libri e teorie consolidate, ed una privata, sua propria, costituita da un bagaglio culturale di competenze, basato sull'esperienza di situazioni passate.

L'ulteriore personaggio destinato ad interagire con l'ES è l'utilizzatore che inserisce i dati relativi al caso specifico e le ipotesi con diverso grado di certezza, allo scopo di ricevere proposte di soluzione anche raggiunte attraverso un approccio interattivo con il sistema.

Architettura

Un ES è costituito da tre componenti fondamentali [Maio, Rizzi 1990]:

1. base di conoscenza;
2. motore inferenziale;
3. interfaccia uomo-macchina.

La base della conoscenza (*Knowledge Base*: KB) è il modulo che raccoglie la conoscenza sul dominio tenendola separata da altri tipi di conoscenza come quella generale necessaria a risolvere problemi espressi in un certo formalismo o la conoscenza su come comunicare con l'utente.

Poiché la KB è strutturata come un modulo separato, può facilmente essere adoperata per vari scopi: prendere decisioni, costruire spiegazioni, organizzare corsi di addestramento (con l'ES come tutor); per questo motivo la conoscenza deve essere Utilizzata nel modo più generale possibile per non limitare alcun tipo di utilizzo. Più in dettaglio, la KB può essere suddivisa in due blocchi:

- memoria temporanea,
- memoria a lungo termine.

La memoria temporanea contiene la conoscenza dichiarativa o asserzionale su un particolare problema da risolvere e la situazione corrente del tentativo di soluzione [Levine 1987].

Nella memoria a lungo termine sono contenute le dipendenze o relazioni tra i fatti elementari, espresse sotto forma di regole o di altro tipo di rappresentazione della conoscenza.

Il motore inferenziale è il modulo che utilizza la KB per cercare le risposte ad un problema e fornire spiegazioni; il suo compito è quello di decidere quale frammento della conoscenza utilizzare, istante per istante, nel processo di soluzione di un problema. All'interno di un motore inferenziale di un ES, in cui la conoscenza è rappresentata mediante regole di produzione, vi sono lo *schedulatore* e l'*interprete*. Lo *schedulatore*, applicando una opportuna strategia che determini un ordine di priorità, provvede a schedulare l'ordine delle azioni che devono essere eseguite; l'*interprete* ha il compito di eseguire l'azione prescelta dallo schedulatore applicando la relativa regola della base di conoscenza [Maio, Rizzi 1990].

L'interfaccia uomo-macchina deve permettere, da una parte, all'utente finale, anche privo di conoscenze informatiche, di utilizzare il sistema implementato in modo semplice e naturale e,

dall'altra, all'esperto di seguire agevolmente l'introduzione della conoscenza e il suo successivo aggiornamento, nonché di verificare la corretta formulazione delle regole all'interno del sistema [Jackson 1988].

Rappresentazione della conoscenza

Tra i vari aspetti della conoscenza che si possono considerare si distingue innanzitutto una conoscenza pubblica, tratta da libri e teorie, che riguarda le leggi fondamentali che governano i meccanismi funzionali del problema da risolvere, e in secondo luogo una conoscenza privata, propria dell'esperto, costituita da un bagaglio culturale di competenze ricco di risposte già pronte e di situazioni che gli si sono già presentate durante la sua carriera professionale. Il compito fondamentale degli ES è di riuscire a catturare dall'esperto in particolar modo questo tipo di conoscenza e a compiere deduzioni su essa [Maio, Rizzi 1990].

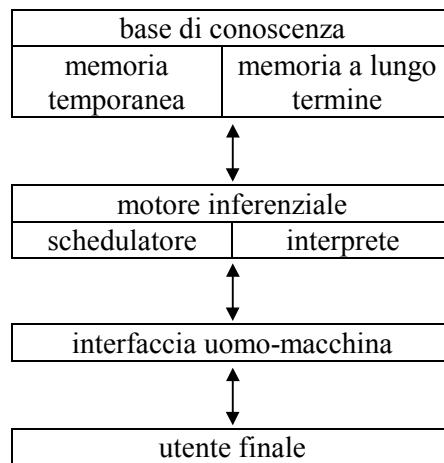


Fig. 1 - Relazioni fra gli elementi che interagiscono per lo sviluppo di un'applicazione partendo da uno shell di Sistema Esperto

La conoscenza di cui si dispone viene rappresentato nella KB di un ES nella forma di regole, dette "di produzione". Le regole di produzione sono configurate attraverso dichiarazioni composte da due parti che incorporano ciascuna una porzione di conoscenza. La prima parte di una regola, detta *antecedente*, esprime una situazione o una premessa, mentre la seconda, detta *conseguente*, esprime la conclusione che deve essere applicata se la situazione o la premessa è vera. La sintassi generale di una regola è la seguente:

SE <antecedente> ALLORA <conseguente>

L'antecedente di una regola rappresenta la condizione che deve verificarsi per poter intraprendere l'azione contenuta nella parte conseguente.

Questa rappresentazione offre notevoli vantaggi quali la facilità nel generare e comprendere la conoscenza, la leggibilità e la modularità. Ciascuna regola, per essere applicabile nel caso in esame, deve essere confrontata con un insieme di fatti che rappresentano la conoscenza attuale sul caso corrente e deve essere soddisfatta dai suddetti fatti; le regole candidate per la soluzione del problema posto si ottengono confrontando l'antecedente di ogni regola con i vari fatti presenti nella memoria temporanea (questa operazione è detta di *matching*).

Quando l'antecedente è soddisfatto tramite matching, le azioni indicate dal conseguente possono essere eseguite andando ad influenzare l'esterno. L'operazione di matching genera delle catene di regole, dette catene inferenziali, che si verificano l'una di conseguenza all'altra e che indicano il modo in cui il sistema utilizza le regole per effettuare nuove inferenze e permettono di dare all'utente una spiegazione su come l'ES giunga a certe conclusioni.

Due sono i metodi comunemente usati per generare delle catene inferenziali:

1. Concatenamento in avanti (*forward chain*)
2. Concatenamento all'indietro (*backward chain*)

Il primo metodo arriva ad una conclusione partendo dai dati iniziali del problema e applicando le regole di produzione in avanti; il secondo utilizza un processo di riduzione a sotto problemi: parte da un obiettivo (*goal*) e cerca di dimostrare la coerenza con i dati iniziali applicando le regole di produzione all'indietro.

Fasi di sviluppo per la progettazione di un ES

Le fasi di sviluppo che si individuano nella progettazione di un ES, distinte concettualmente ma nella realtà strettamente interdipendenti, sono le seguenti:

Identificazione: l'ingegnere della conoscenza, in collaborazione con l'esperto, determina le caratteristiche del problema individuando i fattori che contraddistinguono la specifica area applicativa ed evidenziando i requisiti richiesti alla soluzione; viene inoltre stabilita in linea di massima la strategia da adottare per ottenere la conoscenza necessaria dall'esperto per il processo di risoluzione;

Concettualizzazione: vengono discussi concetti, relazioni tra oggetti e meccanismi di controllo necessari per l'implementazione del processo di risoluzione, nonché gli eventuali sottoprocessi e condizioni collegati al problema principale; si formalizza la conoscenza acquisita dall'esperto tramite interviste e questionari;

Formalizzazione: le conoscenze acquisite e organizzate durante la fase precedente vengono trascritte utilizzando un formalismo concordato; in stretta correlazione con la scelta del formalismo di rappresentazione avviene la scelta del tool di sviluppo da utilizzare;

Realizzazione: allo scopo di verificare la reale adeguatezza dell'ES agli obiettivi prestabiliti, si realizza un prototipo che verrà testato durante la successiva fase;

Collaudo: si verifica l'utilità del prototipo e la sua corrispondenza ai requisiti prefissati esaminandone criticamente le prestazioni; si discutono eventuali modifiche da apportare al sistema per passare alla fase di implementazione del prodotto finale [Maio, Rizzi 1990].

Acquisizione e analisi della conoscenza

Per acquisizione della conoscenza si intende il lavoro di traduzione della conoscenza dell'esperto in una forma strutturata direttamente implementabile all'interno dell'ES. Questa fase nella maggior parte dei casi costituisce il vero collo di bottiglia dal momento che risulta difficile comprendere ed esprimere in maniera rigorosa le conoscenze che vengono fornite dall'esperto in modo spesso ambiguo e poco chiaro.

Affinché tutto si svolga correttamente, è necessario un processo di acquisizione della conoscenza basato sull'interazione proficua delle tre figure fondamentali, esperto del dominio, ingegnere della conoscenza, utilizzatore, che devono essere in grado di mettere a disposizione le loro competenze con lo scopo di collaborare alla creazione della base di conoscenza.

Definizione dell'interfaccia utente

Per ottenere un buon risultato nel momento in cui si progetta un ES è molto importante curare che l'interfaccia sia amichevole e che il dialogo avvenga in modo semplice ed intuitivo senza errori di interpretazione.

Il sistema è in grado di comunicare informazioni all'utente in linguaggio naturale, semplicemente visualizzando sullo schermo o sulla stampante opportuni messaggi; l'utente può fornire dati al sistema o introducendo tramite la tastiera frasi in linguaggio pseudonaturale o effettuando scelte su appositi menu.

L'ovvio vantaggio dal punto di vista dell'utente del dialogo in linguaggio naturale è la sua immediatezza rispetto alla schematicità e artificiosità della comunicazione tramite menu. Per contro, la realizzazione di un interprete evoluto di un linguaggio pseudonaturale è piuttosto complessa, mentre un'interfaccia a menu risulta di semplice costruzione.

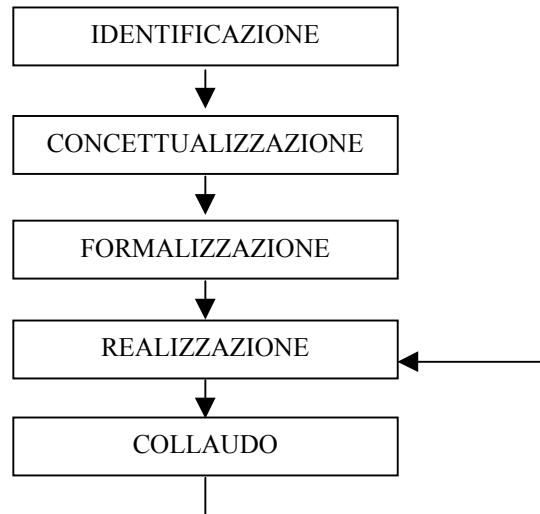


Fig. 2 - Rappresentazione schematica delle fasi di sviluppo di un Sistema Esperto

Il layout di impianto

Introduzione

Nel momento in cui si inizia ad affrontare il problema della sistemazione dei componenti di un impianto all'interno di un'area stabilita, è necessario trattare le problematiche riguardanti il layout nel suo complesso.

Bisogna innanzitutto precisare che per "layout di un impianto", o *plant layout*, si intende il processo di ricerca e pianificazione delle relazioni funzionali fra uomini, apparecchiature, flussi di materie prime, semilavorati e prodotti finiti. Lo studio che conduce alla definizione del layout come risultato finale dovrebbe intendersi compenetrato con tutte le altre fasi della progettazione e rappresentarne l'elemento di unione. Il problema della definizione di un corretto layout per un impianto è un problema molto oneroso che investe anche tutti gli aspetti relativi alla gestione del sistema impresa come, ad esempio, la programmazione della produzione.

E' universalmente accettato che, nel momento in cui ci si scontra per la prima volta con un problema di questo tipo, è necessario affrontare una serie di passi che sono, almeno in larga parte, consolidati.

Tra i principali, si ricordano:

- analisi ed attenzione particolare per la tecnologia adottata;
- analisi delle operazioni dei flussi di materiale e dei collegamenti fra le varie zone;
- determinazione della potenzialità dei mezzi produttivi e dell'estensione delle aree per ogni attività;

- ° disposizione delle aree secondo criteri basati, ad esempio, sulle relazioni esistenti fra le varie zone.

La tendenza è quella di mirare all'utilizzo di tecniche di Ricerca Operativa quali:

- la teoria delle code;
- la simulazione;
- tecniche basate su procedimenti euristiche e di ricerca automatica della disposizione relativa fra le diverse zone.

Motivazioni e limiti dello studio del layout

La caratteristica fondamentale che sta alla base di tutte le tipologie di layout è che ci si trova sempre di fronte ad un problema multi obiettivo; le conflittualità che si vengono a creare sono così profonde da non potere ricercare la soluzione ottima, ma soltanto quella ottimale.

Come esempio di quanto detto, basti pensare al fatto che dalla disposizione corretta delle macchine in uno stabilimento dipendono direttamente sia la riduzione delle spese per i trasporti interni, che, ad esempio, il migliore sfruttamento dello spazio a disposizione, o la semplificazione del controllo della produzione e della programmazione, o il miglioramento delle condizioni di lavoro dei dipendenti, o una riduzione del pericolo di infortuni.

L'ostacolo più grande che si incontra nello studio del layout è di valutare in modo immediato e corretto questi vantaggi, anche se appare evidente che la funzionalità e la ricerca di una buona organizzazione, che stanno alla base di ogni studio di layout, hanno un'influenza notevole, ad esempio, sul rendimento del personale e dell'impianto stesso.

Con problematiche così complesse ben si inserisce la possibilità di utilizzare un ES che è in grado di gestire sia informazioni qualitative che quantitative e di immagazzinare la conoscenza acquisita e metterla a disposizione di un utente non esperto [Gupta, Ghosh 1989].

Sintesi sull'approccio al problema del layout

Il problema del layout non ha trovato per molto tempo una valida soluzione se non dopo l'introduzione delle teorie di organizzazione del lavoro di Taylor che hanno portato ad una realizzazione perfino meccanicistica dello stesso, con la conseguente snaturalizzazione dell'uomo a fronte di una struttura ottimale dal punto di vista strettamente organizzativo.

Lo studio del layout (dal momento in cui la società di ingegneria vince la commessa al momento in cui l'impianto viene consegnato al committente) attraversa diverse e molteplici fasi. Va, innanzitutto, precisato, che non esiste una sola e unica procedura che possa essere applicata

ad ogni tipo di layout, perché la varietà e la particolarità dei problemi che di volta in volta vanno affrontati è molto alta.

Si cerca di definire una procedura che abbia un carattere il più generale possibile riferendosi alla sequenza di fasi dello schema delineato in precedenza:

1. analisi del processo produttivo: analisi degli articoli prodotti, dei flussi di materiale, delle interrelazioni fra le aree di attività;
2. visualizzazione dei flussi e dei legami fra le zone di attività;
3. determinazione delle superfici utilizzabili per l'impianto;
4. preparazione di schemi a blocchi di disposizione delle apparecchiature;
5. valutazione delle possibili alternative;
6. scelta e stesura del layout dettagliato;
7. realizzazione del layout.

Le prime sei fasi della sequenza descritta rientrano sotto il termine di *studio di fattibilità*.

Studio di fattibilità per la realizzazione o la modifica del layout d'impianto

Nel momento in cui ci si prepara a disegnare il layout di un impianto o ad attuare modifiche integrazioni di impianti già esistenti, si effettua una serie di analisi e di valutazioni preliminari che sono indicate con il termine di *studio di fattibilità*. Tale studio è di importanza fondamentale per le attività economiche e costituisce il primo passo di tutte le fasi che portano alla realizzazione dell'impianto.

Lo studio di fattibilità è anche una componente particolarmente critica per la buona riuscita dell'iniziativa esaminata dal momento che è quella parte della progettazione di un impianto in cui è possibile commettere gli errori più gravi e più difficilmente rimediabili.

Un'ulteriore caratteristica dello studio di fattibilità è il fatto di essere eseguito sempre prima di prendere qualsiasi decisione esecutiva, esso può essere formalizzato come attività autonoma o meno e può essere effettuato in modo più o meno accurato, più o meno esteso, più o meno analitico e va sviluppato con gradualità.

Durante lo studio di fattibilità, l'imprenditore è combattuto fra due tendenze contrarie:

1. una che aspira allo studio di fattibilità più completo e perfetto, per il maggiore supporto possibile alle sue decisioni;
2. un'altra volta a contenere il più possibile il grado di sviluppo dello studio stesso per ridurne i costi che sono totalmente a carico dell'imprenditore.

Esistono almeno due tipi di studio di fattibilità, l'uno per la realizzazione di impianti ex novo, più oneroso e più rischioso, l'altro per valutare l'ampliamento o la sostituzione solo di una

parte di impianto, ove si deve tenere conto solo delle spese più alte di esercizio da paragonare con i costi di impianto per giustificare l'investimento, mentre si può prescindere da considerazioni di studio di mercato o di altro tipo. L'ampliamento o la sostituzione, inoltre, possono sfruttare marginalità esistenti.

Entrambi questi tipi di studio di fattibilità, però, con le loro differenze intrinseche, devono rispettare rigorosamente le esigenze di carattere finanziario, ossia definire le fonti e le modalità di finanziamento. Per quanto riguarda le previsioni del risultato economico e i rischi connessi con un'errata valutazione, va sottolineato che, nel caso di ampliamento o di sostituzione, sono sicuramente minori di quelli connessi con la valutazione di un impianto completamente nuovo.

E' evidente che uno strumento capace di interagire con i progettisti e di fornire in tempi brevi soluzioni di massima a questi problemi può essere un valido aiuto in sede di preventivazione. L'aspetto rilevante dell'implementazione di un ES sta nella possibilità del sistema di fare tesoro delle esperienze passate e di immagazzinare conoscenza. Questa può essere riutilizzata tutte le volte che si apportano alla struttura modifiche di ogni genere [Gupta 1990].

Definizione dell'utilizzazione del Sistema Esperto

Introduzione

Nella definizione del layout di un impianto è possibile utilizzare un ES, strutturato con una base di conoscenza formalizzata a priori che si aggiorna dinamicamente, almeno in fase di formulazione di una proposta per l'acquisizione di una commessa. Nel momento stesso in cui il cliente presenta al Project Manager una richiesta d'offerta, questi si trova a dover eseguire un progetto di massima in tempi brevi che definisca con buona approssimazione il costo dell'impianto commissionato. La buona riuscita dell'affare è espressa anche dalla congruenza tra stima effettuata e costo finale effettivo.

Il sistema può risultare un valido supporto per prevedere precisamente i costi che andranno sostenuti.

La fase successiva è quella di strutturazione e formalizzazione della conoscenza in modo tale da generare un corpo di regole che gestisca e analizzi le procedure di definizione del layout.

Il "riempimento" della base di conoscenza

Per poter utilizzare un Sistema Esperto è necessario introdurre delle regole che descrivano l'insieme delle conoscenze acquisite dall'esperto.

Il problema si presenta nel momento in cui si tenta di tradurre in procedure logiche non tanto le nozioni tecniche quanto le intuizioni, il know how ed il modo di articolare l'insieme delle conoscenze.

Per raggiungere questo scopo è consigliabile adottare la tecnica dell'intervista, che consiste nel porre l'esperto umano davanti ad un problema sul quale gli vengano rivolte domande dapprima generiche e successivamente sempre più specifiche, in modo tale che sia costretto a ripercorrere criticamente i criteri da lui stesso utilizzati per risolvere il problema (di tipo induttivo/deduttivo). La procedura va iterata seguendo una gradualità nella specificità delle domande poiché quelle che comportano maggiori difficoltà sono proprio quelle formulate dai meno esperti che non dispongono delle conoscenze tecniche specifiche.

Questo tipo d'approccio è interattivo. Dapprima l'esperto trova difficoltà nel giustificare tutte le scelte fatte e spesso non è in grado di sostenerle con valide argomentazioni se non trincerandosi dietro il fatto che sono scelte ormai consolidate dall'esperienza maturata negli anni dall'azienda in quel settore, mai rivisitate o messe in discussione a causa soprattutto delle esigenze di produzione e di rispetto dei termini dell'offerta.

In un secondo tempo, incalzato da domande puntuali, riesce a far emergere i passi che segue nel procedimento decisionale. E' l'intervistatore che, a fronte della sua esigenza di ridurre la conoscenza in informazioni aggregate, deve rappresentare la conoscenza dell'esperto con degli schemi logici che si dovrebbero adattare alle necessità di un sistema software.

L'ostacolo più grosso che incontra chi deve formalizzare la conoscenza per "riempire" la KB di un ES è quello di trovarsi a mediare tra due nature antitetiche e contrapposte. Da una parte vi è quella dell'esperto umano che si serve di una conoscenza disaggregata, ma capace di sintesi, e dall'altra quella del sistema software che ha bisogno di informazioni analitiche, aggregate e semplificate per poter elaborare le sue soluzioni. E' compito dell'intervistatore riuscire a trovare un accordo fra queste visioni opposte e a far in modo che la collaborazione diventi preziosa anche per l'esperto cosicché possa razionalizzare il proprio modo di approcciare i problemi.

Si considera nel seguito il caso della collaborazione con la sezione TUB della Snamprogetti per acquisire la base di conoscenze relativa alla riconfigurazione del layout di impianti petrolchimici. Tutte le informazioni ricevute attraverso una serie di analisi condotte su planimetrie già esistenti con l'ausilio di alcuni progettisti sono state tradotte in regole utilizzate come input per il sistema software.

L'architettura logica

Si riporta la procedura di posizionamento delle apparecchiature all'interno di una planimetria assegnata, mediante regole di priorità e funzioni, che viene definita per risolvere il caso specifico di progettazione del layout di impianti petrolchimici complessi.

Una volta in possesso delle conoscenze da implementare nel sistema, si elencano le macchine presenti nell'impianto, per effettuare le aggregazioni richieste dal processo.



Fig. 3 - Rappresentazione dell'approccio seguito

Si crea dapprima il corpo di regole necessarie per generare la sequenza delle apparecchiature che costituisce l'input per la fase di allocazione e poi quello per allocare fisicamente le apparecchiature all'interno della planimetria assegnata.

Le macchine

Il primo passo che si considera è il prendere visione di una planimetria reale all'interno della quale siano presenti più apparecchiature di tipologie diverse. Dal momento che è difficile e dispendioso risolvere in maniera deterministica il problema dell'allocazione delle apparecchiature all'interno della planimetria, esaminando individualmente tutte le possibili combinazioni, perché il tempo di esecuzione di un ES cresce esponenzialmente con il numero di elementi che si considerano, si opta per una aggregazione di più macchine considerate come una sola con coerenza e motivazioni logiche.

Dai colloqui con i progettisti, emerge la possibilità di aggregare le macchine o per ragioni di processo o per ragioni di funzionalità. Le prime prevedono l'aggregazione di macchine in cascata che sono percorse dal flusso prodotto in sequenza per minimizzare il costo dei collegamenti, mentre le seconde rispondono ad un diverso insieme di esigenze quali, ad esempio, quella di rendere agevole la manutenzione.

Questa operazione di riduzione degli elementi da considerare va fatta tenendo conto dei vincoli di spazio disponibile che si hanno in base alla singola planimetria che si considera.

Il passo successivo è definire un approccio di allocazione che tenga conto soltanto dei risultati di queste aggregazioni (macchine complesse da dare come input al sistema software).

Fra queste possibili configurazioni, quelle che presentano i costi di collegamento reciproci maggiori sono allocate seguendo un approccio deterministico, mentre per le restanti si è previsto un sistema interattivo di interfaccia con l'utente che deve scegliere quale sia la posizione migliore nel rispetto dei vincoli di sicurezza e di non sovrapposibilità dei corpi.

Altro aspetto importante è quello della spazialità dell'impianto. In tutte le considerazioni svolte si parla di aree da occupare, mai di volumi.

E' necessario trascurare la terza dimensione poiché, il sistema, caricato con regole per minimizzare la distanza fra le apparecchiature in relazione ai collegamenti più costosi, potrebbe allocare le une sopra le altre. Per rispettare la condizione di bidimensionalità si rappresentano le macchine mediante rettangoli.

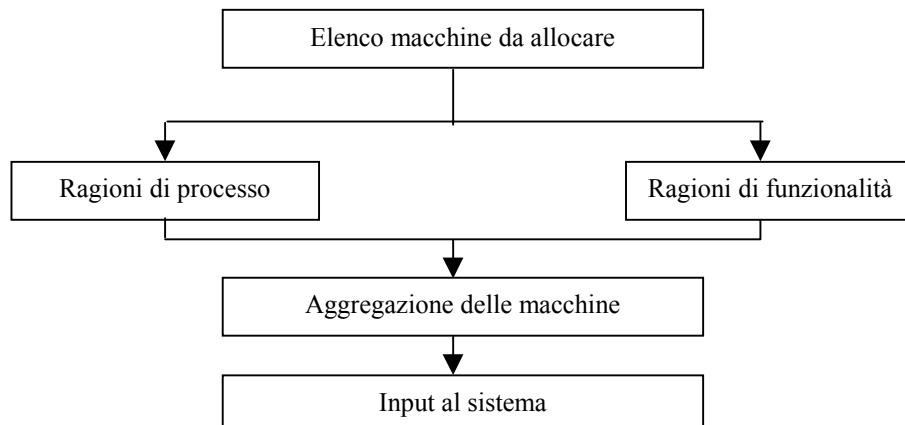


Fig. 4 - Rappresentazione dell'approccio di definizione delle aggregazioni di macchine da allocare

La sequenza

Il caso che si esamina prevede la possibilità di allocare le macchine complesse seguendo un ordine, ossia una sequenza generata sulla base di regole che tengano conto dei vincoli di priorità. Questi vincoli possono essere molteplici e modificati a seconda della necessità in modo tale da ottenere politiche di posizionamento diverse.

Il vantaggio di utilizzare un Sistema Esperto è di poter considerare contemporaneamente priorità in ambiti differenti oppure di poter scegliere, una volta che tutte le regole sono state caricate, quelle che appaiono più consone al caso specifico. Quando si studia il layout di un comune locale, bisogna spesso far riferimento anche ad un severo vincolo di sfruttamento della superficie. Nella realtà degli impianti petrolchimici quest'ultimo aspetto non risulta stringente e

la scelta viene effettuata dal programma attraverso un sistema di regole strutturate sulla base di due tipi di priorità fondamentali:

1. esigenze di processo;
2. vincoli di minimizzazione del costo dei collegamenti.

Prima di tutto vanno rispettate alcune esigenze di processo che prevedono di occupare sempre le prime posizioni della sequenza con le stesse macchine che vanno necessariamente poste in cascata.

In secondo luogo si considerano i vincoli di costo e si fa in modo di ordinare le apparecchiature minimizzando i collegamenti fra le stesse e con quelle che le precedono nella lista, dal momento che si è scelto di considerare i costi del piping (riferiti all'unità di lunghezza).

Questa scelta delle priorità da considerare è stata dettata dalle esigenze proprie del settore impiantistico del caso in esame: l'industria petrolchimica. I progettisti di questo settore si trovano quotidianamente ad avere a che fare con progetti per i quali sono fissati sia i costi delle singole apparecchiature che quelli della manodopera specializzata e a poter utilizzare, come leva competitiva per acquisire la commessa, la minimizzazione del costo del piping.

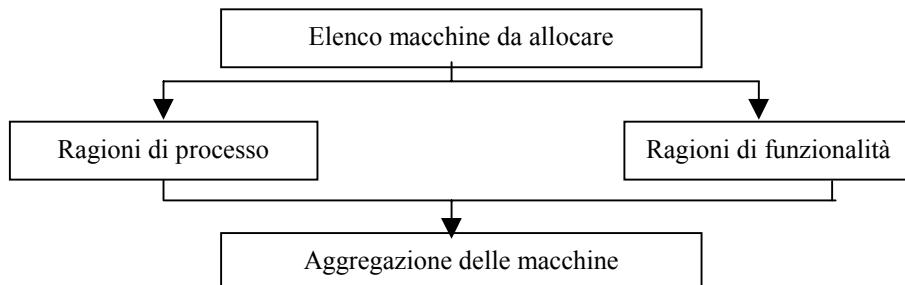


Fig. 5 - Rappresentazione dell'approccio di definizione della sequenza di allocazione

Il posizionamento

Una volta ottenuta la sequenza di allocazione delle apparecchiature da dare in ingresso al sistema, si deve procedere al posizionamento delle stesse. Questo viene deciso da un insieme di regole le quali, prendendo in ingresso la sequenza e analizzandola sulla base di vincoli di sicurezza e manutenzione, stabiliscono fisicamente la posizione delle singole macchine complesse sulla planimetria. Queste regole di posizionamento sono strutturate su due livelli di problematiche in ordine di importanza crescente:

1. manutenzione;
2. sicurezza.

Quando si va a progettare e a disegnare una planimetria bisogna calcolare le distanze di sicurezza da rispettare fra le varie apparecchiature sulle quali non è possibile raggiungere compromessi, ma che vanno considerate integralmente. Solo in seconda battuta si stabiliscono gli spazi di percorribilità e manutenzione i quali, pur non avendo importanza nella prevenzione degli infortuni, hanno un grande peso sui costi connessi all'esercizio dell'impianto. In particolare, essi influenzano i costi di mancata produzione dovuti alle operazioni di manutenzione. Ad esempio, nel caso di una turbina a gas che deve essere revisionata dopo 10.000 ore di funzionamento, la rapidità delle operazioni di montaggio e smontaggio risulta determinante.

Se in un progetto si prevede subito un'espansione che porterà ad utilizzare, ad esempio, all'interno dell'impianto stesso una gru di dimensioni maggiori di quella prevista, è opportuno che fin da subito si dimensionino i corridoi di percorribilità in relazione alla gru che verrà impiegata anche se l'acquisto è conveniente rinviarlo a quando sarà necessario.

E' importante progettare gli spazi necessari con anticipo per evitare spiacevoli conseguenze relative alla mancanza di spazio fisico sufficiente per operare.

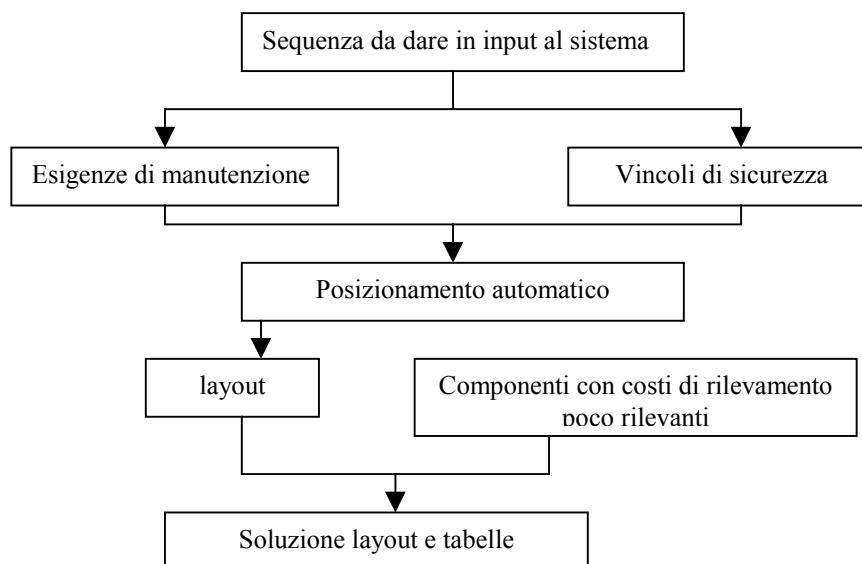


Fig. 6 - Rappresentazione dell'approccio di definizione della sequenza di posizionamento

Il corpo di regole descritto presenta il vantaggio notevole di essere completamente svincolato da quello per la generazione della sequenza. Questa caratteristica assume un'importanza fondamentale in quanto permette di fare scegliere all'utente la sequenza migliore da dare in input al sistema, mentre le regole di posizionamento si limitano ad intervenire solo in un secondo tempo. Un piccolo insieme di queste è in grado di gestire molteplici sequenze organizzate su criteri di priorità diversi.

Nulla però vieta, in altre circostanze, di ottenere sequenze completamente diverse introducendo priorità differenti quali, ad esempio, la necessità di collocare per prime le apparecchiature più costose o le più ingombranti e così via.

Il funzionamento del sistema

La procedura per l'allocazione

Il funzionamento del sistema prevede un corpo centrale costituito da una serie di funzioni legate fra loro che hanno lo scopo di definire:

1. il numero delle apparecchiature diverse da inserire nella pianta;
2. il numero di apparecchiature per ogni tipo;
3. le dimensioni dei rettangoli, con cui vengono rappresentate le macchine (a partire dalle dimensioni delle singole componenti, tenendo conto di coefficienti per gli spazi di percorribilità, di accesso e di manutenzione per le apparecchiature che vengono aggregate in un solo rettangolo).

Una volta noto il numero e il tipo di macchine semplici che compongono la planimetria e il corrispondente numero e ingombro delle macchine complesse il sistema procede a:

1. compilare le tabelle dei costi e dei posizionamenti;
2. concatenare le regole che generano la sequenza di posizionamento e quelle che posizionano fisicamente le apparecchiature;
3. generare la soluzione sia grafica che analitica.

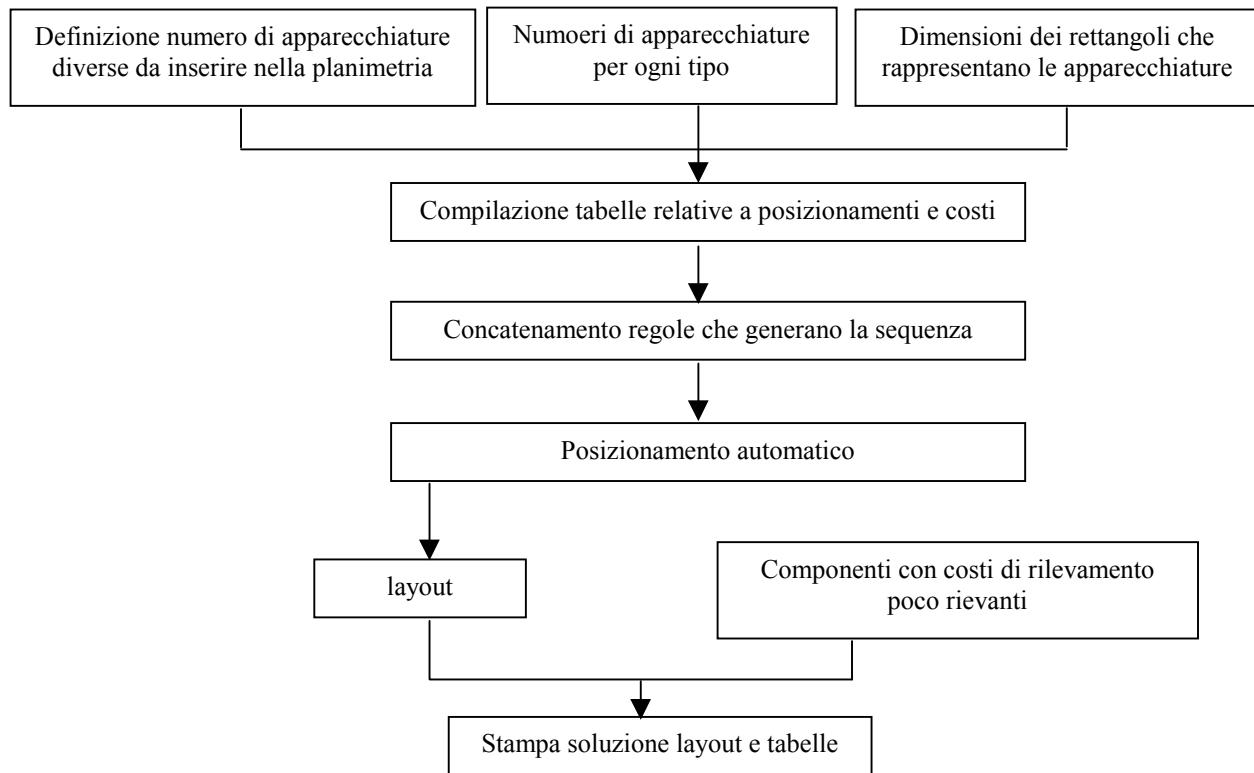


Fig. 7 - Rappresentazione dell'approccio da seguire nella definizione del funzionamento del sistema

Se la risposta è affermativa allora il concatenamento dà come risultato TRUE e il rettangolo viene giustamente allocato; se la risposta è negativa il risultato del concatenamento è FALSE e il rettangolo non viene allocato.

La funzione di costo

Il calcolo del costo del piping viene eseguito come prodotto dei coefficienti di costo unitari relativi alle varie apparecchiature per la distanza, fra i centri dei rettangoli calcolata come somma di un segmento orizzontale e di uno verticale, ossia dei due cateti del triangolo virtuale che è possibile tracciare fra i due rettangoli (cfr. Figura 8). Essi vengono presi in sostituzione della linea più breve (l'ipotenusa del triangolo stesso), per rispondere all'esigenza di collegare le apparecchiature con componenti standardizzati (ad esempio, gomiti a 90°).

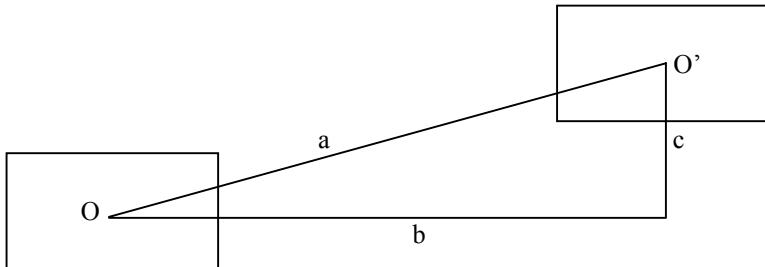


Fig. 8 - Semplificazione del calcolo della lunghezza del collegamento fra due apparecchiature

Le coordinate di questi centri durante il concatenamento delle regole che definiscono il posizionamento, vengono riportate nella tabella ove sono descritti anche tutti i coefficienti di costo che successivamente verranno letti dal sistema al momento del calcolo. I costi di collegamento fra le apparecchiature che vengono aggregate per dare luogo ad una nuova macchina complessa non vengono trascurati, bensì considerati come fissi, poiché le distanze relative vengono congelate e sommate al costo proprio delle apparecchiature.

Questo, però, esula dal caso in esame nel quale ci si è limitati a considerare solo i costi di piping perché rappresentano la leva competitiva più rilevante. Questo tipo di approccio del problema, pur non potendo portare alla soluzione ottima, è almeno in grado di fornire una ottimale che potrà via via essere migliorata dall'esperto che, partendo da questa, si applichi per modificarla e integrarla con gli elementi che il sistema non prende in esame.

Applicazioni dei sistemi a casi reali

Introduzione

L'applicazione sviluppata utilizzando lo shell di ES KAPPA, caricata con la base di conoscenza elaborata sulla base delle nozioni acquisite dagli esperti della Snamprogetti attraverso interviste successive e tradotte in regole di produzione, è stata provata su due tipi di impianti esistenti: un impianto di unicraker e uno per la produzione di urea. Lo scopo era di verificare la affidabilità dell'applicazione: quanto più la soluzione elaborata dal sistema si avvicina a quella dei progettisti, tanto più è possibile credere che la conoscenza sia stata trasmessa correttamente dall'esperto del dominio all'ingegnere e che questi abbia tradotto bene le informazioni ricevute in regole software da dare in input al sistema. Si sono confrontate la soluzione semplificata disegnata dai progettisti (si è considerato un numero ridotto di apparecchiature) con quella elaborata dal sistema e si sono analizzate analogie e differenze riscontrate.

Impianto Unicracker

Il sistema è stato applicato inizialmente per riprogettare un impianto unicracker esistente, che consente di ottenere benzine ad alto numero di ottani partendo da cariche costituite principalmente da gasoli pesanti, composto da nove tipologie di apparecchiature diverse per un totale di 84 componenti, disposti su un'area di 4352 m² che si estende prevalentemente in lunghezza e orientata da Nord verso Sud. L'impianto esistente è rappresentato schematicamente in Figura 9 con gli stessi rettangoli che vengono disegnati dal programma; nelle Figure è possibile distinguere otto tipologie di apparecchiature diverse:

1. forni (F);
2. reattori (R);
3. batteria degli scambiatori (SC);
4. miscellanea (VMB);
5. batteria delle pompe (PB);
6. compressori (CP);
7. batteria di colonne (CB);
8. tettoia pompe (TP).

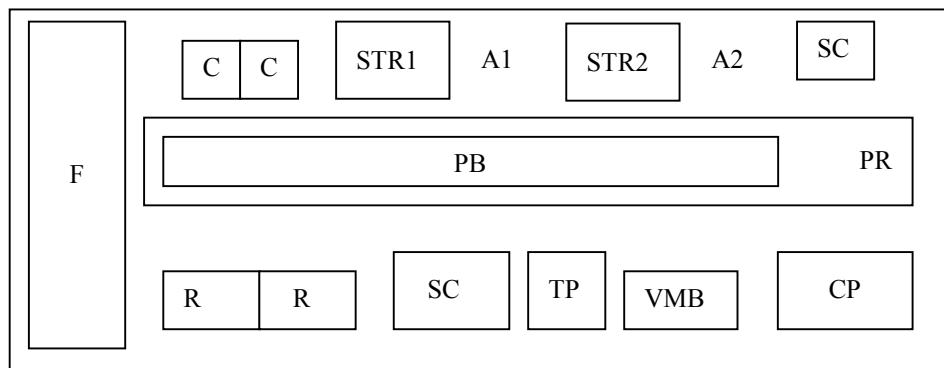


Fig. 9 - Aggregazioni effettuate del layout esaminato. Si possono evidenziare i seguenti tipi di apparecchiature e strutture fisiche: forni (F), reattori (R), pipe rack (PR), batteria pompe (PB), scambiatori (SC), tettoia pompe (rP), batteria vessel (VMB), compressori (CP), struttura 1 e 2 (STR 1 e 2), arca 1 e arca 2 (A1 e A2)

Se si tralasciano alcuni componenti presenti nella planimetria reale e si considera solo l'elenco sopra riportato, è possibile osservare (Figura 10), la planimetria elaborata da sistema caricato con le regole sopra descritte. Si nota come le approssimazioni considerate per poter tradurre in regole la conoscenza dell'esperto siano esatte.

Gli scostamenti dalla planimetria reale sono dovuti al fatto che il sistema non tiene conto di tutti i vincoli quantitativi, ma soprattutto qualitativi, che spingono i progettisti, ad esempio, ad isolare il capannone dei compressori (C) per motivi di inquinamento acustico.

La differenza non significativa che si è riscontrata rispetto alla disposizione reale, però, sottolinea il fatto che la base di conoscenza appresa dagli esperti della Snamprogetti è stata ben strutturata ed analizzata per poter essere data in input al sistema che ha funzionato proprio come un esperto del settore.

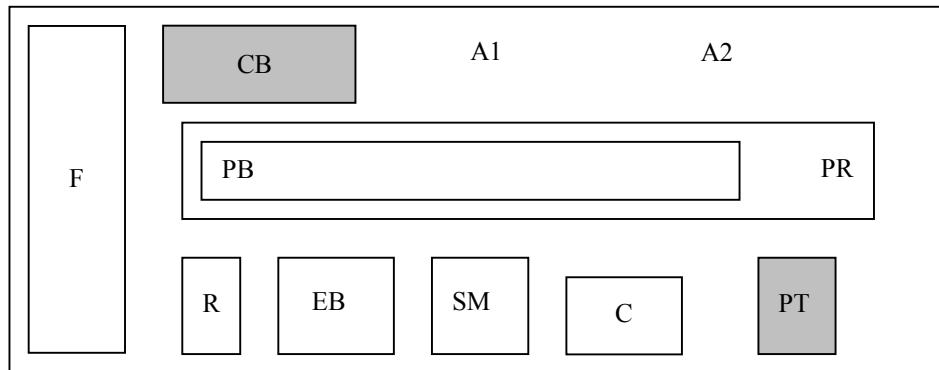


Fig- 10 - Output del programma di calcolo del primo caso. Si noti che la posizione del capannone compressori (C) risulta modificata rispetto alla planimetria reale

Verifica delle ipotesi di disaggregazione

La Figura 11 mostra la disaggregazione effettuata, per verificare la validità dell'avere ipotizzato, che la vicinanza delle colonne fosse dettata da esigenze di processo. Si considerano le medesime come entità separate in:

- batteria colonne (CB);
- colonna (CL).

Dalla planimetria in output si può osservare come la singola colonna (CL) risulti posizionata nelle immediate vicinanze della batteria. Questo permette di concludere che l'approssimazione fatta può essere considerata esatta.

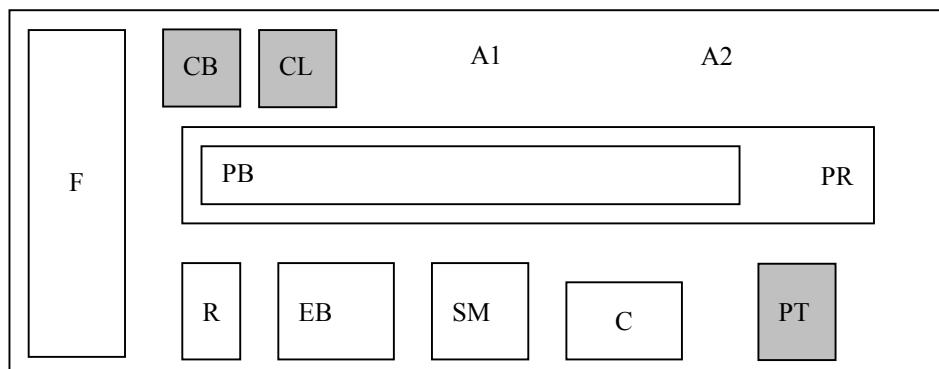


Fig. 11 - Output del programma di calcolo del secondo caso. Si notino le posizioni reciproche . delle due colonne (CL e CB) considerate volutamente disaggregato

Analogamente, nella Figura 12, si può verificare come sia stato corretto aggregare due pompe in una sola macchina complessa, questa volta non per esigenze di processo, ma per semplificare il calcolo dello spazio necessario per la manutenzione e per minimizzare l'arca d'ingombro.

Le due pompe (P) e (PT) vengono posizionate ancora una volta dal Sistema il più vicino possibile, nel rispetto dei vincoli di sicurezza, per poter minimizzare i costi di collegamento.

I risultati ottenuti caricando il sistema con le regole apprese si sono discostati solo in minima parte dalla planimetria reale e ciò ha dimostrato la corretta traduzione della conoscenza acquisita in regole software.

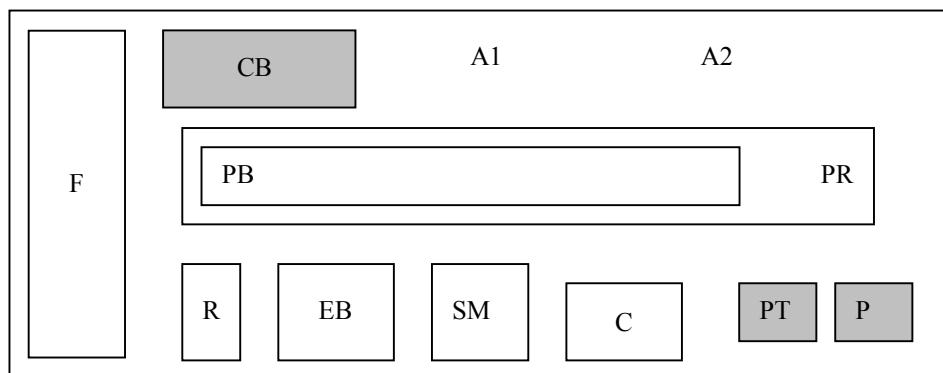


Fig. 12 - Output del programma di calcolo del terzo caso. Si notino le posizioni reciproche delle due pompe (P e P7) considerate volutamente disaggregate

Analisi dei costi

Nella Tabella 1 sono riportati i valori dei costi unitari e, nell'ultima riga totali, di collegamento delle apparecchiature, costo del piping, relativi al primo caso analizzato, generati dal sistema (in milioni di lire per unità di lunghezza).

Componenti	Furnace	Reactor	ExchBatt	PumpTet.	VesMisBa t	Compress	ColumnBa t
Furnace		0.040911	0.027W	0	0	0	0.034865
Reactor	0.022389	0	0.051268	0	0	0	0
ExchBatt.	0.010914	0.035255	0	0.01438	0.040906	0.026547	0
PumpTeL	0	0	0.013475	0	0.014763	0	0
VesMisBat	0	0	0.047986	0.019448	0	0.047852	0
Compressor	0	0.007327	0.052352	0.015427	0.014265	0	0
ColumnBat	0.031424	0	0	0	0	0	0
PumpBatt	0.015006	0	0.022044	0.057795	0.017255	0	0.012122
Costo Tot	68.23155	MLN					

	PumpBatt	Stuttl	Strutt2	ExchBatLI	c	x	y
Fumace	0.015002	0	0	0	1	70	99
Reactor	0	0	0	0	1	169.25	121
ExchBatt.	0.012406	0	0	0	1	233.5	124
PumpTet.	0.099546	0	0	0	1	460.05	120.5
VesMisBat	0.057795	0	0	0	1	396.2	120.5375
Compressor	0	0	0	0	1	314.095	128.445
ColumnBat	0.015466	0	0	0	1	173.255	76.555
PumpBatt	0	0	0	0	0	215	100.6

Tab. 1 - Tabella dei costi unitari dei collegamenti fra le apparecchiature e dei posizionamenti calcolati dal programma relativi al primo caso

Impianto di ammoniaca

Il sistema è stato anche utilizzato per inserire un elenco di apparecchiature all'interno di un impianto complesso per la produzione di urea, ammoniaca, ed altri prodotti secondari già esistente. Per semplicità si considerino le singole apparecchiature aggregate in base ai criteri di processo e di funzionalità. Le tipologie di apparecchiature da considerare sono le seguenti sette:

1. water cooler (E);
2. prima batteria di scambiatori (EB);
3. seconda batteria di scambiatori (EB1);
- 4- vessels (SM);
5. tettoia pompe (P7);
6. vessel (V);
7. colonna di stoccaggio (CS).

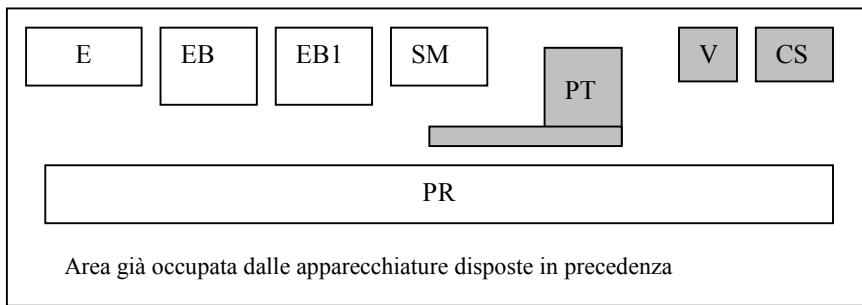


Fig. 13 - Aggregazioni effettuate nelle apparecchieature da inserire nel layout esaminato

Nel primo caso che si descrive, lo scopo dell'implementazione è di ottimizzare, caricando il sistema con le regole formalizzate, la posizione di 20 apparecchiature (aggregate in 5 macro macchine) che vanno allocate nel reparto di produzione di ammoniaca. Confrontando la planimetria esistente con l'output elaborato dal programma (Figura 14), è possibile notare come questa soluzione presenti una differenza solo nella posizione della tettoia pompe (PT). Il sistema la posiziona a lato della batteria dei vessels (SM), mentre i progettisti la dispongono in

parte anche sotto questi ultimi ottimizzando così lo sfruttamento dello spazio disponibile. Questo scostamento è dettato da esigenze sia fisiche che economiche. Il sistema non tiene conto del vincolo di massimo sfruttamento dello spazio, perché questa priorità non è stata considerata nella creazione del corpo di regole che posizionano fisicamente le apparecchiature.

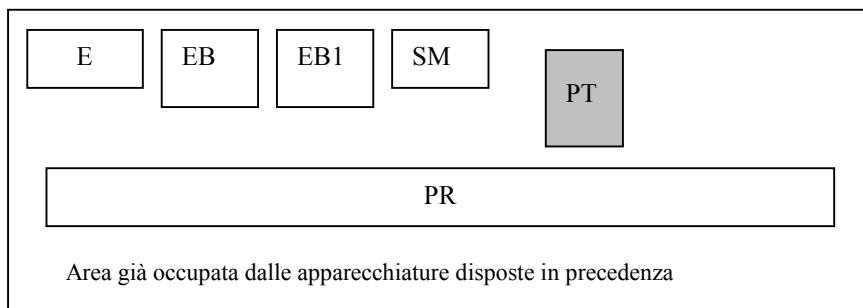


Fig. 14 - Output del programma del primo caso. Si noti che la posizione della tettoia porape (PT) risulta modificata rispetto a quella della planirnetria reale

Sicuramente un Sistema caricato con vincoli che considerino anche le esigenze ambientali, la superficie disponibile e quella utilizzabile, le esigenze di futuro ampliamento, ecc., sarebbe in grado di fornire soluzioni capaci di rispecchiare più fedelmente l'analisi umana.

Posizionamento di nuove apparecchiature

La Figura 15 mostra l'output elaborato dal sistema in seguito all'introduzione di due nuove apparecchiature:

1. vessel (V): ha il compito di accogliere l'ammoniaca liquida prodotta a monte;
2. colonna di stoccaggio (CS): distribuisce pane dell'ammoniaca all'esterno come prodotto finito e parte alle apparecchiature poste a valle per la produzione di urea.

La planimetria elaborata dal programma mostra che, per come sono state fornite le informazioni, il sistema ha ritenuto conveniente posizionare l'ultimo vessel (V) a destra della tettoia pompe (PT), per poter minimizzare le perdite di carico nei condotti di aspirazione, e la colonna di stoccaggio il più possibile vicino alla parte a valle dell'impianto che produce urea.

La planimetria elaborata dal programma rispecchia fedelmente la soluzione proposta dai progettisti (cfr. Figura 13).

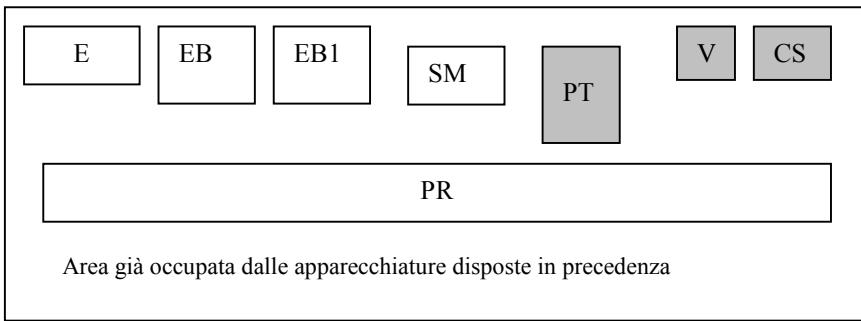


Fig. 15 - Output del programma di calcolo del secondo caso. Si notino le posizioni dei vessel (V) e della colonna di stoccaggio (CS) non diverse da quelle della planimetria reale

Analisi dei costi

Nella Tabella 2 sono riportati i valori dei costi unitari e, nell'ultima riga totali, di collegamento delle apparecchiature, costo del piping, relativi al secondo caso analizzato generati dal sistema (in milioni di lire per unità di lunghezza).

Componenti	Fwnace	Reactor	ExchBan	PumpTet	VesMisBat	Compress	ColumnBat
Furnace	0	0	0.010305	0	0	0	0.012882
Reactor	0	0	0	0	0	0	0
ExchBatt	0.010305	0	0	0.006086	0.004198	0	0.012882
PumpTet	0	0	0.006086	0	0.001515	0	0
VesMisBat	0	0	0.015114	0.001515	0	0	0.00821
Compressor	0	0	0	0	0	0	0
ColumnBat	0	0	0.012882	0	0.00821	0	0
PumpBatt	0	0	0	0	0	0	0
Costo Tot	15.07553	MLN					

	PumpBan	e	x	y
Furnace	0	1	80	55
Reactor	0	0	0	0
ExchBatt.	10	1	278	48.5
PumpTet-	0	1	444	48.5
VcsMisl3at	0	1	366	48.5
Compressor	0	0	0	0
ColumnBat	0	1	205	64

Tab. 2 - Tabella dei costi uffitari dei collegamenti fra le apparecchiature e dei posizionamenti calcolati dal programma relativi al primo caso

Confronto fra i risultati

Per poter effettuare un confronto fra i due impianti considerati occorre premettere che, mentre nel primo caso si è trattato di ottimizzare la disposizione di quei gruppi di apparecchiature che presentavano una incidenza maggiore sui costi di piping all'interno di un'intera planimetria assegnata, nel secondo si è considerata solo una porzione di spazio

all'interno di un impianto più vasto e più complesso nella quale allocare una sequenza di apparecchiature nel rispetto di tutti i vincoli assegnati.

In entrambi i casi si sono volutamente tralasciate le considerazioni relative alle lince di servizio che in molte occasioni possono risultare determinanti al fine della valutazione dei costi, per focalizzare l'attenzione sull'importanza dei collegamenti delle linee di processo. Le dimensioni delle apparecchiature in output non sono in scala reale, dal momento che ai fini dell'elaborazione è importante la disposizione relativa e non assoluta delle stesse e non hanno impedito di ottenere in entrambi i casi risultati che ben si accordano con quelli forniti dalle planimetrie relative a casi reali.

Conclusioni

Con questo lavoro si è cercato di applicare un Sistema Esperto in fase di progettazione di impianti di produzione. Una volta formalizzata la base di conoscenza dell'esperto mediante regole è possibile disporre di uno strumento in grado di supportare decisioni progettuali di importanza strategica. Per ottenere questo scopo si è utilizzata uno shell di sviluppo (KAPPA) per configurare un'applicazione capace di elaborare la planimetria dell'impianto descritto in un tempo quantificabile attorno ai trenta minuti. La fase più complessa è stata quella di definizione e di organizzazione delle informazioni, ricevute attraverso più interviste (circa una decina), in regole di comportamento per riempire la base di conoscenza per il funzionamento del sistema. Tale lavoro ha richiesto circa cinque mesi di lavoro.

Questi strumenti possono servire a diminuire i costi di progettazione, in modo da costituire un fattore competitivo nei confronti del mercato impiantistico internazionale.

Indagini di mercato a questo proposito evidenziano come i Sistemi Esperti stiano diventando una tecnologia chiave e probabilmente un'arma competitiva per le imprese e rappresentano un approccio di tipo pragmatico ai vari problemi aziendali. Questi sistemi assumono un ruolo strategico nella politica commerciale e nei programmi di ricerca della grande industria informatica che si presenta come produttrice ed utilizzatrice. L'impatto delle nuove tecnologie legate all'ampio spettro di applicazione dei Sistemi Esperti comporta la formazione di figure professionali che condividono una base culturale comune e che si differenziano per il coinvolgimento nel progetto e nell'esercizio di un Sistema Esperto: manager di direzione con la responsabilità dell'avvio del progetto, esperti nel particolare campo di applicazione con il ruolo di rendere disponibile la conoscenza da modellare nel sistema, progettisti di Sistemi Esperti il cui compito consiste nell'organizzare ed esprimere in forma opportuna le conoscenze acquisite.

La buona riuscita di questa applicazione porta a ritenere che nel campo dell'impiantistica possa essere percorribile questa strada finora solo tracciata, anche se non si pensa di arrivare a sostituire l'esperto. Sembra semplicemente positivo il fatto di poter trasferire in un sistema software accessibile a terzi buona parte della conoscenza e dell'esperienza umana.

Bibliografia

- Camarata, S., *Sistemi Esperti*, Milano, Etas Libri, 1987.
- Collins, C.M. - Parks, C.M., *Manufacturing Information Systems Issues: Software Architectures*, Computers & Industrial Engineering (CIE), Vol.21 (1991), n.1-4, pp.223-227.
- Dety, J. - Caombs, M., *I Sistemi Esperti. Concetti ed esempi*, Milano, Franco Angeli, 1987.
- Gupta, T. - Ghosh, B.K., *A Survey of Expert Systems in Manufacturing and Process Planning*, "Computers in Industry (Cll)", Vol. II (Jan 1989), pp. 195-204.
- Gupta, Y.P., *Various Aspects of Expert Systems: Applications in Manufacturing*, in "Technovation (TCH)", Vol.10 (Oct 1990), pp.487-503.
- Jackson, P., *Introduzione ai Sistemi Esperti*, Milano, Masson, 1988.
- Kusiak, A. - Heragu, S.S., *Knowledge-Based System Guides Machine Layout in Flexible Manufacturing System*, «Industrial Engineering (INE)», Vol.20 (Nov 1988), pp.48-53.
- Leung, L. C. - Miller, W.A. - Okogbaa, G., *Evaluation of Manufacturing Expert Systems: Framework and Model*, ("Engineering Economist (EEC)" Vol.37 (Summer 1992), pp.293-314.
- Levine, R., *A Comprehensive Guide to AI and Expert Systems*, New York, McGraw ffill, 1987.
- Maio, D. - Rizzi, S., *Sistemi Esperti. Esempi di Applicazione*, Milano, CLUP, 1990.
- Nailor, C., *Sistemi Esperti per il vostro personal computer*, Milano, Tecniche Nuove, 1985.
- Rolston, D., *Principles of AI and ES Development*, New York, McGraw Hill 1988.
- Snamprogetti, Guida alla progettazione degli impianti chimici e petrolchimici, Milano, Pirola.