

## La Ricerca Operativa va in fabbrica

Per affrontare nel modo migliore problemi operativi in azienda talvolta non servono grandi investimenti, ma occorre avere un'idea chiara dei propri problemi e sapere ciò che un buon modello può fare

### 1. Le “grandi utopie” esistono anche in azienda

*“Il nostro problema è che non riusciamo a produrre quanto e come vorremmo. Il nostro impianto è stato progettato per produrre 100, e invece riusciamo a produrre 60. Non dico che dobbiamo a tutti i costi raggiungere il massimo, ma sono sicuro che si può fare di meglio.”* Dalle parole di un responsabile della produzione di un'azienda tecnologicamente avanzata, talvolta affiora una certa frustrazione, allorché ci si rende conto che i risultati relativi a un determinato intervento organizzativo sono stati inferiori alle aspettative (e non si è capito esattamente perché). Lo scontento è ancora più grande se l'intervento è stato realizzato seguendo le filosofie produttive maggiormente in voga, che in teoria avrebbero dovuto garantire certi vantaggi. Spesso non ci si rende ben conto che l'efficacia di una determinata scelta organizzativa può dipendere fortemente dal modo in cui vengono risolti determinati *problemi decisionali*, messi a nudo dal nuovo approccio organizzativo (mentre prima magari erano nascosti da altri malfunzionamenti) o connessi all'implementazione stessa dell'approccio. Ad esempio, un'idea suggestiva è che automatizzando determinati processi produttivi si risolvono molti problemi di produttività. Certamente una macchina o un robot consentono di svolgere molti compiti in modo più efficiente, più preciso, e talora più sicuro (basti pensare ai robot impiegati in reparti in cui l'aria o la temperatura sono insopportabili per un essere umano). Tuttavia, automatizzare una fase produttiva può portare alla spiacevole scoperta che i propri guai restano irrisolti, o potrebbero sorgerne di nuovi. *“Il punto più delicato del processo produttivo era una certa operazione di assemblatura: su un totale di 20 minuti che un pezzo trascorre nel sistema, circa 10 li passa solo su questa operazione. Poiché il robot era tre volte più veloce di un operaio, pensavamo di poter accorciare un po' i tempi e aumentare così la quantità di pezzi prodotti in un giorno automatizzando quella operazione. Il risultato è stato che, sì, il robot ci mette meno tempo, ma la nostra produttività non è aumentata. Ci sono ancora ritardi, attese, perdite di tempo, che anzi prima non c'erano, e non sappiamo bene questo da cosa dipenda. Abbiamo sbagliato?”* In questi casi, forse, l'errore è pensare di risolvere tutti i propri problemi attraverso un'operazione di sostituzione (di manodopera con macchine), un po' come avveniva all'epoca della rivoluzione industriale, mentre oggi non è più così. A causa della complessità, peraltro crescente, degli attuali processi produttivi, occorre affrontare i problemi con gli strumenti adatti, che sono senz'altro di carattere *fisico* (ossia, macchine, come pure computer e programmi), ma anche *concettuale*, vale a dire *modelli* che consentano di prendere le decisioni più convenienti per la realtà produttiva in esame.

### 2. Talvolta i modelli servono anche quando non sembra: l'esempio del just-in-time

La necessità di definire un *modello concettuale* della realtà può sembrare un concetto abbastanza banale, e per certi versi lo è. Eppure, è un fatto tutt'altro che scontato nella pratica industriale. Prendiamo ad esempio un concetto abbastanza in voga - e che ha portato indubbi risultati in molte aziende - come quello di produzione “just-in-time”. L'idea fondamentale è quella di contenere i costi cercando di produrre solo ciò che serve quando serve, senza affollare l'impianto produttivo di materiali in eccesso, che rappresentano appunto un costo. Per realizzare pienamente questo obiettivo, dunque, è necessario poter variare rapidamente, e senza troppi contraccolpi, il volume produttivo in modo da inseguire, appunto, l'andamento della domanda. Questo, tra l'altro, implica la capacità di passare da un prodotto all'altro in modo estremamente rapido e semplice, senza cioè pagare dei *costi di changeover* troppo elevati. Fino a che punto la capacità del nostro sistema di riconfigurarsi è adeguata? Stiamo chiedendo troppo, oppure i costi di changeover che ci troveremo a dover affrontare sono comunque bassi rispetto ai benefici che possono derivare dal just-in-time? Il nostro punto di vista è che non si può rispondere a questa domanda solo sulla base di considerazioni qualitative, approssimative o eccessivamente aggregate: questo vorrebbe dire aver frainteso lo spirito di fondo di questa filosofia produttiva. Non si tratta semplicemente di “sposare” un'idea sulla produzione (che in certi casi può trasformarsi in una vera e propria “ideologia”). Si tratta invece di capire se, organizzando le cose *nel modo migliore* tra

quelli coerenti con questa filosofia produttiva, è possibile effettivamente trarne i benefici sperati. Così, nell'esempio del just-in-time, servirà un *modello* matematico che mi dica come programmare la produzione in modo da trovare il *miglior* compromesso tra la volontà di inseguire la domanda del mercato e i vincoli posti dai nostri costi di riconfigurazione. Se la soluzione proposta dal modello indicasse che comunque si avrebbe una perdita o un guadagno troppo irrisorio, vorrà dire che il just-in-time (almeno in questa particolare accezione) non fa al caso nostro, almeno fintantoché non cambia qualcosa dal punto di vista tecnologico, e propugnarlo come la panacea a tutti i mali dell'azienda ci potrebbe far andare incontro a delusioni e ingratitudine... Viceversa, il nostro modello potrebbe mostrare che nella fattispecie è possibile organizzare le lavorazioni in modo da poter inseguire la domanda in modo da conseguire un guadagno, e allora avrebbe senso adottare questo tipo di approccio. In definitiva, i modelli servono proprio a capire se è ragionevole applicare a specifici casi concreti delle idee che, in senso astratto, non necessariamente sono valide in tutti i casi, nella stessa misura.

### 3. Alcuni non si fidano

Trovandosi a discutere con il responsabile di un'azienda sul modo in cui è possibile affrontare determinati problemi produttivi, è possibile riscontrare una gamma abbastanza vasta di atteggiamenti. Si va dal *fan* delle nuove tecnologie o delle dottrine logistico-organizzative più recenti, all'irriducibile scettico che rifiuta qualunque idea che non rientri nella sua cultura aziendale. Quando però si scende nello specifico, e si passa a parlare di *modelli di ottimizzazione*, la comunicazione si fa più difficile, in quanto può spesso capitare di scoprire che l'interlocutore non dispone di un quadro molto corretto di cosa sia un modello matematico, che cosa può offrirgli, e cosa d'altro canto è necessario che lui sappia per poterlo impiegare in modo utile.

Questa situazione è dovuta, in parte, a una endemica contrapposizione in cui da un lato (l'azienda) permangono preconcetti circa l'utilità pratica di modelli "teorici", mentre dall'altro lato (l'università) non è stata sviluppata una sufficiente capacità di "vendere" i propri prodotti - modelli e algoritmi. In effetti, la diffidenza nutrita da molte persone nei confronti dei modelli matematici ha varie motivazioni. Vediamo se riesco a riassumerne alcune.

- 1) *Risolvere il problema sbagliato.* Chi propone il modello viene accusato di volere necessariamente calare il problema in esame in un determinato modello formale, e per fare questo è portato a enfatizzare alcuni aspetti che invece l'azienda percepisce come marginali, mentre al contrario sorvola su altri, molto più sentiti.
- 2) *Richiedere dati che è difficile, impossibile o troppo costoso reperire.* Ovviamente, questo fatto è tanto più critico quando più il modello si basa su tali dati.
- 3) *Proporre un modello non trasparente all'utente.* Molto spesso l'utente vuole "capire" il modello. Questo non significa necessariamente comprendere il significato delle singole equazioni che lo costituiscono, il che potrebbe risultare complicato. L'utente vorrebbe talvolta semplicemente comprendere la logica, quali sono gli input e quali gli output, come viene tenuto conto di determinati vincoli etc. Questo punto può sembrare banale, ma spesso è quello che causa le maggiori difficoltà di comunicazione. Non bisogna dimenticare che proporre il modello come una "scatola nera", che produce dei risultati ma non si sa bene quali e come, può lasciare all'utente la sgradevole sensazione di non poter mantenere un "controllo" su quello che il modello fa. (Questo rischio è minore con i modelli di simulazione.)
- 4) *Scarsa significatività.* Per il problema in esame, magari esiste già una regola di comportamento empirica che soddisfa il management - anche se ignorano che esisterebbe una soluzione molto più conveniente...

Mi auguro di fare cosa utile descrivendo brevemente alcuni esempi in cui il processo modellistico ha funzionato, e dall'altro mettere in evidenza perché.

### 4. Gestione delle operazioni in un reparto di un'azienda automobilistica

Spesso, l'utilità di un modello sta in quell'accurato procedimento di analisi della situazione reale che la sua messa a punto richiede. Infatti, costruire un modello costringe a individuare in modo preciso quegli elementi del sistema che possono in qualche modo influire sulle prestazioni del sistema, e che possono essere modificati, e costringe inoltre a chiarire gli obiettivi e i vincoli. Non ci interessano dunque tutti i dettagli tecnologici, come ad esempio il momento d'inerzia del giunto terminale dei robot saldati, se poi quello che interessa è solo la durata delle lavorazioni. La breve descrizione di un caso aziendale ci aiuterà a chiarire il concetto.

L'impianto di assemblaggio di uno stabilimento automobilistico si trovava a operare ben al di sotto della sua capacità. Progettato per produrre 1800 autovetture al giorno, arrivava a malapena a 1200. Questo era dovuto al frequente verificarsi di eventi "eccezionali", quali ad esempio la indisponibilità di materie prime quando necessario, il mancato appuntamento tra due componenti al momento dell'assemblaggio, la rottura di un trasloelevatore che comportava possibili congestionamenti nei flussi materiali e altri eventi ancora. In che misura questi eventi influissero sul rendimento dell'impianto era cosa tutta da verificare. Inoltre, è chiaro che alcuni di questi problemi hanno natura puramente tecnologica (ad esempio, le rotture meccaniche degli impianti di movimentazione), mentre altri dipendono dal modo in cui vengono governati i flussi materiali all'interno dell'impianto. Il nostro studio ha avuto come oggetto questi ultimi, non prima però di avere raccolto indicazioni sufficienti del fatto che eravamo sulla strada giusta. In casi come questo, in cui il sistema su cui intervenire è molto complesso, di particolare utilità può risultare avere a disposizione un *modello di simulazione*, ossia un modello informatico (scritto in linguaggi creati per questo scopo) che riproduca il più fedelmente possibile il funzionamento dell'impianto, definendo degli oggetti informatici corrispondenti a quelli reali (macchine, carrelli, semilavorati...) e le loro interazioni. Quasi tutti i linguaggi di simulazione consentono poi di definire un corrispondente grafico dei vari oggetti, in modo da poter seguire anche visivamente l'andamento della simulazione. Un modello di simulazione abbastanza accurato potrà dunque consentire di verificare come la variazione di alcuni parametri produttivi possa influenzare la produzione, e poter così fare delle valutazioni del tipo 'what-if'.

Dunque, per costruire un modello di simulazione è necessario osservare attentamente il processo produttivo, isolarne i componenti individuali e comprenderne profondamente le interazioni. Tutto questo ovviamente non è un lavoro semplice né rapido, ma spesso è utile sia a chiarirsi le idee che, in un successivo momento, come strumento di verifica della bontà dell'adozione di determinate politiche gestionali.

Tornando al nostro caso, da un insieme di simulazioni che riproducevano le modalità attuali di funzionamento, è emerso come gran parte dei problemi nascevano in un particolare reparto, in cui la parte anteriore dell'abitacolo di ciascuna autovettura (*plancia*) viene preparata per l'assemblaggio con la scocca. Quando una scocca entra nell'impianto, viene lanciato un ordine con cui si inizia la preparazione di una determinata plancia. Tale preparazione consiste nell'effettuazione di una successione di operazioni, a ognuna delle quali corrisponde una stazione di lavoro composta da vari operai. Alla fine di queste lavorazioni, la plancia entra in un particolare magazzino, in attesa di essere accoppiata con la scocca alla quale era stata destinata. Nella situazione preesistente, accadeva spesso che invece la scocca si presentasse per prima all'appuntamento, e che dunque dovesse aspettare la propria plancia. Tale attesa, se superiore a qualche minuto, poteva avere conseguenze molto costose in quanto, poiché le scocche procedono in rigida sequenza su una sorta di "arteria principale" dell'impianto, l'ingorgo può propagarsi ad altre aree, arrestando così la produzione -- anche se il fermo dura poco, è comunque costoso interrompere e poi riprendere certe lavorazioni. In definitiva, la maggiore causa di perdita di efficienza dell'impianto era legata proprio a questi "appuntamenti mancati". Che fare per migliorare le cose? E in che modo i modelli della ricerca operativa ci possono aiutare?

L'attenzione si è accentrata sul modo in cui vengono organizzate le lavorazioni all'interno dell'area plance. Prima di arrivare all'appuntamento con la rispettiva scocca, ciascuna plancia deve subire una serie di lavorazioni, passando attraverso varie stazioni di lavoro. All'ingresso nel reparto, una plancia viene montata su un carrello a guida automatica (AGV), e a bordo di tale carrello attraversa una *serie* di stazioni di lavoro, alla fine delle quali viene smontata e avviata all'appuntamento con la sua scocca. In ciascuna stazione, la plancia viene presa in consegna da un operaio, che effettuerà sulla plancia le operazioni relative a quella stazione. La strategia usata nell'impianto prevedeva che quando un operaio terminava la propria operazione su una plancia, quest'ultima veniva inviata in coda alla stazione successiva, e assegnata all'operaio che fino a quel momento aveva lavorato il minor numero di plance. Il sistema funzionava cioè in modalità *push*, nel senso che, non appena terminata la lavorazione su una stazione, le varie plance venivano "spinte" avanti nella produzione, da una macchina alla successiva. Questo modo di gestire le lavorazioni presenta diversi punti deboli. Anzitutto i carichi di lavoro tra gli operai *non* sono in realtà perfettamente bilanciati, in quanto non tutte le plance richiedono lo stesso tempo (da cui l'inadeguatezza della politica corrente anche da un punto di vista sindacale). Inoltre, non viene usato alcun criterio di *priorità* tra plance, che dia la precedenza a quella più "urgente". E infine, non è detto che la politica push sia l'unica possibile: in particolare, anziché spingere in avanti le plance, si può pensare che sia la stazione a valle a "tirare" la produzione chiamando a sé una plancia allorché un operaio è disponibile (politica *pull*). Una politica push ha il vantaggio di essere semplice (si tratta solo

di mandare avanti una plancia, quando questa è completata da una stazione), ma rischia di creare affollamenti di carrelli che per l'appunto sono spinti avanti anche se gli operai della stazione successiva sono tutti impegnati. Invece, in una politica pull, ciascun carrello aspetta in uscita alla stazione a monte, finché non viene chiamato dalla stazione a valle. Questo fatto riduce di molto i rischi di congestioni nel traffico dei carrelli, anche se richiede la presenza di buffer di uscita dalle varie stazioni, e richiede altresì la possibilità di chiamare individualmente i singoli pezzi – e dunque una modifica del sistema informativo. D'altro canto, se si può indirizzare un carrello individualmente sarà anche possibile adottare criteri che tengano conto della priorità dei vari pezzi.

Modifiche strutturali di layout o di sistema informativo possono non essere indolori, e dunque è importante riuscire a operare le scelte nel modo migliore possibile (e a questo serve il modello di ottimizzazione), nonché poi verificare l'impatto di queste scelte "ottime" sul sistema (tramite il modello di simulazione). Poiché il criterio con cui i pezzi venivano trasferiti da una stazione alla successiva emergeva come molto importante per le prestazioni dell'impianto, si è pensato di mettere a punto un modello di ottimizzazione che cerca di unire i pregi dei due approcci sopra detti, limitandone al minimo i difetti. Il procedimento – tipico della modellistica matematica – era dunque questo. Si trattava di *i*) individuare le decisioni su cui si poteva influire, *ii*) avere chiari gli obiettivi, e *iii*) tradurli poi in un modello coerente.

Un'analisi della situazione corrente ha permesso di individuare *le decisioni critiche* da cui dipende pesantemente la performance del sistema: occorre decidere, *per ogni pezzo* tra quelli che stanno per essere completati da una certa stazione *i*, *quale* operaio della stazione *i+1* dovrà prendersene carico. Si tratta dunque di una decisione di *assegnamento*, e occorrerà dunque che il nostro modello fornisca un modo di prendere questa decisione. Una volta identificata la decisione, occorre capire su quale base giudicheremo che una certa decisione di assegnamento è migliore di un'altra. L'obiettivo più importante, si è detto, è quello di cercare di ridurre il numero di volte che un appuntamento plancia/scocca veniva mancato. Tuttavia, anche altri aspetti possono avere un certo rilievo. Ad esempio, è certamente rilevante, da un punto di vista produttivo globale, il tempo che mediamente una plancia trascorre nel sistema, dall'istante del rilascio dell'ordine fino a quando avviene l'assiatura con la scocca. Quanto maggiore è questo *tempo di attraversamento*, infatti, tanto maggiore sarà anche il cosiddetto *giro-lavoro*, ossia la quantità di materiale presente nel sistema – fatto questo indesiderato, in quanto aumenta la complessità di movimentazione, come pure il capitale immobilizzato. In ogni caso, sembra utile che nel momento in cui una plancia dev'essere inviata alla stazione successiva, si tenga conto in qualche modo della sua urgenza. Ossia, se il tempo che manca all'appuntamento della plancia in questione con la rispettiva scocca è breve, occorrerà dare la precedenza a questa plancia sulle altre. D'altra parte, la scelta dell'operaio che dovrà prendere in consegna questa plancia non può essere casuale: se ad esempio decidessimo di assegnarla a un operaio che sta lavorando un pezzo particolarmente lungo (e che non può interrompere questa lavorazione), potrebbe prenderla in consegna quando è troppo tardi.

Un indice di interesse è il *tempo residuo* di una plancia, definito come la differenza tra l'istante futuro in cui dovrà avvenire l'assiatura con la scocca e la somma di tutti i tempi di processamento che la plancia dovrà subire da qui in poi. Quanto maggiore è il tempo residuo, tanto meno critica è la situazione per quella plancia. D'altro canto, se una plancia che ha un tempo residuo relativamente elevato viene fatta aspettare, il suo tempo residuo può ridursi sempre più e dunque diviene sempre più probabile un suo ritardo. Allora, appare sensato giudicare un assegnamento dal punto di vista del tempo residuo delle varie plance, nel senso che vogliamo che il più piccolo tempo residuo rimanga relativamente elevato, in modo da mantenere un certo margine anche agli stadi successivi.

A questo punto, avendo definito con precisione obiettivi e decisioni, occorrerà tradurre il tutto in un formato matematico, al fine di determinare algoritmi risolutivi. Questo passo, che è il momento centrale di tutto il processo modellistico, è chiaramente di natura più "tecnica", e non ci soffermeremo oltre. Diciamo solo che a questo punto entra in gioco il particolare bagaglio 'culturale' dell'analista, che, a seconda della sua sensibilità modellistica, potrà anche proporre modelli diversi sia dal punto di vista strutturale che dimensionale. Nel nostro caso la scelta è stata quella di formulare il problema di instradamento come un particolare problema di ottimizzazione su grafi, noto come *matching bottleneck* (per i dettagli, si veda [1]). Si noti che comunque, ferma restando la decisione di assegnamento suggerita dalla soluzione del modello di ottimizzazione, vi sono diversi modi di applicarla in pratica. In particolare, vi sarà ancora una modalità push, in cui le decisioni vengono calcolate ogni qual volta un operaio della stazione a monte sta per terminare un pezzo (che dev'essere quindi trasferito alla stazione a valle), e una pull, in cui il calcolo viene invece effettuato quando si sta per liberare un operaio nella stazione a valle (che deve quindi chiamare un pezzo dalla stazione a monte).

L'impiego di questa tecnica di instradamento, basata dunque sulla soluzione di un semplice problema di ottimizzazione anziché su regole puramente empiriche o addirittura sulla casualità, ha effettivamente portato benefici notevoli. In particolare, il confronto con la situazione attuale ha rivelato che a bassi livelli produttivi (fino a 1200 vetture al giorno) la nuova regola in modalità push è analoga a quella attuale, ma è superiore in termini di tempo di attraversamento. A livelli maggiori, i problemi legati al congestionamento del traffico diventano preponderanti, e la modalità pull diventa sensibilmente migliore. In un esperimento di simulazione relativo a una giornata-tipo di lavoro con un livello produttivo di circa 200 unità superiore a quello attuale, le regole push producevano un numero di pezzi in ritardo pari a 11, contro nessuno per la regola pull. Va ricordato che la modalità pull richiede la disponibilità di buffer di uscita dalle macchine e la possibilità di "chiamare per nome" i singoli pezzi. Tuttavia, a fronte di una valutazione dei costi che deriverebbero da un adeguamento di questo tipo di layout e sistema informativo, i modelli di ottimizzazione e di simulazione consentono di valutare efficacemente i benefici.

### **5. Modelli per fare chiarezza: disciplinare le operazioni in una cella robotizzata**

Talvolta un modello è lo strumento più opportuno non solo per formulare, e, soprattutto, risolvere un problema decisionale, ma anche per *discernere* i diversi aspetti decisionali coinvolti in un problema, e per separare le parti facili da quelle difficili. Questo serve a calibrare l'approccio più opportuno per affrontare un determinato problema complessivo, evitando di impiegare procedimenti troppo semplicistico per quelle parti (facili) che possono essere risolte in modo accurato, e ponendo invece lo sforzo computazionale adeguato per quelle parti (difficili) che lo richiedono necessariamente.

Una grande società di informatica, alcuni anni fa aveva allestito, in un impianto vicino Roma, una linea per l'assiatura di registratori di cassa - in pratica, dei personal computer. Il processo produttivo si svolgeva in una cosiddetta *cella*, nella quale due robot, diversi per dimensioni e "abilità", cooperavano per inserire vari componenti e nell'effettuare determinate attività (testing, saldatura, imballaggio etc.). In un giorno la cella produceva centinaia di esemplari dello stesso registratore di cassa. Il processo produttivo era dunque di tipo ciclico, nel senso che periodicamente, non appena un registratore finito usciva dal sistema, entrava una nuova "scatola di montaggio". Essendo i robot due, si voleva sfruttare il loro parallelismo, in modo da aumentare la produttività. Per effettuare le operazioni, che dovevano essere eseguite rispettando un preciso ordine, i robot utilizzavano alcune risorse presenti nella cella. Queste risorse però non potevano essere usate contemporaneamente dai due robot, e dunque questo poneva un vincolo a ciò che i robot potevano effettuare in parallelo. Inoltre, motivi di carattere tecnologico impedivano che la stessa operazione fosse effettuata da robot diversi su pezzi diversi. Ossia, ciascun robot andava specializzato sulle varie operazioni: ad esempio, l'inserimento di un determinato componente nella scheda madre sarebbe avvenuto sempre a cura dello stesso robot, per tutti gli esemplari che dovevano essere montati.

Dunque, il problema era quello - abbastanza tipico -- di far funzionare la cella in modo da massimizzare la produttività, e per fare questo occorreva ovviamente avere anzitutto una comprensione profonda del processo produttivo attuale. Non è pensabile che il management sia in grado di fornire dati e informazioni nello stesso "formato" in cui vorremmo averle noi: tipicamente, le informazioni saranno parziali, aggregate, incerte, o semplicemente irreperibili. Occorre allora una buona dose di perizia, oltre che di pazienza e di buon senso, per poter estrarre dall'osservazione della realtà aziendale informazioni utili per l'impostazione di un modello di ottimizzazione. Ad esempio, nel nostro caso si è trattato di dover "frantumare" un processo produttivo che si presentava come monolitico: mentre nella situazione originaria il processo era costituito da quattro sole fasi, a noi interessava capire se queste potessero essere decomposte in attività elementari, ciascuna delle quali potesse poi essere assegnata all'uno o all'altro robot. Per fare questo è stato necessario interagire con diverse persone, nonché di misurare sul campo la durata di varie attività, e alla fine è stato possibile individuare ben 24 attività elementari che, chiaramente, definivano il processo produttivo in termini molto più flessibili rispetto alla situazione precedente. (Va detto che, essendo le operazioni compiute da robot, la loro durata è sostanzialmente deterministica e la loro misurazione è notevolmente più semplice del caso in cui le lavorazioni sono manuali.)

Finalmente, emergeva che le prestazioni della cella dipendevano sostanzialmente da *due* aspetti operativi, intimamente legati, ma *distinti*. Un aspetto riguardava *come ripartire* le operazioni tra i due robot (nel seguito, *problema di ripartizione*), un altro come *disciplinare l'uso delle risorse* da parte

dei robot (nel seguito, *problema di sincronizzazione*): infatti, a causa della suddetta scarsità di risorse, se a un certo istante i due robot si trovavano a richiedere la stessa risorsa, uno dei due avrebbe dovuto dare la precedenza all'altro. Questi due problemi sono legati nel senso che, chiaramente, il verificarsi o meno di conflitti nell'uso di una risorsa dipende da come abbiamo ripartito le operazioni tra i due robot – ad esempio, se abbiamo assegnato tutte le operazioni che usano il tavolo di montaggio allo stesso robot, non vi saranno mai conflitti sull'uso del tavolo di montaggio. Per far funzionare le cose al meglio occorrerebbe prendere i due tipi di decisioni in modo contemporaneo. L'aver riconosciuto questo fatto ha consentito di adottare un approccio di estrema efficacia. Infatti, senza addentrarci in dettagli di carattere formale e senza riportare le dimostrazioni analitiche, è stato possibile osservare quanto segue. Supponiamo che qualcuno abbia già suggerito il modo di ripartire le operazioni tra i due robot. Allora, ci rimarrebbe solo il problema di sincronizzazione, cioè come disciplinare l'accesso dei robot alle varie risorse in modo da finire tutto nel minor tempo possibile. Questo problema da solo è *facile*, nel senso che -- è possibile mostrare -- esso può essere risolto rapidamente e in modo esatto per mezzo di un opportuno algoritmo di calcolo. Tuttavia, come si diceva sopra, nel problema complessivo entra in gioco anche il problema di ripartizione, che viceversa – anche questo può essere dimostrato -- è intrinsecamente *difficile*. Ciò vuol dire che sperare di trovare algoritmi esatti *altrettanto* efficienti anche per il solo problema di ripartizione (e quindi a maggior ragione per il problema complessivo) sarebbe stato vano. Questo ci ha allora indirizzato verso la strategia risolutiva: provare diverse ripartizioni in modo sistematico, valutando ciascuna di esse risolvendo il corrispondente problema di sincronizzazione. Provata una ripartizione, se ne provano altre apportando dei piccoli cambiamenti alla prima, ad esempio scambiando tra le due macchine tutte le possibili coppie di operazioni, una coppia alla volta, e scegliendo poi lo scambio migliore: una tecnica di questo tipo prende il nome di *ricerca locale*, in quanto viene ricercata la ripartizione migliore spostandosi dall'una all'altra effettuando delle piccole perturbazioni locali alla struttura di una soluzione.

I risultati? Dopo aver eseguito l'algoritmo di ricerca locale (che peraltro richiede una notevole fase di taratura e ingegnerizzazione), è stato anche qui necessario ricorrere a uno strumento di simulazione, per verificare, tra l'altro, anche la fattibilità fisica di una soluzione -- nel senso che i robot non devono mai urtare l'uno contro l'altro! E' stato allora possibile apprezzare i progressi: da una produzione di circa 600 registratori al giorno, era possibile passare a quasi 900 - e addirittura 1500 acquistando un ulteriore robot e apportando una modifica di layout. Alcuni dettagli, sia riguardo alla parte di ottimizzazione che a quella di simulazione, sono riportati in [2].

## **6. Conclusioni: lanciamo la palla**

Questi due esempi schematicamente riassunti sono tratti dalla nostra limitata esperienza, e non intendono asserire in modo perentorio nessuna grande verità. Penso però che un aspetto interessante sia il fatto che in alcuni casi la comunicazione e lo scambio tra università e aziende è effettivamente proficuo, tanto per gli uni che per gli altri – mentre le aziende sono giustamente interessate ai risultati concreti, per noi universitari l'analisi di casi aziendali come questi rappresenta soprattutto uno stimolo di primaria importanza a orientare correttamente una parte della nostra attività di ricerca e a scoprire problemi matematici interessanti. Forse la cosa più importante perché questo accada è che da parte di tutti ci sia una buona capacità di ascoltare e di voler effettivamente interagire con altre persone.

### **Riferimenti**

- [1] Agnetis, A., Pacifici, A., Rossi, F., Lucertini, M., Nicoletti, S., Nicolò, F., Oriolo, G., Pacciarelli, D., Pesaro, E., Scheduling Flexible Flow Lines in an Automobile Assembly Plant, *European Journal of Operational Research*, 1997, (97), 2, 348-362.
- [2] Agnetis, A., Lucertini, M., Nicolò, F., Modelling and Optimization of a Flexible Pipeline Assembly System, *Ricerca Operativa*, 1990, 54, 3-31.