

La Pianificazione ottimale dei Flussi di Lavoro nei Laboratori di Analisi Cliniche

M.E. Bruni, D. Conforti, C. Ieropoli

Laboratorio di Ingegneria per le decisioni in ambito Sanitario, Dipartimento di Elettronica Informatica e Sistemistica,
Università della Calabria, Rende (CS)

Riassunto

Premesse. Le indagini del laboratorio producono informazioni utili ai fini di una corretta prevenzione, diagnosi e monitoraggio della terapia e del suo decorso, oltre a quelli della ricerca. In un contesto di razionalizzazione della spesa sanitaria è fondamentale che i laboratori assicurino prestazioni di alta qualità tenendo conto dell'economicità della gestione, adeguando strutture, attrezzature e condizioni di lavoro.

Lo scopo del presente lavoro è la proposta di un contributo ad una nuova fase di progettualità che si fonda sul rapporto sinergico tra la cultura scientifica, economica, tecnologica e sanitaria. In particolare in un'ottica strategico-organizzativa, la razionalizzazione investe l'intero processo del sistema Laboratorio di Analisi Cliniche sfruttando appieno l'enorme potenziale collegato alle tecnologie emergenti.

Tale contributo mira a rafforzare la mancanza o debolezza di strumenti di operativi idonei a valutare gli effetti di razionalizzazione dell'attività, supportando con criteri e contenuti la capacità progettuale dei decisori.

Decisioni strategiche come la scelta e l'utilizzo appropriati delle risorse sia umane (operatori e tecnici), sia strumentali (macchine per le analisi) concorrono alla realizzazione del processo produttivo e sembrano perciò essere fattori cruciali di progettazione.

Metodi. Basandosi sullo studio di un caso reale ed attraverso interviste con i decisori si è pervenuti alla formulazione di un modello di programmazione matematica appartenente alla classe dei problemi di Programmazione Lineare Intera.

Tale modello analizza il processo operativo e, nell'ambito di una serie di possibili scenari formulati dai decisori, suggerisce la soluzione migliore ri-

spetto ad un criterio di valutazione ritenuto importante dai decisori stessi.

Il decisore dunque può usufruire di un valido strumento di supporto nella valutazione dei processi di riorganizzazione del Laboratorio con possibilità di effettuare confronti tra diverse alternative. Ovviamente, il modello proposto non può e non deve prescindere da un'analisi preliminare delle esigenze di offerta del laboratorio, delle risorse umane disponibili e da una serie di informazioni che sono indispensabili per la riprogettazione del processo di produzione.

Risultati. Il modello proposto è stato istanziato con dati raccolti in un laboratorio Italiano e risolto tramite un software commerciale.

I risultati sono stati esaminati e sottoposti a giudizio degli operatori sanitari coinvolti nella gestione del laboratorio in questione. I risultati del modello hanno suggerito decisioni riorganizzative considerate plausibili per i decisori.

Conclusioni. In un'ottica di Sistema di Supporto alle Decisioni, il modello va inteso come una sorta di "Cruscotto Direzionale" attraverso il quale, dalla regolazione di alcuni parametri fondamentali stabiliti dall'utente quali ad esempio gli esami da eseguire su determinati macchinari o i tempi di arrivo e completamento previsti per i diversi esami, è possibile ottenere indicazioni su come operare talune scelte di gestione del laboratorio (accorpamento dei macchinari in settori, assegnamento del personale a turni e settori, distribuzione dei carichi di lavoro su turni e settori).

Tale strumento non deve essere usato "a scatola chiusa" ma presuppone sinergia tra il management clinico e quello gestionale attraverso cui possibile perseguire l'obiettivo dell'efficienza in campo sanitario.

Summary

Workflow optimization in clinical laboratories

Background. The increasing automation of laboratory equipment has produced strong impacts on the organizational structure and technical requirements of clinical laboratories.

This study provides an optimization model to address decisions regarding the organization of clinical laboratories.

To achieve an appropriate level of service quality, it is important to involve well-orchestrated multidisciplinary teams in the design effort. A good program optimizes facilities use, fully accommodating user needs without being wasteful. This complex task involves the study and the definition of critical spatial and organizational relationships to ensure adequate capacity across the entire system.

Methods. Because today's decisions will have consequences for some years to come, selection of an instrument or structural changes of laboratory organization requires a detailed understanding of the field and the support of quantitative methods for making better decisions.

An optimization model has been developed to address decisions regarding the organization of clinical laboratories. The proposed model is able to face the com-

plex designing problem of a clinical laboratory. Easily quantifiable outcomes are used including those with intrinsic financial benefits.

Results. The model was validated on the basis of real data collected from a clinical laboratory. The computational experiments carried out have shown the validity of the proposed model. To instruct the optimization model, specific data have been collected by studying written specifications and through interviews with technicians.

The optimization output was considered plausible by laboratory experts.

Conclusions. Our model provides useful information for assessing the performance of the laboratory and for choosing the appropriate laboratory structure. We are strongly convinced that the proposed model could be used to gain insights into the existing situation, as well as possibilities for redesign. We think also that operations research methods can be a valuable tool in supporting laboratory directors to make better management decisions, based on rationally understandable experiments rather than on subjective feelings and beliefs, even if these are grounded on a long personal experience

Key words: Operations Research, Work Optimization.

Introduzione

Negli ultimi anni lo sviluppo tecnologico ha consentito l'automazione di moltissime operazioni prima svolte in modo manuale nei laboratori e gli strumenti informatici hanno assunto un ruolo fondamentale nella gestione dei dati, abbattendo in modo drastico i tempi di lavoro e garantendo la possibilità di introdurre la certificazione di qualità¹. Entrando in un moderno laboratorio analisi ci si trova di fronte ad un sistema estremamente complesso, la cui gestione efficiente presuppone la capacità di porsi in modo trasversale rispetto a problematiche di tipo tecnico-informatiche, economiche e organizzativo-gestionali².

Nel momento in cui il laboratorio viene visto come una vera e propria "azienda", ecco che allora valgono per esso anche tutti i concetti di management avanzato validi per sistemi complessi.

Sia che il laboratorio in questione rappresenti una unità operativa inserita nell'organigramma di una ASL o di una Azienda Ospedaliera, sia che si tratti di un laboratorio privato con caratteristiche di entità autonoma, esso può comunque essere modellizzato come un sistema in cui le attività e le risorse possono essere raggruppate e messe in sequenza a formare dei processi, che trasformano materiale in ingresso (input) in un risultato voluto (output). In particolare il laboratorio riceve in ingresso dei campioni biologici con an-

nesse richieste di prestazioni, li lavora secondo un processo che utilizza delle risorse, e fornisce infine un risultato refertato, secondo uno schema che può essere illustrato in Figura 1.

Problemi di pianificazione e controllo, gestione della qualità, gestione del personale, strategie e strumenti di gestione dei costi, strumenti di gestione dei flussi informativi fanno sì che la perfetta conoscenza del proprio laboratorio, pur permanendo come requisito indispensabile, non possa più essere considerata da sola sufficiente³.

Materiali e Metodi

La sorprendente evoluzione tecnologica che ha caratterizzato l'industria del settore diagnostico nell'ultimo ventennio, ha consentito lo sviluppo di strumenti analitici sempre più automatizzati e sofisticati, rivolti dapprima all'area della chimica clinica per estendersi oggi a tutti i più importanti settori del laboratorio. Il conseguimento di un forte grado di automazione porta significativi cambiamenti nell'organizzazione del lavoro, rendendo possibile l'esecuzione di un numero di esami prima impensabile con una migliore qualità del risultato finale, ma soprattutto consentendo, attraverso l'uso di stazioni multiparametriche, il consolidamento su di un unico strumento di aree diagnostiche tipicamente separate. La varietà dell'offerta proposta dalle

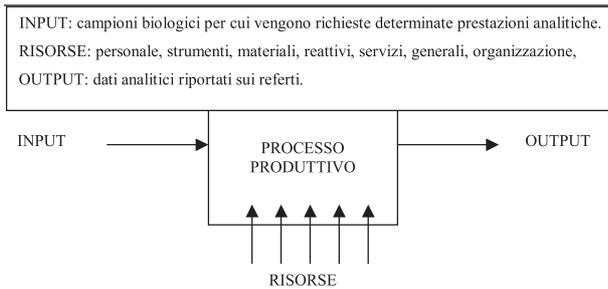


Figura 1. Schematizzazione del processo produttivo di un laboratorio di analisi cliniche.

grandi case produttrici di strumenti per la diagnostica, mette a disposizione del dirigente di laboratorio un notevole e complesso ventaglio di soluzioni, che si traduce in libertà decisionale di raggruppamento dei vari esami, essendo scarsamente rilevanti i reali vincoli tecnologici.

Ogni laboratorio può essere visto come un insieme di postazioni di lavoro in grado di eseguire determinate tipologie di esami; tali postazioni (o linee analitiche), che possono essere di tipo manuale o caratterizzate da un grado più o meno elevato di automazione, vengono raggruppate in settori in grado di eseguire ognuno un certo panel di esami.

In sintesi, il funzionamento del laboratorio può essere descritto dallo schema in Figura 2.

Lo scopo del nostro lavoro è stato quello di applicare un modello matematico per la pianificazione ottimale dei laboratori di analisi cliniche e di valutarne i vantaggi in termini di efficienza economica.

Mediante lo studio di uno specifico studio di caso, il disegno di un laboratorio di analisi con specifiche caratteristiche basate su una realtà operativa esistente, dettaglieremo la formulazione del modello e illustriamo e analizzeremo i risultati ottenuti.

La riorganizzazione del Laboratorio oggetto di studio (nel seguito laboratorio X), rientra in un più ampio e complesso ridisegno della struttura di una ASL avente un bacino di utenza di circa 200.000 abitanti, distribuiti su 30 comuni. Sono attualmente attivi 6 ospedali e che la riprogettazione prevede invece la presenza di 2 sole strutture ospedaliere di medie-grandi dimensioni, in grado di fornire tutte le specialità mediche e chirurgiche di base, appoggiandosi a Centri di Eccellenza su scala regionale per gli interventi altamente specialistici; la rete di assistenza viene completata con la presenza di poliambulatori e guardie mediche operanti sul territorio.

L'obiettivo del decisore sanitario è il ridisegno organizzativo del Laboratorio di Analisi in questo nuovo contesto e l'ottimizzazione della pianificazione e gestione dei flussi di lavoro.

Il Laboratorio è situato all'interno della struttura ospedaliera, localizzato in modo baricentrico rispetto all'area geografica di riferimento e dispone di un cen-

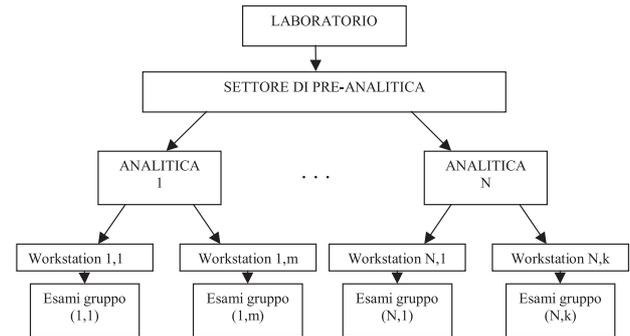


Figura 2. Schema di Funzionamento di un laboratorio di analisi cliniche.

tro prelievi interno.

L'attività analitica riguarda le principali branche della medicina di laboratorio, il volume di attività complessiva è quantificabile in circa 1.500.000 esami annui provenienti da tre macrocategorie di utenti: reparti di degenza ospedalieri; centri prelievo dei poliambulatori; altri utenti (pazienti con impegnativa del medico curante, altri punti prelievo afferenti al laboratorio).

Nei settori analitici operano i tecnici di laboratorio, coadiuvati all'occorrenza dal personale laureato (medici, biologi). Per la Refertazione, il laboratorio X si avvale di un Sistema Informatico di Laboratorio (LIS), capace di monitorare l'intero processo dall'accettazione alla refertazione; il sistema è inoltre in grado di interfacciarsi con gli strumenti analitici automatici e con lettori di codici a barre per garantire il massimo grado di automazione. Al termine della fase analitica i risultati vengono inviati dai terminali dei vari settori ad uno o più terminali ove opera il personale medico di laboratorio, dove vengono riaggregati per paziente e fatti oggetto di valutazione clinica prima della definitiva refertazione.

Una volta refertati i risultati possono essere resi disponibili per il cliente che li ha richiesti. Questa procedura è gestita dal LIS, appoggiandosi ad una rete locale (LAN) per rendere immediatamente disponibili i referti sui terminali dei reparti ospedalieri interni, ed ad un collegamento via modem all'interno di una VPN (Virtual Private Network), per l'invio ai clienti esterni (studi dei medici curanti compresi).

In termini di pianificazione del lavoro, il laboratorio, erogando i propri servizi anche a Pronto Soccorso e Sale Operatorie, opera sull'intero arco delle 24 ore.

La domanda si può scindere in tre macro-classi ciascuna con caratteristiche e volumi differenti:

- Esami programmati.
- Esami non programmati.
- Urgenze.

Gli esami programmati sono tutti quegli esami la cui richiesta deve essere fatta al laboratorio su prenotazione entro un'ora dall'inizio della finestra di pianificazione temporale considerata (ad esempio, con finestra oraria 8:00~14:00, le prenotazioni vengono accettate

entro le ore 7:00). Per ottenere i dati relativi a questa tipologia di esami è necessario avere sufficiente conoscenza della routine dei reparti di degenza ospedalieri interni, della tipologia dei campioni provenienti dai centri prelievo degli ambulatori e della tipologia di esami richiesti dai pazienti con impegnativa del medico curante. Gli esami programmati costituiscono una componente deterministica in grado di rappresentare la maggior parte del carico di lavoro complessivo.

Gli esami non programmati sono esami che rivestono un carattere di urgenza ma non di emergenza, nel senso che non richiedono tempi di refertazione immediati ma che per qualche motivo vanno eseguiti in giornata e quindi accettati anche oltre l'orario limite fissato per le prenotazioni. Rappresentano un'eccezione che va considerata per venire incontro ad esigenze reali degli utenti, in special modo di quelli ospedalieri. Rientrano in questa categoria anche i prelievi inviati da clienti esterni (ad esempio laboratori privati) che non siano collegati al laboratorio e non siano in grado di lavorare su prenotazione. La richiesta di questo tipo di esami introduce dei fattori di aleatorietà e andrebbe pertanto disincentivata e limitata alle reali esigenze. Il laboratorio X, in base alla propria struttura organizzativa ed ai carichi di lavoro ed in relazione all'effettiva capacità produttiva, ha fissato dei tetti massimi in percentuale del carico di lavoro complessivo adibiti a questa classe di domande.

Infine le urgenze si riferiscono alle richieste che arrivano tipicamente dal Pronto Soccorso o dalle Sale Operatorie: si tratta pertanto di emergenze i cui tempi di refertazione devono essere quanto più brevi possibile, idealmente coincidenti con il solo tempo tecnico necessario all'esecuzione dei test.

La gestione delle urgenze può essere fatta secondo due differenti modalità:

- viene creato un settore con strumentazione apposita e personale dedicato che si occupa solo di questa tipologia di esami operando in modo indipendente;
- si inseriscono gli esami in regime di urgenza all'interno del normale flusso di lavoro grazie a canali dedicati predisposti sui macchinari che automaticamente interrompono il lavoro in corso, eseguono i test con priorità, e riprendono quindi esattamente da dove si erano interrotti.

La gestione delle urgenze nel laboratorio X è affidata ad un settore con strumentazione apposita e personale dedicato operando in modo indipendente come un laboratorio nel laboratorio.

Il laboratorio X lavora su prenotazione classificando gli esami secondo le tre tipologie presentate sopra; l'orizzonte di pianificazione di riferimento va dalle 8:00 alle 14:00, intendendo che i dipendenti iniziano le proprie attività alle 8:00 ed entro le 14:00 devono aver completato tutti gli esami, programmati e non previsti per la giornata; è presente un settore urgenze che opera in modo indipendente con personale dedicato che garantisce il servizio sulle 24 ore.

Ai campioni scaglionati in base al richiedente vengono assegnate priorità diverse sui tempi di refertazione:

- Reparti di degenza interni: effettuano i prelievi alle 7:00, i campioni arrivano in laboratorio alle 8:00, i risultati refertati vengono resi disponibili ai reparti entro le 12:00.
- Ambulatori: effettuano i prelievi dalle 8:00 alle 11:00, i campioni arrivano in laboratorio entro le 12:00, i risultati refertati vengono resi disponibili in giornata tramite invio telematico.
- Centro Prelievi Interno: effettua i prelievi dalle 8:00 alle 11:00 e li invia in laboratorio. La sala prelievi è situata nell'area del laboratorio, attigua al settore di pre-analitica al quale è collegata per mezzo di un nastro trasportatore, in tal modo i campioni vengono resi disponibili in modo immediato e senza l'impiego di personale per il trasporto. I risultati vengono resi disponibili in giornata sul server del laboratorio e sono consultabili dal medico curante od eventualmente dal paziente stesso.
- Altri Clienti Esterni: fanno pervenire i campioni entro le 12:00 secondo le modalità imposte dal laboratorio (in particolare indicando l'orario del prelievo). I risultati vengono resi disponibili in giornata tramite accesso al server del laboratorio con procedura del tutto analoga a quella prevista per i medici di base o i semplici pazienti.

Considerando il laboratorio X nella sua complessità vi sono diversi livelli di intervento organizzativo.

La suddivisione in settori nella fase analitica rappresenta senza dubbio una variabile progettuale di primo livello da cui dipende l'intera organizzazione del laboratorio. Infatti, tale variabile progettuale viene ad assumere notevole rilevanza manageriale, essendo correlata all'efficienza del laboratorio in termini di riduzione dei tempi e dei costi di esecuzione dei test⁴. I benefici ottenibili sono però strettamente correlati ad una appropriata organizzazione e gestione del personale e dei flussi di lavoro, indispensabile per garantire un elevato grado di utilizzo dei macchinari a fronte di un minimo tempo di inattività degli operatori. Questi campi di intervento organizzativo sono dipendenti dalla scelta strategica di suddivisione in settori del laboratorio e quindi sono considerati di secondo livello.

I decisori sanitari coinvolti nella riorganizzazione del laboratorio X, hanno individuato il criterio di efficienza come punto focale del processo di sviluppo del modello matematico.

In particolare hanno suggerito che la suddivisione in settori analitici (intesa come raggruppamento di tipologie di processi⁵⁻⁷) fosse effettuata sulla base della minimizzazione dei tempi di inattività del personale.

I decisori hanno fornito un ventaglio di possibili proposte organizzative (compresa quella attualmente in uso) a partire dalle quali si può formulare il modello, tenendo ben presente che non si può in alcun caso prescindere da un'analisi organizzativa preliminare. Il ven-

A	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9
j1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
j2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
j3	0	0	1	1	0	0	0	0	0
j4	0	1	1	1	0	0	0	0	0
j5	0	0	0	0	1	0	0	0	0
j6	0	0	0	0	0	1	0	0	0
j7	0	0	0	0	0	0	1	0	0
j8	0	0	0	0	0	0	0	1	0
j9	0	0	0	0	0	0	0	0	1
j10	0	0	0	0	0	0	1	1	1
j11	1	0	0	0	1	1	0	0	0

Figura 3. Gli 11 possibili raggruppamenti in jobshop: sulle righe della matrice sono indicati i raggruppamenti in settori, mentre sulle colonne le tipologie di processo. La presenza di un 1 in casella (j, p) indica che il j-esimo settore è in grado di eseguire la p-esima tipologia di processo, mentre in caso contrario il corrispondente elemento è 0.

taglio di proposte organizzative riguardanti possibili raggruppamenti di tipologie di processo è riportato in Figura 3.

In base a tali proposte si definiscono 11 possibili raggruppamenti per le 9 tipologie di processo presenti nel laboratorio X riportate in Tabella I.

Descrizione del modello di ottimizzazione

L'obiettivo fondamentale che ci si pone nel migliorare l'organizzazione e la gestione di un Laboratorio di Analisi Cliniche è quello di definire una adeguata pianificazione delle attività di produzione ed una gestione ottimale dei flussi di lavoro in modo da ottenere una sensibile riduzione dei possibili periodi di inattività.

Nell'ambito della Ricerca Operativa che è probabilmente la metodologia di supporto alle decisioni meglio conosciuta e più utilizzata nelle applicazioni di natura gestionale, è stato sviluppato un modello matematico in grado di descrivere il funzionamento del laboratorio e di ottimizzarne il funzionamento.

In un'ottica di Sistema di Supporto alle Decisioni, il modello va inteso come una sorta di "Cruscotto Direzionale" attraverso il quale, tenendo conto di alcuni parametri fondamentali caratteristici del laboratorio quali ad esempio gli esami da eseguire su determinati macchinari o i tempi di arrivo e completamento previsti per i diversi esami, è possibile ottenere indicazioni su come operare talune scelte di gestione (accorpamento dei macchinari in settori, assegnamento del personale a turni e settori, distribuzione dei carichi di lavoro su turni e settori).

Le indicazioni fornite dal modello sono le migliori sulla base al criterio di ottimalità prescelto, nel rispetto dei vincoli imposti.

Le fasi principali attraverso cui si è proceduto, in accordo con i decisori sanitari del laboratorio X, per pervenire alla formulazione del Modello di Programmazione Lineare Intera per la Pianificazione e Gestio-

Tabella I. Tipologie di processo utilizzate per istanziare il modello.

p1 : CHIMICA CLINICA
p2 : EMATOLOGIA
p3 : COAGULAZIONE
p4 : VES
p5 : URINE
p6 : PROTEINE
p7 : IMMUNOMETRIA
p8 : SIEROIMMUNOLOGIA
p9 : ALLERGOLOGIA

ne dei Flussi di Lavoro, possono essere schematicamente illustrate come segue.

Identificazione del Problema Decisionale da affrontare

Si è studiato il problema al fine di identificare, all'interno delle dinamiche di funzionamento tipiche di un complesso laboratorio di analisi cliniche, quali fossero i fattori critici su cui concentrare la propria attenzione, quale obiettivo perseguire, a quali vincoli (reali) la soluzione cercata dovesse sottostare.

Definizione dei Parametri Fondamentali

Si sono individuati alcuni parametri parzialmente controllabili dal decisore in grado di influenzare sia i vincoli di corretto funzionamento che le scelte di gestione. I parametri in questione sono il numero totale di operatori a disposizione del laboratorio X, i diversi modi in cui i macchinari possono essere raggruppati per formare i settori, il modo di operare la suddivisione in turni, ecc.

Definizione delle Variabili Decisionali

Ogni problema decisionale comporta ovviamente delle scelte rappresentate matematicamente da variabili decisionali.

Nel caso in esame, le scelte di gestione su cui il modello deve fornire indicazioni sono :

- le modalità secondo cui effettuare il raggruppamento in settori,
- la gestione dei flussi di lavoro (intesa come numero di campioni da assegnare ai diversi settori nelle varie frazioni di turno),
- la gestione della risorsa lavoro (intesa come numero di operatori da assegnare ad un certo settore in un determinato periodo per garantire l'esecuzione di tutti gli esami).

Definizione della Funzione Obiettivo

Ogni qualvolta si attiva un meccanismo di decisione si pone automaticamente il problema della scelta di un criterio secondo cui operare le scelte.

La dimensione di efficienza su cui si è deciso di andare ad incidere è quella legata alla gestione del personale.

La funzione obiettivo orienta le scelte del modello (valori che assumono le variabili decisionali) al fine di minimizzare il tempo di inattività del personale, inteso come il tempo in cui il personale rimane inoperoso a causa di una inadeguata gestione dei flussi di lavoro.

Definizione dei Vincoli

Le decisioni sono considerate ammissibili se rispettano una serie di vincoli propri del processo analizzato.

In particolare la assicurare che ogni soluzione sia tale per cui i settori vengano definiti in modo univoco e coerente con le tipologie di processo che in esso possono essere eseguite, che sia garantita l'esecuzione di tutti gli esami entro le scadenze previste, che il numero totale degli operatori assegnati ai vari settori nei diversi periodi non superi il quantitativo di personale a disposizione della struttura, ed infine che il numero totale di campioni e le unità di personale vengano fissate dal modello in modo tale che si abbia sempre un numero di operatori tale da garantire l'esecuzione di tutti gli esami previsti.

Una descrizione dettagliata del modello, comprendente la formulazione matematica, la definizione formale dei parametri in ingresso, delle variabili decisionali, dei vincoli e della funzione obiettivo, viene riportata in appendice.

Per perseguire tali obiettivi si agisce su alcuni parametri fondamentali per le dinamiche di funzionamento del Laboratorio: tipologie di processi da effettuare, orizzonte di pianificazione temporale e suddivisione in periodi, tempi di arrivo e completamento. La soluzione del modello proposto interviene, quindi, sulla suddivisione in settori, la gestione del personale e la gestione dei flussi di lavoro.

Per meglio comprendere la natura ed il significato del modello proposto, è utile riportare la terminologia alla quale faremo riferimento nel seguito del lavoro.

- **CAMPIONE:** fa riferimento alla singola provetta contenente il liquido biologico da analizzare (sangue, plasma, siero, urine).
- **TEST (O ESAME):** singola determinazione analitica da effettuare sul campione; per ogni campione sono possibili più determinazioni.
- **TIPOLOGIA DI PROCESSO:** una "tipologia di processo" consiste in un insieme di esami che possono essere realizzati su uno stesso macchinario e che richiedono lo stesso tempo di processamento da parte di un operatore.
- **JOBSHOP:** insieme di più tipologie di processo.
- **WORKSTATION:** macchinario utilizzato per eseguire le analisi sui campioni; ogni workstation è in grado di eseguire un certo insieme di esami, in base alle caratteristiche tecniche ed ai reagenti con cui l'utente decide di equipaggiarla.
- **SETTORE:** insieme di workstation.
- **TURNO:** l'orizzonte temporale di funzionamento del laboratorio (24h), viene suddiviso in turni di lavoro (tipicamente di 6 o 8 ore).

- **ORIZZONTE DI PIANIFICAZIONE TEMPORALE:** rappresenta l'intervallo di tempo cui si vuole faccia riferimento il modello, non deve necessariamente coincidere con il TURNO (ad esempio si potrebbe scegliere l'intervallo che va dalle 8:00 alle 17:00).
- **PERIODO:** individua una porzione dell'orizzonte di pianificazione temporale (ad esempio dalle 10:00 alle 12:00).

Il modello sviluppato tiene conto dei seguenti vincoli:

1. Ogni tipologia di processo deve essere assegnata ad uno ed un solo jobshop.
2. Una tipologia di processo non può essere assegnata ad un jobshop che non è equipaggiato per eseguirla.
3. Vengono messi in relazione il numero di campioni da analizzare con le unità di personale deputate a farlo. Il tempo effettivamente necessario per eseguire tutti gli esami che siano stati assegnati ad un jobshop j in un periodo e , deve essere compatibile con il "monte ore lavorative" proprio di quel settore e di quel periodo, in funzione del numero di operatori assegnati al settore e della durata del periodo. Questi vincoli impongono che in un qualunque settore ed in un qualunque periodo, si abbia sempre un numero di personale tale da garantire l'esecuzione di tutti gli esami previsti.
4. Il numero di operatori complessivamente assegnati a tutti i settori in un periodo non può superare il numero di operatori presenti in totale nel laboratorio in quel periodo.
5. Il numero di operatori assegnati al singolo settore in un certo periodo e , non può superare il numero complessivo di operatori presenti in laboratorio in quel periodo.
6. Vincoli sulla natura delle variabili decisionali.

Occorre evidenziare che il modello si basa su alcune assunzioni:

- non vi è assegnamento statico degli operatori ai macchinari: il personale è in grado di eseguire più di un processo per volta. Ad esempio un tecnico può avviare un processo su una workstation, spostarsi ed avviarne un altro su un'altra workstation e poi ritornare sulla workstation iniziale per terminare il processo precedentemente avviato.
- le competenze degli operatori possono essere considerate uguali per tutti;

Poter indicare dei tempi di arrivo e fissare dei periodi entro cui completare l'analisi di gruppi di campioni consente un controllo utilissimo in fase di gestione dei flussi di lavoro. E' infatti possibile assegnare priorità diverse ai diversi utenti (dare i risultati ai reparti in mattinata può significare dimettere il paziente e risparmiare all'ospedale una giornata di degenza) mantenendo il controllo sulle dinamiche dei flussi.

Inoltre, grazie alla suddivisione in periodi, è possibile la gestione dei turni di lavoro. Agendo sui parametri del modello si può infatti dilatare o comprimere l'orizzonte di pianificazione temporale, valutando la possi-

bilità di terminare il lavoro nel solo turno della mattina, piuttosto che prevedere un rientro pomeridiano in cui il laboratorio funzioni con personale ridotto.

Risultati

Per poter istanziare il modello è stato necessario avere conoscenza della routine dei reparti di degenza ospedalieri per cui il laboratorio X opera, della tipologia e del volume dei campioni provenienti dai centri prelievo degli ambulatori e dai pazienti con impegnativa del medico curante.

L'orizzonte di pianificazione temporale del modello è compreso tra le ore 9:00 e le ore 14:00.

Infatti, nel laboratorio X tra le 8:00 e le 9:00 è attivo il solo settore di pre-analitica; dopo le 14:00 funziona il solo settore urgenze.

Il dato sul numero di operatori disponibili in laboratorio per ogni turno, fornitoci dal laboratorio X, permette di formulare un vincolo sul massimo numero di unità che il modello può complessivamente assegnare ai vari settori per ogni periodo.

Per ognuno dei possibili raggruppamenti ipotizzati (matrice di Figura 3) e per ogni periodo, si definisce un massimo numero di operatori che il modello può assegnare.

L'introduzione di questa tipologia di vincoli è stata suggerita dall'esperienza dai decisori e deriva da considerazioni legate alle dimensioni del settore ipotizzato, ma anche da valutazioni legate all'organizzazione interna del lavoro (un numero troppo elevato di operatori può risultare controproducente), oppure alle capacità di gestione di una eventuale figura presente nel settore con compiti di supervisione. La scelta di considerare il parametro in funzione del singolo periodo, oltre che del raggruppamento, va letta nell'ottica del voler garantire il massimo grado di flessibilità al modello.

L'ultimo parametro da definire è quello relativo al numero di campioni delle varie tipologie di processo, cui resta associato un periodo di rilascio ed uno di completamento (δ_{pj}).

I dati relativi a questo parametro sono stati ricavati dall'archivio dei dati storici relativi alle varie tipologie di utenti del laboratorio X, sulla base dei quali si è individuato il numero di campioni che formano il carico di lavoro del laboratorio in una giornata tipo. Va osservato come la routine dei vari reparti sia sostanzialmente riconducibile a set standardizzati di esami, così come gli esami di controllo richiesti dai medici di base; inoltre, la richiesta di poche determinazioni in più o in meno non modifica tipicamente il numero di campioni su cui vengono eseguite e, in presenza di strumenti automatici, può essere considerata con buona approssimazione ininfluenza ai fini del tempo di processamento. Sulla base di queste considerazioni, la domanda, in termini di campioni che il laboratorio lavora ogni giorno, può essere considerata per massima parte nota.

Tabella II. Suddivisione in settori suggerita dal modello di ottimizzazione.

Settore 1	chimica clinica (p1)
Settore 2	ematologia, coagulazione, VES (p2, p3, p4)
Settore 3	urine (p5)
Settore 4	proteine (p6)
Settore 5	immunometria (p7)
Settore 6	sieroimmunologia, allergologia (p8, p9)

Il modello così istanziato è stato risolto mediante un software commerciale.

La suddivisione in settori proposta dal modello è riportata in Tabella II. Attualmente nel laboratorio X sono presenti 9 settori uno per ciascuna tipologia di processo.

Adottando la nuova configurazione suggerita dal modello e riportata in Tabella II si potrebbero abbattere i tempi di inattività degli operatori di laboratorio.

Per poter confrontare la realtà del laboratorio X con la proposta organizzativa fornita dal modello sulla base di grandezze misurabili, definiamo l'indicatore "Tasso di inattività", imputabile al settore s (per singolo periodo o cumulativo sull'intero arco di pianificazione) come il rapporto tra il tempo di inattività nel settore s sulle ore lavorative assegnate al settore.

Tale indicatore può essere riferito ad un singolo periodo per singolo settore (I_{se}) oppure ad un singolo settore su tutti i periodi (I_s) oppure ancora ad un singolo periodo relativo a tutti i settori (I_e).

In formule si ha:

Tasso di inattività di settore per singolo periodo:

$$I_{se} = \frac{t_{se}}{T_{se}}, \quad \forall s = 1, \dots, S, \forall e = 1, \dots, E.$$

essendo:

s : indice che individua il settore;

e : indice che individua il periodo;

t_{se} : tempo di inattività nel settore s durante il periodo e ;

$T_{se} (= U_{se}L_e)$: ore lavorative assegnate al settore s nel periodo e .

Tasso di inattività di settore cumulativo:

$$I_s = \frac{\sum_e t_{se}}{\sum_e T_{se}}, \quad \forall s = 1, \dots, S.$$

Tasso di inattività di periodo:

$$I_e = \frac{\sum_s t_{se}}{\sum_s T_{se}}, \quad \forall e = 1, \dots, E.$$

In Tabella III è riportata una stima del tasso di inattività per settori che si avrebbe in caso di riorganizzazione del laboratorio. Come si vede, i tassi inattività stimati sono molto bassi. Mediante il confronto con il

Tabella III. Tasso di inattività per settore stimato in caso di riorganizzazione del laboratorio.

	Settore 1	Settore 2	Settore 3	Settore 4	Settore 5	Settore 6
I_s	0	5%	6%	1%	9%	13,4%

dato medio sui tassi di inattività del laboratorio X (30%) si può notare che la proposta suggerita dal modello possa essere in grado di influire su un parametro di fondamentale importanza quale il costo del personale di laboratorio.

I risultati forniti dal modello in termini di gestione del carico di lavoro riguardano principalmente l'impiego degli operatori per singolo settore e singolo periodo. In Figura 4 è mostrato l'assegnamento degli operatori nei periodi suddivisi per settore.

In particolare nell'ultima riga si riporta, per ogni periodo, il totale degli operatori complessivamente impiegati all'interno del laboratorio.

Al momento nel laboratorio X sono presenti 20 operatori suddivisi in base al carico di lavoro giornaliero nei vari settori del laboratorio X. Facciamo notare che l'adozione dell'assegnamento suggerito dal modello, non solo permetterebbe di abbattere come visto i tempi di inattività (e quindi aumentare la produttività) ma potrebbe suggerire una specializzazione degli operatori in base al settore di appartenenza.

Inoltre osserviamo che nei periodi in cui la domanda è bassa il numero di operatori necessari allo svolgimento degli esami richiesti è minore rispetto ai periodi di picco della domanda.

Di concerto con i decisori del laboratorio X e tenendo ben presenti i vincoli sindacali degli operatori pubblici, si è ipotizzato che gli operatori per così dire eccedenti potrebbero essere con profitto utilizzati in fase pre e post analitica o per svolgere le operazioni di refertazione o controllo qualità.

I risultati del modello posti in forma grafica possono risultare molto utili per analizzare il possibile scenario organizzativo suggerito dal modello.

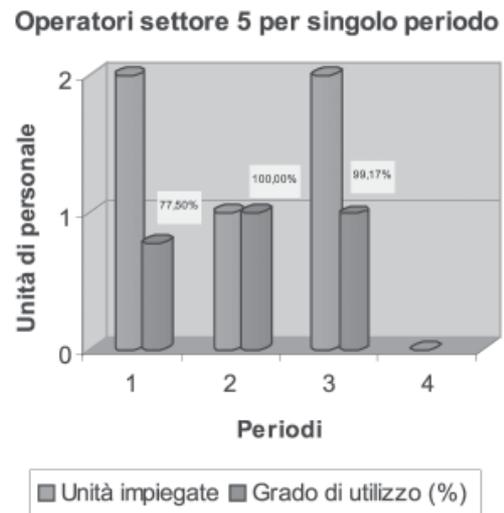
Per venire incontro alle esigenze dei decisori si è riportato in forma grafica il numero di operatori complessivamente impegnati per ogni periodo e grado di utilizzo in percentuale, la ripartizione del carico di lavoro sui diversi settori suddiviso per periodi, la ripartizione sui vari periodi del carico di lavoro complessivamente svolto dal laboratorio.

A titolo esemplificativo si riportano i grafici riferiti al quinto settore. In Figura 5 si riportano le unità impiegate nel settore 5 ed il grado di utilizzo. Nella Figura 6 si evidenzia la ripartizione degli operatori nei vari settori, mentre il grafico in Figura 7 fornisce indicazioni sul raggruppamento degli operatori nei periodi.

Discussione

Allorché si è presentato il modello, si è detto come

U_{se}	1
Settore 1	1
Settore 2	0
Settore 3	3
Settore 4	2
Settore 5	2
Settore 6	2
Totale	10

Figura 4. Unità di personale assegnate ai settori nei vari periodi (direttamente ricavabile dalla variabile decisionale U_{je}).**Figura 5.** Numero di operatori e grado di utilizzo nel settore 5.

questo non vada visto come uno strumento di ottimizzazione in senso stretto ma piuttosto come uno strumento di supporto alle decisioni (DSS) in grado di coadiuvare la Direzione in fase progettuale. E' ora possibile chiarire meglio questo concetto.

L'obiettivo del modello è la formulazione di un'ipotesi organizzativa coerente con le aspettative dei decisori che risulti ottima rispetto ad un criterio di desiderabilità scelto in accordo con i decisori stessi.

Diversamente da quanto accade nella pratica, l'utilizzo di un tale modello potrebbe fornire dati analitici attraverso i quali poter comparare alternative che in apparenza sembrerebbero equivalenti.

Fornendo la configurazione ottima del laboratorio, il modello nel contempo fornisce indicazioni sull'utilizzo del personale e sulla gestione del flusso di lavoro nei diversi periodi.

Proprio per queste caratteristiche l'utilità del modello proposto non si esaurisce nella sola fase di progetto ex-novo del laboratorio ma rappresenta un potente

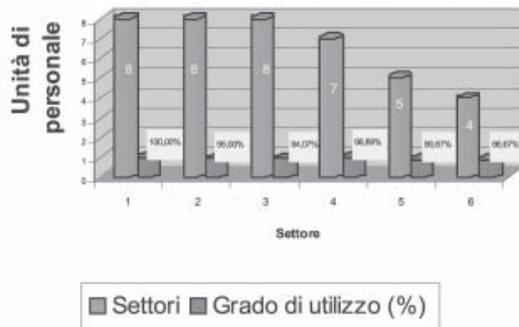


Figura 6. Numero di operatori e grado di utilizzo nei vari settori del laboratorio.

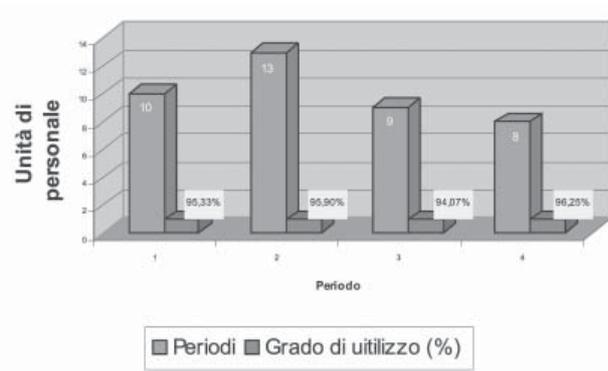


Figura 7. Numero di operatori e grado di utilizzo nei vari periodi dell'orizzonte di pianificazione.

strumento in grado di coadiuvare la direzione in tutta una serie di decisioni.

Non è evidentemente possibile stilare una lista esaustiva di utilizzi, si possono però ipotizzare diverse situazioni facilmente verificabili in un laboratorio per le quali il nostro modello si propone come un valido strumento quantitativo di supporto alle decisioni.

Si pensi ad esempio al voler valutare un aumento di capacità produttiva (inserendo ad esempio una nuova tipologia di esami) senza modificare l'organico a disposizione, in questo caso l'analisi di una soluzione ammissibile fornisce già una valida indicazione; o si pensi ad un laboratorio che lavori su turni di 6 ore mattina e pomeriggio, oltre che per le urgenze con un turno notturno, e si voglia valutare la convenienza o la possibilità di fare un unico turno mattutino di 8 ore lavorando poi per le sole urgenze con il personale minimo previsto in tal caso (1 medico ed 1 o 2 operatori tecnici); in entrambi questi casi il modello è in grado di fornire una risposta andando semplicemente a modificare i parametri di calibrazione ed in particolare quelli relativi al numero di esami o quello relativo al numero dei periodi.

Si pensi alla possibilità per un Dirigente di laboratorio di presentare una proposta al Dirigente Sanitario corredandola di dati quantitativi piuttosto che empirici, o ancora ad un laboratorio privato la cui mission è

il profitto e si pone quindi problematiche relative alla riduzione dei costi e quindi all'ottimale impiego della forza lavoro, infine potrebbe essere interessante anche per grosse ditte produttrici di strumentazione da laboratorio allorché vogliano proporre delle soluzioni organizzative corredate da studi quantitativi.

Nonostante le potenzialità del modello siano ampie e di notevole rilevanza, alcune considerazioni sono necessarie.

L'applicazione del modello dipende dalla specifica realtà di impiego e non può e non deve essere considerato come una scatola nera da cui trarre soluzioni preconfezionate.

La fase di elaborazione del modello deve essere effettuata in sinergia di intenti con i decisori sanitari responsabili della riorganizzazione del laboratorio.

Inoltre, il modello presentato deve essere dettagliato in base alle esigenze specifiche di ogni laboratorio.

Nonostante ciò il modello proposto è caratterizzato da estrema versatilità nell'utilizzo in contesti reali.

Questo è dovuto alla possibilità di definire diversi scenari tra cui scegliere una possibile configurazione di laboratorio.

Un altro aspetto critico che deve essere discusso a fondo riguarda la validazione del modello.

I risultati forniti dal modello possono e devono essere compendati da studi di simulazione del funzionamento e dell'attività del laboratorio in grado di riprodurre le dinamiche del laboratorio⁸⁻¹¹.

I processi di laboratorio dovrebbero essere reingegnerizzati con un approccio sistemico che includa ogni possibile aspetto dalla configurazione ottimale dei settori fino all'utilizzo efficiente delle risorse umane senza trascurare le problematiche legate al controllo di qualità ed al controllo dei costi¹²⁻¹⁴. Vari livelli di investigazione devono essere utilizzati in un'ottica integrata di gestione.

I livelli di automazione devono essere aumentati, le tecnologie rese fruibili all'interno del laboratorio e gli aspetti legati all'Information Technology non devono essere sottovalutati.

Per rispondere alle moderne sfide poste in essere dalla complessità e dalle difficoltà dei sistemi sanitari, dobbiamo essere pronti a nuovi modelli e forme di progettualità per ripensare le professioni, selezionare le tecnologie emergenti in un'ottica di approccio globale alla qualità e sviluppare capacità di implementazione agendo su conoscenze e contenuti permeati da ambiti diversi da quello sanitario.

I tempi sembrano maturi perché la ricerca operativa possa figurare a pieno titolo come uno degli strumenti a disposizione della direzione di un laboratorio di analisi cliniche.

Nonostante ciò, il modello proposto rappresenta uno dei pochissimi contributi in campo internazionale di applicazione di metodologie quantitative a supporto di problemi di gestione dei laboratori di analisi cliniche¹⁵⁻¹⁷.

APPENDICE

Formulazione del modello

$J = \{j: j=J_1, J_2, \dots, J_N\}$: insieme di N possibili jobshops¹.

$P = \{p: p = P_1, P_2, \dots, P_M\}$: insieme di M possibili tipologie di processo.

$E = \{e: e = E_1, E_2, \dots, E_K\}$: n. di periodi in cui si decide di suddividere l'orizzonte di pianificazione temporale.

J_p : Insieme formato dai jobshops in grado di eseguire la tipologia di processo $p, \forall p \in P$

U^{TOT} : n. totale di operatori disponibili nel laboratorio nel periodo e .

U_e : n. max di operatori che si decide poter essere disponibili all'interno di un qualunque settore per ciascun periodo e .

W_p : tempo impiegato da un operatore per effettuare un qualunque esame appartenente alla p -esima tipologia di processo.

L_e : durata del periodo e -esimo

δ_{pef} : n. di campioni della p -esima tipologia di processo che si renderanno disponibili per essere lavorati al tempo e e che richiedono di essere completati entro il tempo f .

Variabili Decisionali

1, se la tipologia di processo p viene assegnata al jobshop j ,

$B_{pj} =$
0, altrimenti.

N_{pje} : n° di campioni relativi alla tipologia di processo p da realizzarsi nel jobshop j nel periodo e .

U_{je} : n° di operatori necessari nel jobshop j nel periodo e .

Z_{je} : tempo di inattività degli operatori presenti nel jobshop j relativamente al periodo e ; in particolare:

$$Z_{je} = U_{je}L_e - \sum_{p \in P} w_p N_{pje}, \forall j \in J, \forall e = 1, 2, \dots, E$$

Modello UNICALAB

$$\min \sum_{e=1}^E \sum_{j \in J} Z_{je}$$

$$\sum_{j \in J} B_{pj} = 1, \forall p \in P \quad (1)$$

$$B_{pj} = 0, \forall j \in J \setminus J_p, \forall p \in P \quad (2)$$

$$\sum_{e=g}^f N_{pje} \leq B_{pj} * \left[\sum_{e=1}^f \sum_{h=g}^E \delta_{peh} \right], \forall p \in P, \forall j \in J, \forall f, g \text{ t.c. } 1 \leq g \leq f \leq E \quad (3)$$

$$\sum_{e=g}^f N_{pje} \geq B_{pj} * \left[\sum_{e=g}^f \sum_{h=e}^f \delta_{peh} \right], \forall p \in P, \forall j \in J, \forall f, g \text{ t.c. } 1 \leq g \leq f \leq E \quad (4)$$

$$\sum_{p \in P} w_p * N_{pje} \leq U_{je} * L_e, \forall e = 1, 2, \dots, E, \forall j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} U_{je} \leq U_e^{TOT}, \forall e = 1, 2, \dots, E \quad (6)$$

$$U_{je} \leq U_e, \forall e = 1, 2, \dots, E, \forall j \in J \quad (7)$$

$$B_{pj} \in \{0, 1\}; N_{pje} \in \left\{ 0, 1, \dots, \sum_{f=1}^e \sum_{g=e}^E \delta_{pfg} \right\}; U_{je} \in \{0, 1, \dots, U_e\} \quad (8)$$

$$\forall p \in P, \forall j \in J, \forall e = 1, 2, \dots, E$$

¹Anche se il termine "settore" viene usato come sinonimo di "jobshop", quest'ultimo rappresenta una possibile modalità di aggregare delle tipologie di processo, ed in generale non definisce direttamente il settore; il significato di quanto detto verrà meglio chiarito più avanti allorchè si analizzerà la soluzione proposta dal modello.

Bibliografia

1. Andrade JM, McDowall RD. Management attitudes in laboratory automation projects and quality programmes. *Laboratory Automation and Information Management* 1998; 33:217-26.
2. Travers EM, Kenneth DMcC. *Clinical Laboratory Management*. New York: Lippincott Williams & Wilkins Publ.; 1996.
3. Truchaud A, Le Neel T, Brochard H, Malvaux S, Moyon M, Cazaubiel M. New tools for laboratory design and management. *Clin Chem* 1997; 43-9:1709-15.
4. Travers EM. *Manging costs in clinical Laboratories*. New York: Lippincott Williams & Wilkins Publ.; 1989.
5. Pasquinelli F, Porta F. *Diagnostica e Tecniche di Laboratorio*. Vol. 4. Firenze: Rosini Editore; 1990.
6. Achard PO. *Economia e organizzazione delle imprese sanitarie*. Milano: Franco Angeli Editore; 1999.
7. Spandrio L. *Principi e tecniche di Chimica Clinica*. Padova: Piccin Nuova Editrice; 2000.
8. Goldschmidt HMJ, de Vries JCM, Van Merode GG, Derks JJM. A workflow management tool for laboratory medicine. *Laboratory Automation and Information Management* 1998; 33:183-97.
9. LabModel simulation software an inexpensive way to predict site-specific efficiencies. *Clinical Lab product* 2002; 31, n. 7.
10. Vogt W, Braun F, Hanssmann F, Liebl G, Berchtold H, Blaschke M, et al. Realistic Modeling of Clinical Laboratory Operation by Computer Simulation. *Clin Chem* 1994; 40:922-8.
11. Winkel P. Operational research and cost containment: A general mathematical model of a workstation. *Clin Chem* 1984; 30:1758-64.
12. Plebani M. The clinical importance of laboratory reasoning. *Chim Clin Acta* 1999; 280:35-45.
13. Pansini N, Di Serio F, Tampoia M. Total testing process: appropriateness in laboratory medicine. *Chim Clin Acta* 2003; 333:141-5.
14. Pansini N. The national health system: future possibilities for the clinical laboratory. *Chim Clin Acta* 2002; 319: 101-5.
15. Van Merode GG, Oosten M, Vrieze OJ, Derks J, Hasman A. Optimisation of the structure of the clinical laboratory. *Eur J Operat Res* 1998; 105:308-16.
16. Van Merode GG, Hasman A, Derks J, Goldschmidt HMJ, Schoenmaker B, Oosten M. Decision support for clinical laboratory capacity planning. *International Journal of Bio-Medical Computing* 1995; 38:75-87.
17. Van Merode GG, Hasman A, Derks J, Goldschmidt HMJ, Schoenmaker B, Oosten M. Advanced management facilities. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 1996; 50:195-205.