Università
Ca'Foscari
Venezia

Corso di Laurea magistrale in
Marketing e comunicazione

Tesi di Laurea

Ca' Foscari
Dorsoduro 3246
30123 Venezia

Lavorare con il legno: l'organizzazione della produzione in un'edilizia innovativa

Relatore
Prof. Francesco Mason

Laureando
Lorenzo Servino
Matricola 986955

Anno Accademico
2012 / 2013

Sommario

INTRODUZIONE 5

RINGRAZIAMENTI 8

CAPITOLO I 9

IL LEGNO COME ELEMENTO RINNOVABILE E L'EVOLUZIONE DELL'EDILIZIA SOSTENIBILE 9

1.1 PERCHE' INCREMENTARE L'USO DEL LEGNO IN EDILIZIA 9

1.1.1 Le origini e le caratteristiche del materiale legno 9

1.1.2 La gestione forestale sostenibile 12

1.1.3 Sostenibilità, sicurezza e durabilità 15

1.2 ALCUNI CENNI SULL'EVOLUZIONE STORICA DELL'USO DEL LEGNO IN EDILIZIA 20

1.2.1 L'impiego del legno per le costruzioni 20

1.2.2 Il legno: opzione tecnologica globale o componente del mix tecnologico ? 23

1.2.3 Sintesi evolutiva del mercato delle costruzioni in legno dal dopoguerra ad oggi 25

1.3 MATERIALI IN LEGNO PER L'EDILIZIA ED EDIFICI A STRUTTURA DI LEGNO 28

1.3.1 Legno massiccio e prodotti da legno massiccio 28

1.3.2 Il legno lamellare: utilizzi e vantaggi 31

1.3.3 Pannelli a base di legno 33

1.3.4 I materiali accessori 37

1.3.5 Tipologie, caratteristiche e comportamento strutturale degli edifici a struttura di legno 37

CAPITOLO II 43

STRATEK : UN'AZIENDA ORIENTATA VERSO UN'EDILIZIA INNOVATIVA 43

2.1 LA STORIA 43

2.2 PRESENTAZIONE DELL' AZIENDA 45

2.3 POSIZIONE DI STRATEK ALL'INTERNO DEL SETTORE DELL'EDILIZIA IN LEGNO 49

2.3.1 Analisi SWOT 49

2.3.2 I numeri della crescita 52

CAPITOLO III 55

PROGRAMMAZIONE OPERATIVA: LO SCHEDULING DELLA PRODUZIONE ED IL SISTEMA DI CODE 55

3.1 LO SCHEDULING DELLA PRODUZIONE 55
3.1.1 Definizione e caratteristiche 55
3.1.2 Classificazione in base al sistema produttivo 57
3.1.3 Classificazione in funzione degli obiettivi della programmazione operativa 59
3.2 LO SCHEDULING ON-LINE 62
3.2.1 Decisioni on-line, decisioni off-line e fenomeni di casualità 62
3.2.2 Lo scheduling stocastico: generalità e letteratura 64
3.2.3 Lo scheduling on-line: generalità e letteratura 65
3.2.4 Lo scheduling on-line stocastico 66
3.3 LA TEORIA DELLE CODE O TEORIA DELLE FILE D'ATTESA 67
3.3.1 Presentazione generale 67
3.3.2 Terminologia e notazioni 69
3.3.3 Definizioni fondamentali 72
3.3.4 Alcune importanti relazioni nella teoria delle code 74
3.3.5 Il modello M/M/1 78
3.4 REGOLE DI PRIORITA' NEI PROBLEMI DI SCHEDULING A RISORSE LIMITATE 81
3.4.1 Priorità in un contesto multi-progetto 81
3.4.2 Definizione del problema 82
3.4.3 Classificazione ed utilizzo delle regole di priorità 84
3.4.4 Le regole di priorità più conosciute 85

CAPITOLO IV 89

L'ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE DELL'AZIENDA STRATEK 89

4.1 PRIMA FASE DELLO STUDIO: RACCOLTA DEI DATI E CONSIDERAZIONI SU DI ESSI 89
4.2 PRESENTAZIONE DELLA PRODUZIONE DI STRATEK COME SISTEMA DI CODE 93
4.2.1 Definizione del sistema 93
4.2.2 Logica di funzionamento del sistema di code 95
4.2.3 Condizioni di stazionarietà del sistema di code 98

4.3 CREAZIONE DI UNO SCHEMA LOGICO-DECISIONALE A SUPPORTO DEL PROCESSO PRODUTTIVO 100
4.4 CONSIDERAZIONI FINALI 107

CONCLUSIONE 111

ALLEGATI 113

BIBLIOGRAFIA E SITI INTERNET CONSULTATI 117

INTRODUZIONE

Questa tesi nasce dalla volontà di analizzare una realtà aziendale, cercando di ottenere dei risultati che possano in qualche modo essere tradotti in competenze e soluzioni per gli addetti ai lavori. Si tratta di un'azienda giovane, nata nel 2010, che prende il nome di Stratek Timber Industry, operante nel settore dell'edilizia in legno e nella quale lo scrivente ha effettuato due mesi di stage nell'inverno 2012/2013. Il continuo sviluppo ed i crescenti investimenti in ambito di edilizia innovativa e sostenibile, hanno convinto un gruppo di giovani appassionati e con una buona dose di esperienza sul legno a dare il via a questa realtà, che in pochi anni si è già resa protagonista nel mercato del Triveneto. L'analisi ha portato ad evidenziare una situazione con ottime prospettive, ma con una struttura aziendale nella quale emerge la necessità di un coordinatore "sempre presente" per fare da raccordo (e qualche volta da freno) tra le diverse aree aziendali.
Una riflessione sulla letteratura in tema di organizzazione della produzione, conosciuta con il nome di scheduling, sulla teoria delle file d'attesa e sulla regole di priorità ha portato ad individuare alcuni strumenti di governo semplici ed intuitivi, ma ritenuti dalla direzione aziendale molto utili.

Entrando nel merito del contenuto, la tesi si divide in 4 capitoli.
Il primo capitolo si concentra sul settore dell'edilizia in legno, nel quale l'azienda opera: si parte dalle caratteristiche della materia prima fino ad arrivare alle più moderne tecniche costruttive, passando per le tipologie di legname utilizzato per la realizzazione di solai, tetti ed edifici completi a struttura di legno. Si tratta di una descrizione relativamente semplice e molto comprensibile, finalizzata a presentare un ramo dell'edilizia contemporanea sempre più protagonista nel mercato italiano e non solo.

Nel secondo capitolo viene presentata l'azienda Stratek, concentrandosi sul funzionamento delle diverse aree aziendali e sulla posizione che Stratek occupa all'interno del mercato. A tal proposito è stata svolta un analisi SWOT per valutare i punti di forza sui quali poter puntare e quelli di debolezza verso i quali dedicare maggiori investimenti in termini di risorse ed acquisizione di competenze. Per

concludere è stata realizzata una rapida analisi del fatturato per dimostrare la crescita costante che contraddistingue Stratek dal momento della sua nascita.

Nel terzo capitolo sono riprese alcune metodologie e tecniche di analisi che possono aiutare gli addetti ai lavori ad avere un quadro migliore del funzionamento aziendale; inoltre possono fornire quelle competenze e conoscenze necessarie a programmare le attività e la produzione dell'azienda in maniera più efficiente. Vengono esposte tecniche di scheduling o programmazione operativa, focalizzando l'attenzione sulle difficoltà che si riscontrano quando ci si trova ad operare in un contesto on-line, che necessita di rapidità di decisione senza avere il tempo di analizzare le informazioni a disposizione. A tal proposito, sono introdotti anche i cosiddetti fenomeni di casualità, che spesso sono proprio la causa che spinge gli addetti ai lavori ad operare in contesto on-line per far fronte all'incombere di imprevisti inaspettati.
Successivamente nel capitolo viene affrontata la teoria delle code, che è stata molto utile per lo studio del caso concreto, individuando un modello di analisi le cui considerazioni possono essere considerate valide per il caso in questione.
Infine viene introdotto il concetto di regole di priorità e come queste intervengono in problemi di scheduling a risorse limitate (come il caso studiato), concentrando l'attenzione su quali sono le regole di priorità più diffuse e conosciute.

Nel quarto ed ultimo capitolo viene studiato il caso aziendale. Come ogni analisi che si rispetti parte dalla raccolta e dall'analisi dei dati relativi a sei settimane consecutive, che ha permesso di individuare quali possono essere le criticità del sistema produttivo di Stratek, evidenziando nella lavorazione della materia prima l'attività collo di bottiglia. Questa importante osservazione ha portato ad esaminare il processo produttivo visto come un sistema di code.
Attraverso uno schema logico dettagliato e strutturato, viene riassunto il ciclo lavorativo settimanale di Stratek e come vengono gestite le varie attività, dalla creazione del preventivo fino al trasporto del materiale in cantiere, dove avviene la posa in opera di aziende esterne. Particolare attenzione è rivolta alla logica con la quale vengono stabilite le priorità di esecuzione delle lavorazioni, individuando alcune possibili soluzioni per aumentare la capacità produttiva durante i periodi di picchi di domanda.

Il capitolo si conclude con un accenno agli aspetti strutturali o esecutivi che hanno influenzato l’analisi, distinguendo fra quelli favorevoli e quelli sfavorevoli.

RINGRAZIAMENTI

Giunti al compimento di questo lavoro realizzato con grande umiltà e dedizione, desidero ringraziare tutti coloro i quali hanno contribuito, direttamente o indirettamente, costantemente o anche per un solo istante, affinchè io potessi raggiungere questo importante traguardo.

Ringrazio il professor Mason, che ha accolto la mia richiesta di tesi mettendo a mia disposizione tutte le sue conoscenze, e la professoressa Favaretto per avermi consigliato a chi rivolgermi. Un grazie anche alla professoressa Procidano che, per altri motivi, si è rivelata fondamentale nel mio percorso di studi.

Sentiti ringraziamenti a Roberto e Alessio di Stratek, che mi hanno dato la possibilità di "vivere" in azienda per dare vita a questa tesi.

Ancora, un grazie di cuore alla mia famiglia, che mi ha sempre sostenuto economicamente ed umanamente e non mi ha mai fatto mancare nulla, rendendo possibile tutto questo.

Infine, ma non certo per scarsa importanza, ringrazio i miei amici e le persone a me più care, sulle quali ho sempre potuto contare nei momenti di difficoltà. Un grazie particolare a Beppe per il prezioso contributo tecnico.

CAPITOLO I

IL LEGNO COME ELEMENTO RINNOVABILE E L'EVOLUZIONE DELL'EDILIZIA SOSTENIBILE

1.1 PERCHE' INCREMENTARE L'USO DEL LEGNO IN EDILIZIA

1.1.1 Le origini e le caratteristiche del materiale legno

Il legno è il materiale ricavato dai fusti delle piante, nella maggior parte dei casi dagli alberi e talvolta anche dagli arbusti. E' prodotto direttamente dalla pianta, come elemento strutturale, e presenta ottime caratteristiche di robustezza e resistenza, grazie alle quali è utilizzato in svariati ambiti dall'uomo. E' denominato in due modi, a seconda della funzione alla quale è destinato:

- *legna,*se fornisce combustibile ed è quindi utilizzato per produrre calore;
- *legname da lavoro, costruzione,* se utilizzato per l'edilizia e l'arredamento.

Il legno è stato di supporto all'uomo durante tutta la sua evoluzione, grazie alla capacità di far fronte a diverse esigenze quali procurarsi un riparo, accendere un fuoco per scaldarsi e cuocere i cibi. Inoltre è sempre stato utilizzato nell'espressione dell'arte nelle varie epoche, attraverso la realizzazione di sculture, decorazioni e mobili per arredamento.
E' composto essenzialmente da cellulosa, emicellulosa e lignina, e una volta tagliato e lasciato essiccare, può essere indirizzato ad una varietà di utilizzi:

- se scomposto in fibre, è impiegato per produrre la carta;

- può essere lavorato e scolpito;
- è stato un materiale da costruzione durante tutta l'evoluzione dell'umanità, da quando l'uomo iniziò a costruirsi le prime strutture di riparo dal freddo;
- è usato, come già detto, come combustibile per produrre riscaldamento.

Le proprietà dei vari tipi di legname variano a seconda del tipo di albero da cui provengono. Esistono tipi di legno molto chiari come quello del pioppo e del larice, o molto scuri come quello dell'ebano; ci sono legni teneri come la betulla e legni duri come il noce, ve ne sono di più o meno elastici, e alcuni che si lasciano lavorare meglio di altri.

Le **proprietà fisiche** indicano la natura e la struttura dei vari legnami, indipendentemente dall'uso che ne viene fatto.
Odore, colore, omogeneità: si riferiscono all'odore tipico dei legnami, alla tonalità del loro colore ed all'omogeneità di disposizione delle fibre.
Peso specifico: rapporto tra peso del legno (in kg) ed il suo volume. Può variare nello stesso legname in funzione della quantità d'acqua contenuta.
Igroscopicità: attitudine del legno ad equilibrarsi alle condizioni climatiche dell'ambiente nel quale è immerso, attraverso lo scambio di molecole di acqua con l'aria che lo circonda.
Porosità: capacità di assorbire l'umidità.

Le **proprietà meccaniche** riguardano la capacità del legno di resistere a sollecitazioni o sforzi improvvisi , e risultano molto buone.
Durezza: attitudine a resistere alla penetrazione di altri corpi più duri. In base a questa caratteristica, dunque, si distinguono legnami "teneri" e legnami "duri".
Resistenza: capacità dei legnami di resistere a forzanti e sollecitazioni che tendono a deformarli senza romperli. E' molto alta se la forzante agisce nel senso delle fibre, si riduce molto quando invece in direzione perpendicolare.
Elasticità: attitudine del legno a riassumere la forma originale dopo essere stato sottoposto a delle sollecitazioni.
Tenacità o resilienza: proprietà di resistere alle sollecitazioni dinamiche, cioè a bruschi

sforzi.

Le **proprietà tecnologiche**, infine, fanno riferimento alla predisposizione dei legnami a subire le lavorazioni.
Facilità al taglio: attitudine del legno a farsi lavorare con utensili taglienti. E' massima nella direzione delle fibre, minima nel senso perpendicolare ad esse.
Fendibilità: predisposizione a rompersi nel senso delle fibre per azione di un cuneo (per esempio un'ascia). Molto elevata nei legni teneri a fibre grosse e rettilinee (pino, abete).
Lucidabilità: proprietà di lasciarsi levigare per ottenere superfici lisce. Questa caratteristica varia a seconda del tipo di legno, ed è molto apprezzata dalle industrie del mobile.
Curvabilità: attitudine ad assumere deformazioni permanenti acquisite artificialmente. Caratteristica molto presente nei legnami umidi, può essere stimolata immergendo il pezzo da curvare in acqua calda o trattandolo con vapore acqueo ad alta temperatura.

Infine, uno sguardo a quelli che possono essere i **difetti** del legno, termine con il quale si definisce "qualsiasi alterazione della composizione cellulare e della struttura normale dei tessuti, che provochi un'alterazione delle fondamentali caratteristiche del legno"
[22]:
Attaccabilità da microrganismi, vegetali o animali: sono necessarie delle operazioni di protezione prima della messa in opera come carbonizzazione superficiale, spalmatura o iniezione di sostanze antisettiche.
Sviluppo anormale del tronco: il tronco può essere curvo a causa dell'azione del vento, il midollo può essere spostato o doppio.
Fibre torte: quando le fibre non sono parallele all'asse del tronco ma seguono un andamento ad elica, la resistenza è compromessa.
Nodi: sono un prolungamento di un ramo, all'interno del fusto o di un ramo più grande. I rami si sviluppano partendo dal midollo, la parte centrale del fusto, ed aumentano la loro dimensione aggiungendo ogni anno un anello di legno. Durante lo sviluppo dell'albero la maggior parte degli strati, specialmente quelli più interni, muoiono e gli strati successivi vi crescono sopra. La presenza dei nodi influisce sulla resistenza alla rottura, sulla deformabilità, sulla facilità di lavorazione e la tendenza alla formazione di

fessure**.** Sono difetti che in genere riducono la qualità del legname e ne abbassano il valore ove sia impiegato come materiale strutturale e sia importante la resistenza.
Cipollature: distacco totale o parziale di due anelli annuali consecutivi.
*Doppio alburno o lunatura**:*** interposizione tra anelli sani di un anello morto.
Deformazioni (imbarcamento e ritiro): il ritiro dimensionale del legno è un fenomeno inevitabile dovuto alla perdita d'acqua contenuta nell'albero in vita: esso inizia quando l'umidità del legno scende al di sotto del 30% circa del suo peso secco, cioè quando comincia a perdersi "l'acqua di saturazione" assorbita nelle pareti cellulari. In linea generale le essenze dure o pesanti si ritirano maggiormente di quelle tenere o leggere; il ritiro si ripercuote sulla forma dei pezzi essiccati e l'intensità delle contrazioni varia a seconda delle specie legnose e a seconda delle direzioni anatomiche del legno;
buona parte degli inconvenienti che si lamentano nell'impiego del legno, dipendono dall'*imbarcamento*: esso è connesso al ritiro ed è in stretta dipendenza della posizione delle tavole nel tronco; è dovuto alla notevole diversità di valori che esiste tra il ritiro tangenziale e quello radiale (il ritiro maggiore si verifica in senso tangenziale, con valore doppio del ritiro radiale, mentre il ritiro longitudinale è pressoché nullo).

1.1.2 La gestione forestale sostenibile

Le foreste rappresentano una ricchezza inestimabile per il nostro pianeta e coprono circa il 30% della superficie terrestre. Sebbene le foreste Europee rappresentino solo il 5% di quelle mondiali, il settore forestale Europeo copre circa il 25% dell'attuale produzione mondiale di prodotti forestali e circa il 30% dei pannelli a base di legno, carta e cartone. Il dato incoraggiante è che le foreste Europee sono in continua espansione, nonostante la domanda interna di beni forestali sia in crescita e l'Unione Europea sia diventata uno dei maggiori esportatori di legname [24].
In ottica internazionale, le preoccupazioni provengono dai Paesi della fascia tropicale e sub-tropicale, dove le foreste stanno via via diminuendo a causa degli incendi, dell'agricoltura intensiva e di altre forme di sfruttamento, solo in parte ad opera dell'industria del legno.
Per quanto riguarda l'Italia, l'incremento delle superfici forestali nazionali è

perfettamente in linea con quanto sta avvenendo nel continente europeo.
La superficie europea delle foreste è di oltre 1 miliardo di ettari che si estendono attraverso 44 paesi, e la loro crescita è di circa 500000 ettari all'anno. Questa superficie conta 20 miliardi di metri cubi di legno, ma solo il 64% dell'incremento annuale viene tagliato e destinato ai vari usi. Alla luce di questo, e degli oltre 645 milioni di metri cubi di legno che ricrescono ogni anno in Europa, possiamo concludere che il legno può considerarsi sostanzialmente una risorsa inesauribile [24].
L'industria forestale europea è consapevole del fatto che il suo futuro dipende dalla protezione e dall'espansione delle foreste. Per questo tutti i paesi europei dispongono di leggi e provvedimenti in termini di riforestazione, con l'obiettivo di garantire sempre uno scarto positivo tra alberi piantati ed alberi tagliati.

Si può dunque affermare che la sostenibilità di questo materiale non è assoluta, nel senso che non può prescindere da una corretta e coscienziosa gestione delle foreste e dei boschi da parte dell'uomo. Inoltre sempre più cittadini, professionisti e amministrazioni in generale stanno iniziando a ragionare in un'ottica di sostenibilità, ovvero a comprendere l'importanza dell'elevata disponibilità di una risorsa rinnovabile.
Onde evitare di deludere le legittime aspettative di chi crede fortemente nel legno come risorsa in grado di creare reddito, ed al fine di poter parlare effettivamente di risorsa rinnovabile, bisogna comprendere tutti quegli aspetti di gestione dei boschi e delle foreste in modo da assicurare una sostenibilità ambientale, economica e tecnica.
In Europa si parlò per la prima volta di gestione sostenibile delle foreste nel 1993 durante la Conferenza Interministeriale pan-europea sulla protezione delle foreste: venne stabilito, testualmente, che "*la gestione e l'utilizzo delle foreste deve essere operato con modalità e livelli tali da salvaguardare la loro produttività, biodiversità, capacità di rigenerazione , vitalità e la lora capacità di svolgere, oggi e soprattutto in futuro, le loro funzioni ecologiche, economiche e sociali a livello locale, nazionale e globale, senza arrecare danni ad altri ecosistemi* " [21, 24].
Pertanto una gestione sostenibile delle foreste non può prescindere da un'attenta pianificazione, ed organizzazioni come la FAO (Food and Agriculture Organization) nel settore della pianificazione forestale, offrono strumenti e informazioni essenziali per la loro gestione. Essendo considerate dei veri e propri ecosistemi, occorre tenere conto di

tutti gli aspetti sociali ed ambientali, quali il cambiamento climatico, l'inquinamento, la protezione e la certificazione delle biodiversità, che possono avere delle influenze sulla vita delle foreste.
In sostanza, la gestione sostenibile delle foreste deve conciliare la protezione dell'ambiente con uno sviluppo socio-economico del territorio, conservando e migliorando il territorio attraverso la selvicoltura.

Focalizzando l'attenzione sul proprietario/imprenditore boschivo, la sostenibilità si traduce nella valorizzazione dei prodotti ottenuti e dei servizi offerti per ricavarne reddito, almeno parzialmente da reinvestire. Per fare questo, occorre mettere in atto delle strategie in relazione alle capacità imprenditoriali e alla presenza di una serie organizzata di servizi di impresa. La gestione forestale sostenibile è diventata, peraltro, anche un punto cardine della legislazione forestale nazionale, attraverso il Decreto legislativo 227/01 del 16 giugno 2005, che ha definito le Linee Guida di Programmazione Forestale [21].
Con l'obiettivo di aggiungere valore alla produzione e trasferire informazioni corrette e rassicuranti al consumatore finale, sta acquisendo notevole importanza la certificazione forestale. Rappresenta anche un sistema riconosciuto per una valutazione della sostenibilità, attraverso una verifica della conformità, del sistema di gestione di una qualsiasi organizzazione, a dei particolari requisiti ambientali, economici e sociali. La certificazione puo affrontare due diverse problematiche:

- la gestione forestale;
- la rintracciabilita dei prodotti certificati o catena di custodia (chain of custody).

La prima interessa prevalentemente i proprietari e gestori forestali (anche riuniti in associazioni); la seconda riguarda soprattutto le industrie di trasformazione che devono documentare il corretto passaggio del legname certificato dalla foresta al consumatore.

Per concludere, non va dimenticato che le foreste svolgono diverse funzioni "naturali" ed aiutano a proteggere il suolo, le acque e l'ecosistema in generale. Ecco perché circa il 12% delle foreste europee è specificatamente protetto, con l'obiettivo di preservare diversità biologiche e di paesaggio.

1.1.3 Sostenibilità, sicurezza e durabilità

Il processo di trasformazione edilizia del nostro Paese verso una maggiore sostenibilità ed un uso più equo delle risorse ambientali, sta avvenendo parallelamente allo sviluppo della tecnica delle costruzioni in legno e alla crescente diffusione che i sistemi edilizi in legno hanno avuto in tutto il continente europeo e in diverse zone d'Italia. I risultati delle esperienze tecniche e scientifiche hanno dimostrato che il legno non è solo un materiale da costruzione naturale e rinnovabile, ma che prima di tutto è sicuro ed economico.
Le amministrazioni pubbliche, così come i costruttori privati, devono costantemente confrontarsi con la necessità di avere garanzie e certezze in merito al rispetto di tempi e costi, in qualsiasi intervento di edilizia pubblica e residenziale. Le strutture di legno rispondono perfettamente a queste esigenze ed è possibile realizzare edifici di dimensioni importanti, composti da diversi piani, che soddisfino pienamente i più severi requisiti di sicurezza.

Il valore "ecologico" del legno, come materiale da costruzione, è facilmente intuibile: proviene dagli alberi, la cui riproducibilità e il cui rinnovamento sono determinati dall'unica sorgente energetica definibile come illimitata, cioè il sole.
Il CEI-Bois, Confederazione europea delle industrie del legno, nel suo documento "Tackle Climate Change: Use Wood", espone come il legno svolga un ruolo fondamentale nella lotta al cambiamento climatico; le foreste, infatti, producendo legno riducono la quantità di anidride carbonica in atmosfera. L'utilizzo del legno genera meno emissioni di CO_2 rispetto a quelle derivanti dall'utilizzo di altri materiali. Il ruolo svolto dal legno nella battaglia al cambiamento climatico viene affrontato anche nel Sesto Programma di azione ambientale dell'Unione Europea, dove si afferma che "*l'uso del legno e dei prodotti derivati dovrebbe essere maggiormente sfruttato sia a livello domestico che industriale, in virtù della capacita di questo materiale di assorbire il carbonio"* [21].

In un'ottica di analisi dei costi, il legno garantisce un'importante riduzione dei tempi di costruzione. Trattandosi di un materiale leggero, il trasporto degli elementi in cantiere è

semplice e veloce, così come il montaggio dei pezzi, eseguito interamente a secco e mediante collegamenti meccanici con viti, bulloni e piastre d'acciaio.

Figura 1.1: Edificio di due piani realizzato dall'Ing. G. Moschi a Scarperia (FI). Tempo di montaggio delle strutture: 4 giorni.

Contrariamente al pensiero comune, non è necessario che un edificio a struttura di legno sia legnoso anche esteriormente. Le costruzioni possono presentare struttura di legno a vista o, come accade frequentemente, essere rivestite con intonaco, mattoni, pietra e quant'altro. Il legno rappresenta già di per se un ottimo isolante termoacustico, e accompagna perfettamente l'utilizzo di materiali per l'isolamento (lana di legno, sughero ecc.). Isolando con materiali naturali un edificio di legno, si possono raggiungere facilmente i migliori parametri di attribuzione della classe energetica degli edifici, pur senza incidere significativamente sui costi.

Per quanto riguarda l'aspetto della sicurezza, esistono diverse esperienze scientifiche nazionali ed internazionali che dimostrano l'elevato livello di sicurezza di edifici interamente costruiti in legno, composti anche di molti piani, in diverse parti del mondo. Proprio in Italia, il Consiglio Nazionale delle Ricerche Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree (CNR-IVALSA) ha svolto delle importanti ricerche

scientifiche in merito al comportamento strutturale di edifici multipiano in legno, che ne hanno dimostrato l'eccellente resistenza nei confronti di eventi eccezionali quali il sisma e il fuoco.

Figura 1.2: Prove sismiche eseguite dal CNR-IVALSA sulla piattaforma sismica sperimentale piu grande al mondo, la E-Defence del NIED a Miki nei pressi di Kobe, Giappone (2007) su un edificio di sette piani.

Contrariamente all'opinione comunemente diffusa, il legno ha un'ottima reazione all'esposizione al fuoco, decisamente migliore di quella di molti altri materiali, in quanto brucia molto lentamente e con velocità nota. Paradossalmente, il punto debole di una struttura di legno nei confronti di un incendio può essere proprio l'eccessiva presenza di componenti di acciao non protetti.

Come possiamo apprezzare in figura 1.3, il CNR-IVALSA eseguì nel 2007 una prova di incendio reale su un edificio di tre piani, utilizzando un carico di incendio doppio rispetto a quanto previsto dalla normativa europea. L'incendio venne fatto partire da una stanza posta al primo piano e il risultato fu sorprendente: dopo un'ora le strutture di legno portanti rimasero intatte e solo in minima parte attaccate dal fuoco, e l'incendio

non si propagò negli altri ambienti dell'edificio.

Figura 1.3: Prova di incendio di 60 minuti eseguita dal CNR-IVALSA presso il Building Research Institute, Tsukuba, Giappone (2007) su un edificio di tre piani (fonte: www.progettosofie.it).

L'ultima considerazione sulle caratteristiche delle strutture in legno, non certo ultima per importanza, riguarda la loro durabilità. Basti pensare, come mostrato dalla figura 1.4, alle Pagode giapponesi, splendidi esempi di edifici costruiti interamente in legno, leggere, resistenti e flessibili, che hanno resistito per diversi secoli a terremoti distruttivi e sono arrivate ai giorni nostri in ottime condizioni. Strutture in legno adeguatamente progettate e conservate, possono tranquillamente durare dei secoli.

Figura 1.4: pagoda del tempio di Horyu-ji a Nara, Giappone, anno di costruzione 607 d.c., 5 piani, 31,5 m di altezza.

Il concetto di durabilità di una struttura è definito come “conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture affinchè i livelli di sicurezza vengano mantenuti durante tutta la vita dell’opera”, ed è considerato un requisito fondamentale per la progettazione di una costruzione, al pari di resistenza meccanica e stabilità [21].

La conoscenza del legno, la corretta progettazione e realizzazione anche dei più piccoli dettagli e, soprattutto, la redazione di un corretto programma di manutenzione, consentono di raggiungere e superare agevolmente i livelli di vita nominale della struttura previsti dalle normative.

1.2 ALCUNI CENNI SULL'EVOLUZIONE STORICA DELL'USO DEL LEGNO IN EDILIZIA

1.2.1 L'impiego del legno per le costruzioni

Come già accennato nel paragrafo precedente, il legno insieme al fango, alla pietra ed ai mattoni è stato fra i primi materiali usati per costruire strutture stabili.
Per molti secoli ha rappresentato l'unico materiale adatto alla realizzazione di strutture portanti orizzontali grazie alla sua resistenza e leggerezza e fin dall'antichità è stato usato per tutti i componenti costruttivi.
L'uso del legno come elemento strutturale ha però sempre dovuto fare i conti con la sua elevata elasticità, che rappresenta senz'altro un vantaggio, come risposta alle azioni dinamiche, ma rende difficile la realizzazione di scheletri sufficientemente rigidi. Per ovviarvi è stato fatto ricorso all'uso di controventi diagonali secondo diverse modalità, a seconda del periodo storico e del luogo.
Un passo evolutivo importante nell'utilizzo del legno è rappresentato senz'altro dalla nascita dei sistemi ad intelaiatura lignea, che trovano forse l'espressione più matura nell'*OPUS CRATICIUM* romano (figura 1.5). Questa tecnica, che ha subito successive varianti ed evoluzioni tutt'ora utilizzate in centro e nord Europa, unisce alla rapidità costruttiva del traliccio portante in legno la sicurezza delle chiusure in terra cruda, mattoni o pietra [25].

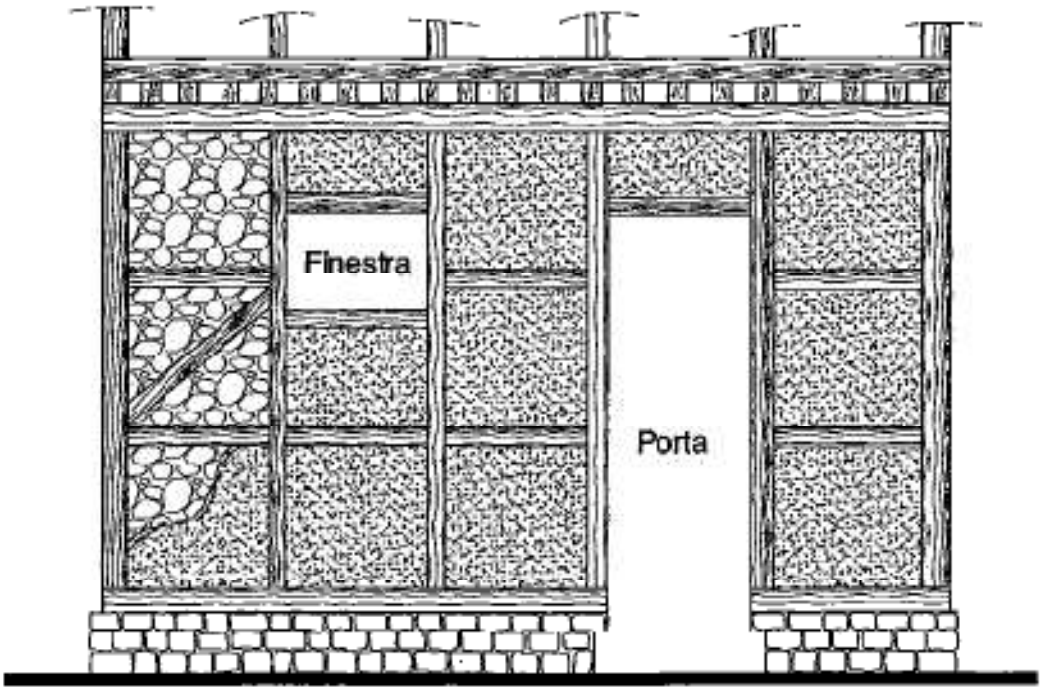

Figura 1.5: "Opus craticium" romano: per garantire la rigidità necessaria, il tamponamento ai piani inferiori era in muratura di pietra o mattoni per ragioni di durabilità, mentre quello ai piani superiori era in fango e paglia.

A parte questa e altre rare eccezioni, l'elemento costruttivo in legno lasciato a vista è stato quasi sempre sinonimo di costruzione povera. L'architettura progettata per durare nel tempo tendeva a limitare l'uso di questo materiale, o a proteggerlo sotto rivestimenti di vario genere.

Storicamente, nei vari contesti geografici e socioculturali, il processo di lenta ma progressiva sostituzione del legno con elementi realizzati in materiali più duraturi è sempre stato evidente. Si tratta di mutamenti dettati da ragioni estetiche e di sicurezza, in quanto destinati a soddisfare meglio requisiti di resistenza per esempio agli incendi (gli incendi di Roma dei primi due secoli dopo Cristo, quelli di Londra del 798 e 992 e quello di venezia nel 1106, solo per citarne alcuni). Le colonne in legno, in origine presenti nei templi greci, furono sostituite con elementi lapidei in grado, però, di rappresentare una "citazione" della struttura originaria, come reinterpretazione del tronco.

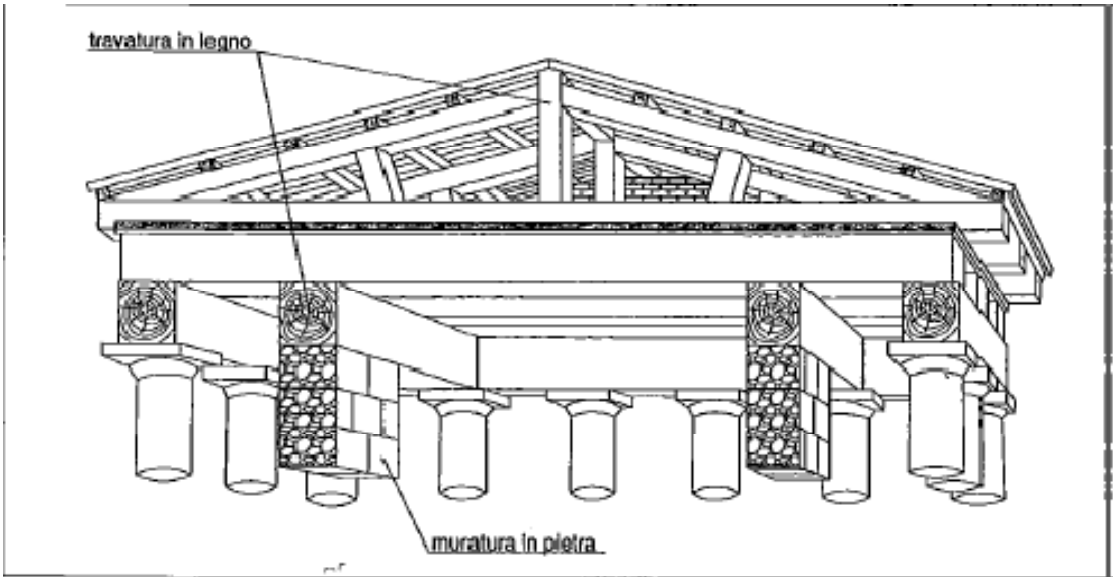

Figura 1.6: componente di legno strutturale nel tempio greco

Tornando ai procedimenti di costruzione, un accenno meritano anche gli edifici che nel passato venivano realizzati nelle regioni del Nord Europa, che impiegavano scheletri portanti in legno, dalle forme alquanto complesse, che amplificavano la percezione dello spazio interno. Ciò che caratterizzava questo sistema era l'unione tra una struttura intrecciata per ottimizzare le linee di forza ed un'estrema precisione nel realizzare le connessioni (figura 1.7).

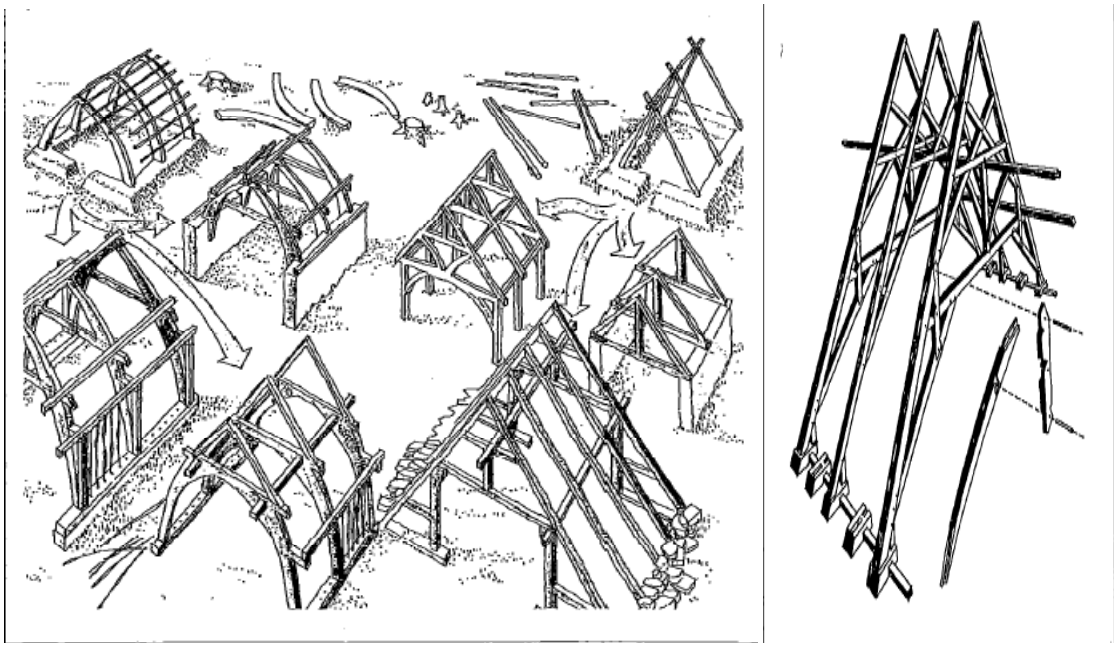

Figura 1.7: costruzioni a struttura lignea intelaiata del Nord Europa

Nelle zone montane o nelle grandi pianure, caratterizzate comunque da ampie foreste, si svilupparono metodi costruttivi fondati sulla costruzione di pareti portanti continue sul perimetro esterno, le costruzioni a *BLOCKBAU*. La peculiarità di queste costruzioni stava nel fatto che tutti i sottosistemi della costruzione venivano realizzati in legno: porte, battenti, finestre, rivestimenti interni e manto di copertura, sia orizzontali che verticali. L'unica eccezione era rappresentata dall'attacco a terra, solitamente in pietra.
Attorno all'Ottocento, durante la nascita dei nuovi centri urbani nelle grandi colonizzazioni delle zone boschive occidentali del nord America, alle costruzioni in tronchi, dal carattere duraturo ma dall'aspetto grezzo, si sostituirono dei nuovi brevetti costruttivi, caratterizzati da telai in legno chiusi da assiti (copertura ad assi incastrati fra loro) o più tardi da pannelli sempre in legno. Rispondevano alle nuove esigenze del mercato, con l'obiettivo di raggiungere un livello di industrializzazione tale da velocizzare le operazioni di posa ed ottimizzare l'uso della materia prima, attraverso unioni facili e veloci (con i chiodi).
I metodi costruttivi che vennero progettati, tra i quali il sistema "ballon" e il sistema "platform", dei quali si parlerà più nel dettaglio in seguito, si basavano sull'uso di chiodi e tavole o piccole travi standardizzate.
Nei secoli successivi le varianti tecnologiche di questi procedimenti furono moltissime, molte delle quali continuano a produrre risultati interessanti ancor oggi, come vedremo nel paragrafo successivo.

1.2.2 Il legno: opzione tecnologica globale o componente del mix tecnologico ?

A questo punto diventa interessante capire se e quanto, ad oggi, l'alternativa tecnologica del legno possa essere in alcuni frangenti considerata un'opzione tecnologica, uno "stile tecnologico" d'intervento capace di influenzare il processo progettuale, l'organizzazione del cantiere e la tipologie di imprese coinvolte.
Nei procedimenti derivati dal balloon frame e dal platform, quasi tutti gli elementi tecnici sono risolti con l'impiego di segati uniformati di piccole dimensioni, più tardi assieme a pannelli di legno ricostruito. L'intero processo edilizio è condizionato da

questa alternativa tecnologica, che si concretizza in termini di tempistiche realizzative, incidenza dei materiali rispetto alla manodopera, dimensione ottimali degli spazi interni e via dicendo [25].

Gli edifici della tradizione nord e centro europea (alcuni,analoghi, erano presenti anche nelle nostre regioni in epoca romana e medievale) presentano una struttura a traliccio ligneo così importante da poter essere considerata la scelta tecnologica dominante.
Un evento poco prevedibile, in Italia, fino agli anni ’90 è stata la riscoperta del legno per impieghi principalmente strutturali, che erano ormai esclusivamente affidati ad altre tecnologie, e anche per rilanciare altri settori in crisi come quello dei serramenti in legno, grazie soprattutto alla nascita del legno lamellare incollato (che verrà affrontato in seguito), impiegato in ambito residenziale ed in quello delle grandi luci (come palazzetti e strutture sportive, quindi molto grandi e che necessitano di luminosità elevata). La presenza massiccia del legno lamellare e delle tecniche ad esso collegate è diventata, tra la fine degli anni ’90 e l’inizio del ventunesimo secolo, un’opzione tecnologica globale che delinea un vero e proprio stile di intervento, con le dovute conseguenze anche in termini di procedure progettuali e di organizzazione esecutiva del cantiere.
Tuttavia, anche per il legno lamellare l’utilizzo più corretto, in termini di rapporto costo-prestazioni, sembrava essere quello di strutture orizzontali da affiancarsi a strutture a crescita verticale in cemento armato, riprendendo pertanto il concetto di tecnologie miste. Di conseguenza emersero anche le dovute considerazioni in merito alle soluzioni migliori di interfaccia fra le diverse tecnologie, in modo da ottimizzare soprattutto i tempi morti nell’alternanza tra le diverse lavorazioni e tra le relative squadre di lavoro specializzate.
In conclusione, possiamo affermare che fino alla fine degli anni ’90 la tecnica del legno massiccio e in misura inferiore anche quella del legno lamellare, venivano impiegate all’interno di una logica di mix tecnologico, per dare ad ogni parte della struttura edilizia una soluzione tecnologica appropriata.

1.2.3 Sintesi evolutiva del mercato delle costruzioni in legno dal dopoguerra ad oggi

L'impiego del legno nell'edilizia nella seconda metà del ventesimo secolo, fino ai nostri giorni, situazione che verrà esposta più avanti, può essere riassunto come segue [25]:

Anni '50, la "casa artigiana":

- Esigenza di ricostruzione dopo la guerra.
- Legno usato come unica alternativa tecnologica nella fabbricazione di serramenti.
- Solai e coperture ancora in legno, ma iniziano a cedere importanti quote di mercato alle tecnologie alternative.

Anni '60, "la casa va in fabbrica" :

- Esperienza della prefabbricazione edilizia, importante in ottica di ricerca della qualità edilizia.
- Elevata domanda di case, grazie a forti migrazioni verso il nord.
- Profili in legno esclusi definitivamente dal campo strutturale.
- Legno mantiene spazi d'azione nei serramenti; una grave crisi è tuttavia imminente in quanto i produttori e gli artigiani non sono ancora in grado di rispondere alla sfida dell'industrializzazione edilizia.
- A seguito di questa "rivoluzione" non si provvede ad aggiornare e riqualificare le prestazioni del legno, come accade per altri materiali.
- E' quindi inevitabile un tracollo anche nel settore di pavimenti, serramenti ecc.

Anni '70, "la macchina va in cantiere" :

- Industrializzazione delle fasi esecutive in cantiere.
- Si opera principalmente su cantieri di modesta estensione, causando una diminuzione radicale della necessità di componenti prefabbricati.

- I produttori del settore legno capiscono che devono confrontarsi con il mercato e con le richieste di prestazioni e qualità se vogliono seguire le innovazioni di progetto e di processo introdotte in cantiere.
- Compare per la prima volta in maniera decisa il problema del restauro e della sostituzione di antichi elementi in legno: studiando le strutture del passato si scoprono conoscenze tecniche in grado di evidenziare le potenzialità progettuali del legno.
- Nascono le industrie produttrici di profili in legno lamellare sia per elementi strutturali che per serramenti.
- Si inizia a pubblicizzare il legno non solo per l'aspetto "ecologico", ma per la sua concorrenzialità di prestazioni rispetto ad alluminio, acciaio, plastica ecc; tuttavia, non essendo in grado di concorrere direttamente da solo, viene demolito, ridotto in pezzettini e ricomposto per rinascere in tavole, fibre ecc.

Anni '80, "la qualità e la crisi" :

- Tendenza allo sviluppo del settore dell'artigianato parallelamente a quello dell'innovazione tecnologica, laddove il legno è carente, con l'aiuto di altri materiali.
- Si procede così alla riconquista di significative quote di mercato.

Anni '90, "il mattone alla riscossa" :

- Come già in evidenza negli anni '80, i sistemi costruttivi in piccoli elementi, insieme a telai portanti in cemento armato per edifici pluripiano, tornano a soppiantare quasi completamente i procedimenti costruttivi di tipo prefabbricato e in parte quelli legati all'industrializzazione del cantiere degli anni '60 – '70.
- Il legno continua il suo percorso di sviluppo e di trasformazioni profonde: lamellare, compensato, truciolare, sfibrato ecc.
- Anni di profondo studio, di profonda ricerca, con la convinzione che molto sia ancora da scoprire e che le potenzialità di impiego del legno in edilizia siano immense, grazie soprattutto alla rinnovabilità del legno come risorsa ambientale.

Anni 2000:

- Nei primi anni del ventunesimo secolo avviene un ritorno via via crescente alle coperture a struttura completa di legno. Nascono nuove tecnologie di consolidamento di solai e coperture in legno, sia a base di legno che "miste", quali ad esempio la struttura collaborante legno-calcestruzzo per i solai o l'utilizzo di nuove resine.
- Verso la metà degli anni 2000 le nuove tecnolgie iniziano ad essere utilizzate anche per la realizzazione di solai nuovi.
- Sul finire degli anni 2000 si concretizza la scelta progettuale di costruire strutture intere esclusivamente a base di legno, grazie soprattutto alla diffusione del pannello XLAM (che vedremo in seguito). Si sviluppano le pareti, i serramenti e i pavimenti esclusivamente in legno.

Pertanto, se è vero che fino alla fine degli anni '90 la tecnica del legno massiccio e in misura inferiore anche quella del legno lamellare, venivano impiegate all'interno di una logica di mix tecnologico, con il nuovo millennio l'edilizia in legno è diventata anche una vera e propria opzione tecnologica globale. Inoltre, questa edilizia innovativa sta crescendo continuamente, sottraendo quote di mercato proprio all'edilizia tradizionale.

1.3 MATERIALI IN LEGNO PER L'EDILIZIA ED EDIFICI A STRUTTURA DI LEGNO

In questo paragrafo verranno introdotti e presentati i principali materiali in legno per l'edilizia ed i vari utilizzi ai quali sono destinati. Per ovvie ragioni non ci si soffermerà più di tanto sugli aspetti puramente tecnici o normativi dei vari tipi di elementi strutturali, in quanto l'obiettivo della tesi è un altro, ma una presentazione di come opera l'edilizia in legno appare necessario completamento dell'esposizione.

1.3.1 Legno massiccio e prodotti da legno massiccio

Con l'evoluzione delle tecniche di lavorazione ed assemblaggio, le tipologie di elementi strutturali in legno sono divenute sempre piu numerose. Fra queste, il legno massiccio, ovvero quello ottenuto solamente dalla segagione del tronco, rappresenta la tipologia con maggiore tradizione in edilizia ed attualmente viene utilizzato principalmente per interventi di recupero e/o sostituzione di strutture esistenti.

Grazie alle moderne tecniche di misurazione e monitoraggio della qualità del legno, gli addetti ai lavori sono in grado di eseguire una selezione accurata delle caratteristiche intrinseche dei tronchi; i migliori di questi, per forma e dimensioni, saranno destinati alla produzione di legno massiccio.

Il vantaggio di un elemento in legno massiccio è che la sua struttura e la sua composizione, rispetto alla materia prima tronco dalla quale è ricavato, hanno subito poche modifiche e lavorazioni, e per questo si utilizza principalmente per dare alle strutture un aspetto più tradizionale o per recuperare e ristrutturare edifici storici [21].

Va ricordato, comunque, che è possibile ricavare elementi da qualsiasi tipologia di tronco, e solo l'esperienza del progettista consente di impiegarli in maniera ottimale nelle varie parti dell'edificio, contenendo così i costi.

TRAVI USO FIUME E USO TRIESTE

Due fra gli elementi strutturali in legno massiccio più utilizzati in Italia sono sicuramente le travi uso Fiume e uso Trieste.

La travatura uso Fiume viene ricavata principalmente dall'abete rosso, solo all'occorrenza e su richiesta anche da altri tronchi. La lavorazione viene eseguita mediante squadratura meccanica continua e parallela dalla base alla punta dell'elemento sui quattro lati, con facce continue ortogonali tra loro e con angoli smussati, grezzi o piallati. Questa lavorazione intacca solo superficialmente il legno, garantendo così la continuità delle fibre che lo compongono.

Le travi uso Fiume sono utilizzate in carpenteria, per tetti, coperture e impalcature edili.

La travatura uso Trieste rispetta a grandi linee quanto detto per le travi uso Fiume, sia in termini di tronco dal quale si ottiene, sia per quanto riguarda gli utilizzi possibili. Anche la lavorazione è molto simile alle precedenti, con la differenza che la squadratura meccanica è continua e conica lungo la sezione longitudinale, seguendo l'andamento naturale del tronco. Una rappresentazione esemplificativa è data dalla figura 1.8.

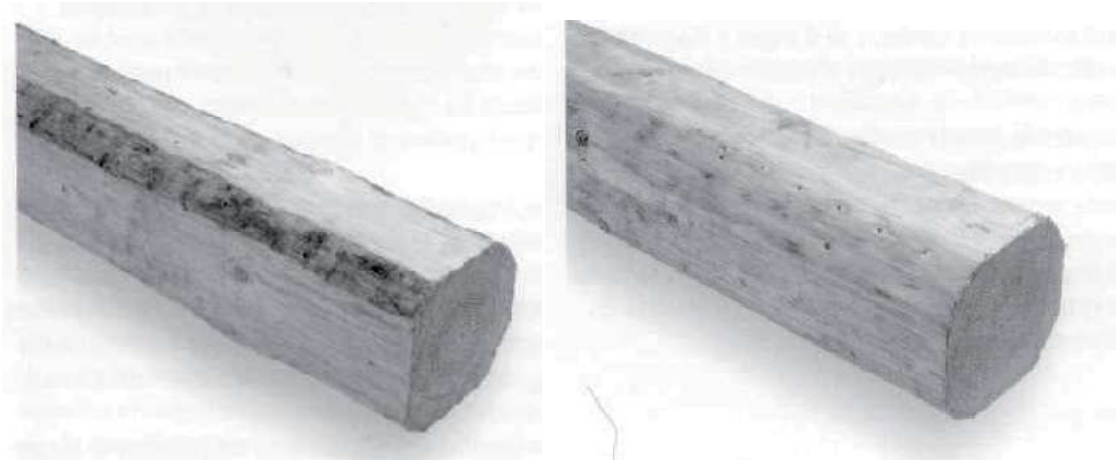

Figura 1.8: Travi uso Trieste (a sinistra) e travi uso Fiume (a destra)

LEGNAME MASSICCIO DA COSTRUZIONE KVH

Si tratta di legno massiccio squadrato e piallato, giunto a pettine sull'intera sezione trasversale. Viene solitamente prodotto dall'Abete rosso, ma all'occorrenza può nascere anche da Pino, Abete bianco o Larice.
A differenza del massiccio tradizionale visto finora, disponibile in diverse dimensioni a seconda dei vari diametri del tronco, il KVH è disponibile in misure standard; la sezione trasversale può essere intera o giuntata a pettine (vedasi figura 1.9), arrivando fino a 18 metri di lunghezza. Il collante per i giunti a pettine consiste in resine poliuretaniche, le quali devono superare un opportuno test di idoneità.
Il legno massiccio da costruzione (KVH) può essere destinato a tutti gli elementi strutturali. E' particolarmente indicato nella realizzazione di edifici in legno, per pareti, solai e strutture di copertura (tetti).

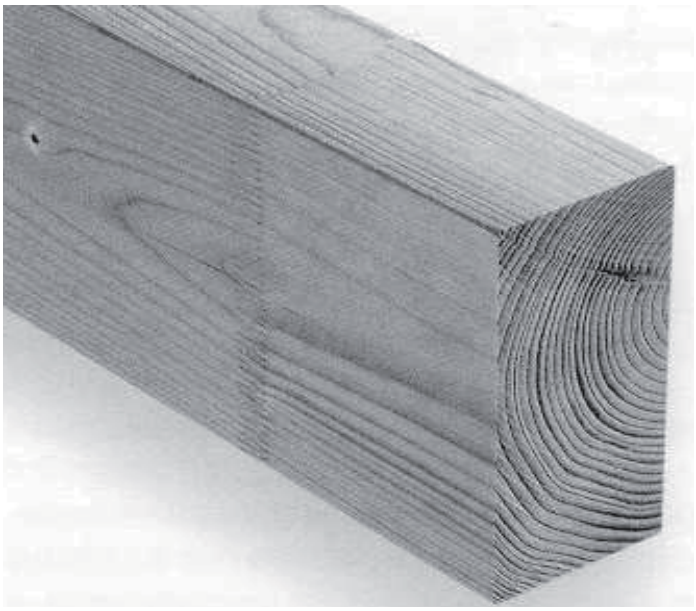

Figura 1.9: porzione di elemento massiccio giuntato a pettine

TRAVI BILAMA E TRILAMA

Sono travi composte da due o tre tavole, generalmente di abete rosso, essiccate ed incollate. Da questo procedimento si ottiene un legno massiccio dalle caratteristiche

tecniche ben definite, di ottima qualità e con una tendenza minima a fessurarsi. Viene anche definito come una via di mezzo tra legno massiccio e legno lamellare, in quanto nasce unendo due o tre tavole di legno massiccio incollate con le stesse resine del legno lamellare (si veda in seguito), ma con spessore superiore a quest'ultimo. Si dice che queste travi possano sopperire ai limiti del legno massiccio con la tecnologia del legno lamellare.

Figura 1.10: travi a due e tre lamelle

1.3.2 Il legno lamellare: utilizzi e vantaggi

I risultati e gli standard qualitativi raggiunti dal legno lamellare negli ultimi anni, lo rendono assolutamente adatto per essere utilizzato in strutture anche complesse dal punto di vista statico. Essendo in grado di far fronte senza troppi problemi al moderno approccio verso la progettazione strutturale, ad oggi il legno lamellare risulta molto competitivo nei confronti dei più comuni materiali da costruzione, quali acciaio e calcestruzzo, sia in termini di costo che secondo aspetti puramente tecnici [21].
Il legno lamellare incollato ha permesso di superare con una certà facilità i limiti relativi alle dimensioni dei singoli elementi di legno ed ha introdotto la possibilità di realizzare elementi a sezione variabile ed elementi curvi, come archi e portali. Inoltre tale tecnologia consente di far fronte alle problematiche legate ai difetti intrinsechi del legno, che invece colpiscono gli elementi in legno massiccio. In particolare, attraverso

una selezione ed una lavorazione mirata delle lamelle, è possibile eliminare o ridurre di molto la presenza dei nodi, che potrebbero altrimenti limitare e ridurre la resistenza meccanica dell'elemento. Inoltre, il fatto di unire tavole di spessore ridotto, consente di controllare meglio l'umidità di ogni lamella, adattandola alle condizioni ambientali future della struttura e limitando il rischio di fessurazioni e di attacco biologico.

Per quanto riguarda le dimensioni limite degli elementi strutturali, esse sono determinate solo dall'ingombro di trasporto (lunghezza massima 42 metri, altezza massima 3,80 metri), mentre l'altezza della sezione non può superare i due metri per ragioni di piallatura. La limitazione dello spessore della sezione (fra i 10 ed i 24 cm), è dovuta alla precauzione di evitare tensioni interne che tavole maggiori di 20 cm potrebbero innescare.

Il legno lamellare risulta molto leggero (400 kg/m^3, ovvero circa 1/6 del calcestruzzo) e, considerando anche le sue elevate prestazioni meccaniche, questo si ripercuote in una maggior praticità di costruzione e messa in opera, nonché in una riduzione dei costi di trasporto.

E' consigliato il suo utilizzo in tipologie strutturali semplici, ovvero con ridotto o assente utilizzo di protesi metalliche, con notevoli vantaggi nei confronti del fuoco e del sisma. Contrariamente a quanto saremmo portati a pensare, le protesi metalliche rappresentano dei punti di debolezza potenziale e devono essere attentamente controllati e verificati. Infatti il legno lamellare ha il pregio di resistere bene agli agenti aggressivi esterni, ma per sfruttare questa caratteristica occorre non intervenire, o intervenire il meno possibile, con giunzioni o collegamenti in ferro od altri materiali più facilmente aggredibili.

Le strutture in legno lamellare sono molto duttili, cioè possono subire grosse sollecitazioni o deformazioni senza però rompersi, e questo le rende particolarmente adatte alla costruzione in zone sismiche. Anche la resistenza al fuoco, come già ampiamente spiegato nel primo paragrafo di questo capitolo, è almeno pari, se non migliore, a quella degli altri materiali da costruzione, con il vantaggio che in caso di cedimenti strutturali il peso del materiale in crollo sarebbe notevolmente inferiore. Le principali carenze del legno lamellare (e probabilmente del legno più in generale) sono riconducibili allora alla combustibilità, all'instabilità dimensionale in presenza di

variazioni di umidità ed alla deperibilità. Sulle prime è già stato spiegato il buon comportamento del legno lamellare; rimane da affrontare il problema della deperibilità biologica, ovvero il degrado delle strutture ad opera di tarli e muffe. I trattamenti più comuni vengono praticati sul legname durante la fabbricazione, ma anche il progettista può e deve contribuire alla lunga conservazione delle strutture adottando alcuni accorgimenti, ad esempio evitando di lasciare le testate delle travi esposte alle intemperie ed ai raggi del sole.

1.3.3 Pannelli a base di legno

L'utilizzo dei pannelli a base di legno combinati con elementi in legno massiccio, ha reso possibile lo sviluppo del sistema costruttivo *platform frame* (che vedremo nel paragrafo 1.3.5), che rappresenta da vari decenni lo standard nell'edilizia in legno in USA e Canada, in rapida diffusione anche in Europa e in Italia. Un sistema efficiente che permette di conciliare rapidità di esecuzione ad un ottima sicurezza sismica e statica.
Esistono diverse tipologie di pannelli a base di legno, in grado di andare incontro a tutte le esigenze costruttive [21]:

Pannelli di legno massiccio: noti anche come pannelli "lamellari", sono composti da listelli o tavolette incollati lungo i bordi o, nel caso di pannelli a più strati, anche sulle facce

Figura 1.11: porzione di pannello di legno massiccio

Pannelli di legno compensato e multistrati: sono formati da una serie di strati, di solito dispari, di sfogliati sovrapposti, con direzione delle fibre di legno disposta in modo alternato ad angolo retto. Tipologia idonea per uso strutturale.

Figura 1.12: porzione di pannello multistrato

LVL (laminated veneer lumber): prodotto formato da strati di sfogliato sovrapposti incollati, con fibratura in parallelo e spesso giuntati di testa. Prodotto realizzato normalmente in grandi dimensioni, destinato soprattutto ad usi strutturali.

Pannelli listellari: formati con strati esterni di sfogliato ed uno strato (in qualche caso di più) di un materiale più spesso, a formare l' "anima" del pannello.

Pannelli di particelle ("truciolari"): composti da materiali legnosi normalmente riciclati, ridotti in frammenti e incollati tramite pressatura.

Pannelli di scaglie: le scaglie possono essere orientate, come nel caso dei pannelli OSB (oriented strated board), oppure non orientate come nel caso dei waferboard. Le scaglie vengono incollate per pressatura a caldo.

Figura 1.13: copertura industriale realizzata con pannelli OSB

Pannelli ad assi incrociati XLAM: pannelli di grandi dimensioni formati da tavole incollate a strati incrociati, usati per la realizzazione di pareti e solai anche di edifici esclusivamente a struttura di legno.

Figura 1.14: pannelli XLAM

Figura1.15: edificio in costruzione con pannelli XLAM

Pannelli di fibre: sono ottenuti dalla stessa materia prima dei pannelli di particelle, che però in questo caso vengono ulteriormente ridotte tramite sfibratura.

Pannelli in legno-cemento: sono ottenuti grazie a dei leganti minerali (principalmente malte di tipo magnesiaco o cementizio) che uniscono e consolidano elementi costituiti da lana di legno o da particelle e fibre.

Va precisato che le ultime due tipologie elencate rientrano in realtà nei materiali accessori, in quanto svolgono principalmente una funzione di isolamento più che di copertura. Tuttavia, essendo strutturalmente dei pannelli, sono stati citati in questa sezione.

1.3.4 I materiali accessori

Per progettare correttamente una copertura, un edificio o qualsiasi altra realizzazione a struttura di legno, esistono una serie di materiali accessori dai quali non è possibile prescindere. Ci si limiterà a nominarli, per evitare di entrare troppo nello specifico e di perdere di vista le reali finalità di questo elaborato.
Si tratta principalmente dell'isolamento termo-acustico della struttura, ovvero del cosiddetto "pacchetto" da applicare ad una copertura o ad una parete, che serve a proteggere la struttura dalle intemperie e contribuisce a creare all'interno degli ambienti un clima più salubre.
Gli elementi che compongono questo pacchetto per l'isolamento sono gli *isolanti*, le *membrane traspiranti* e i *rivestimenti a base di legno*.

1.3.5 Tipologie, caratteristiche e comportamento strutturale degli edifici a struttura di legno

Attualmente esistono diversi sistemi di costruzione per la realizzazione di edifici a struttura di legno che hanno avuto origine in regioni che presentano estese superfici boschive. Ogni metodo si è sviluppato secondo le diverse tradizioni costruttive del luogo di "nascita" e pertanto presenta delle caratteristiche distintive che lo rendono diverso dagli altri, per ragioni strutturali, estetiche o ambientali.
Tuttavia, ognuno di questi metodi offre dei vantaggi, in questo caso condivisi:

- Semplicità e velocità di esecuzione, grazie alla leggerezza del materiale che favorisce la velocità di trasporto e utilizzo in cantiere (per realizzare un edificio a struttura di legno si ragiona in settimane, contro i mesi, a volte anni, che servono a realizzare un edificio con i sistemi tradizionali).
- Facilità di montaggio degli elementi integrati: una volta realizzata la struttura portante, le componenti impiantistiche e di finitura possono essere montate a secco sul legno mediante ferramenta.

- Elevata durata nel tempo (si veda a proposito la pagoda giapponese del tempio di Horju-ji del 607 d.C., figura 1.4) e costi di manutenzione contenuti.
- Buon isolamento termo-acustico, che non può prescindere però da un'attenta analisi dei materiali da utilizzare in funzione delle condizioni climatiche esistenti e da una previsione corretta dei vari dettagli progettuali.
- Ottima resistenza alle azioni sismiche e agli incendi, come già abbondantemente spiegato.
- Costi contenuti ed assolutamente competitivi rispetto agli altri materiali

Di seguito vengono presentate le caratteristiche e i principi alla base della progettazione relative ai sistemi costruttivi più diffusi e utilizzati [21 , 24].

EDIFICI A PANNELLI PORTANTI

Si tratta di uno degli ultimi sistemi progettati per la realizzazione di edifici a struttura di legno, ma è già diventato il metodo più diffuso in Europa.
Il nome deriva dalla componente strutturale che lo caratterizza maggiormente, ovvero il pannello di legno massiccio a strati incrociati, con il quale vengono realizzati solai e pareti. Gli edifici realizzati con questo sistema sono i più simili agli edifici in muratura sotto l'aspetto della robustezza e della solidità.
Il pannello a strati incrociati fu sviluppato per la prima volta in Germania nei primi anni '90 e negli ultimi anni ha subito una rapida evoluzione in tutta Europa, Italia compresa.
Un edificio a pannelli portanti è, in buona sostanza, una struttura "a scatola" nella quale pareti e solai sono formati da diaframmi costituiti da pannelli di legno massiccio molto rigidi e resistenti, uniti tramite collegamenti meccanici. Si tratta di un sistema versatile, che consente la realizzazione di edifici residenziali ad uno o due piani, edifici condominiali con diversi piani di grandi dimensioni ed anche strutture destinate ad usi diversi come scuole, alberghi e ospedali.
La copertura puo essere realizzata a pannelli oppure con metodo tradizionale, ovvero con travi principali, secondarie e sovrastante tavolato a doppio strato incrociato o pannello a base di legno.

Rispetto ad altri sistemi costruttivi questo metodo comporta un utilizzo maggiore di materia prima; tuttavia il pannello, in virtù del processo produttivo con il quale nasce, è molto rigido e resistente e questo consente l'utilizzo di legno strutturale di qualità inferiore.

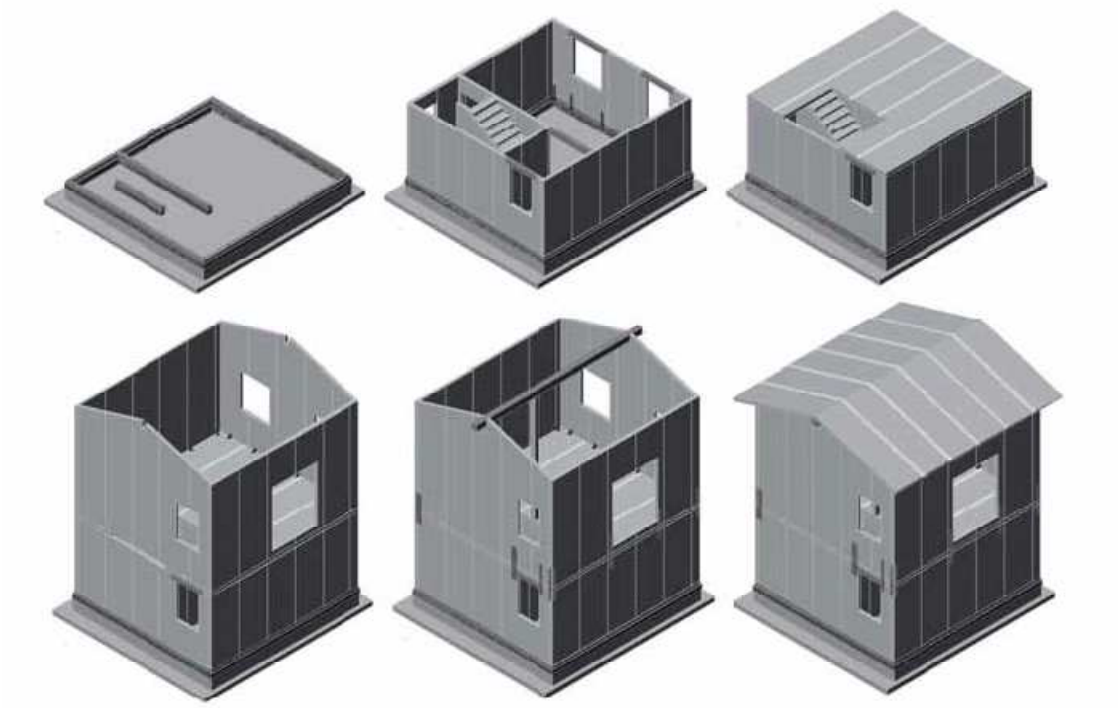

Figura 1.16: Fasi costruttive di un edificio a pannelli portanti

EDIFICI PLATFORM FRAME

Il sistema Platform Frame è probabilmente il sistema costruttivo più diffuso al mondo per la realizzazione di edifici ad uno o più piani a struttura di legno. La quasi totalità degli edifici residenziali nel Nord America nascono con questo metodo, che è molto diffuso anche in Estremo Oriente (Giappone e in misura minore Cina) e nel Nord Europa.

Si tratta di una derivazione del sistema *Balloon Frame*, che si distingue dal Platform per l'altezza delle pareti (nel Balloon è di due piani in virtù della limitata disponibilità dimensionale delle tavole, mentre nel Platform ogni solaio risulta la piattaforma per i

piani successivi) e risale all'epoca della colonizzazione dell'America settentrionale da parte degli Europei nella prima metà dell'Ottocento.

Questo metodo presenta molte similitudini con quello a pannelli portanti; il termine Platform Frame, infatti, significa "*sistema intelaiato a piattaforma*" , dove una volta realizzate le strutture del primo solaio, queste faranno da piattaforma per i piani successivi.
La copertura viene solitamente realizzata con travi e travetti posti allo stesso interasse dei montanti delle pareti. In Italia solitamente viene realizzata una copertura tradizionale a travi, od una copertura a capriate ma utilizzandone poche.
Si tratta di un sistema costruttivo molto leggero: infatti, un edifico realizzato con questo metodo pesa circa un terzo rispetto al peso dello stesso edificio realizzato con il metodo precedente a pannelli portanti.

Figura 1.17: edificio a tre piani costruiti con sistema Platform Frame a Vancouver, Canada

EDIFICI A TRAVI E PILASTRI

Questo sistema ha origini antichissime, ed è forse il primo ad essere stato utilizzato per realizzare edifici a struttura di legno. La tradizionale architettura dell'Estremo Oriente è

piena di splendidi esempi di edifici intelaiati, realizzati tutti con unioni fra i vari elementi costruttivi, molti dei quali hanno superato indenni secoli di terremoti catastrofici (vedi figura 1.18). Qualche esempio di strutture di questo genere è presente anche nel Nord Europa, precisamente in Norvegia.

La versione moderna di questo metodo prevede la realizzazione di una "gabbia" strutturale con elementi trave e pilastro a sezione quadrata o rettangolare; con questo sistema è possibile realizzare edifici fino a tre o quattro piani. Qualche volta viene utilizzato per realizzare edifici commerciali o pubblici, grazie all'ampia libertà che questo metodo lascia nella gestione degli spazi interni.

Da un punto di vista statico, ciò che differenzia questo sistema dagli edifici di tipologia analoga realizzati in cemento o acciaio sta nel fatto che con il legno è praticamente impossibile realizzare dei collegamenti rigidi fra i vari elementi strutturali che fungano da veri e propri incastri. Questo comporta la necessità di irrigidire la maglia strutturale sia in orizzontale che in verticale, per rendere capace tutto il sistema di assorbire le azioni orizzontali, quali vento ed eventuale sisma, e trasmetterle alle fondamenta.

Figura 1.18: Edificio principale del tempio di Yakushi-ji in Giappone, realizzato col metodo a travi e pilastri

EDIFICI A BLOCCHI MASSICCI O A TRONCHI

Questo sistema costruttivo ha origini antichissime, rsalenti addirittura alla preistoria; è commercialmente conosciuto con il nome di *Blockhaus* o *Log House*, in virtù della sua elevata diffusione in Europa Centro-Settentrionale e in Nordamerica.
E' un metodo costruttivo dei paesi nordici per la realizzazione di edifici mono familiari di uno o due piani.
Si tratta di un sistema molto semplice che si contraddistingue per la modalità di realizzazione delle pareti, formate dalla sovrapposizione di tronchi di legno massiccio tondi o squadrati. Particolarmente adatto alla realizzazione di abitazioni isolate immerse nel verde, o inserite in un piccolo centro montano.
La copertura di questi edifici è molto semplice, normalmente costituita da un tetto a due falde con la trave di colmo parallela al lato più lungo della casa e le travi minori che poggiano su quest'ultima e sulle pareti longitudinali parallelamente alla linea di falda.

Figura 1.19: Esempi di edifici a blocchi massicci in Finlandia

CAPITOLO II

STRATEK : UN'AZIENDA ORIENTATA VERSO UN'EDILIZIA INNOVATIVA

2.1 LA STORIA

Stratek Timber Industry SRL, che per comodità da qui in poi sarà chiamata Stratek, nasce nell'ottobre del 2010, inizialmente con il nome di Stratek s.a.s, dalla passione e dall'esperienza di un gruppo molto ristretto di persone, dotate di elevate competenze maturate in pregresse esperienze nel settore.

Nel 2011 vi è il primo importante passo in avanti, con la realizzazione dei primi solai e tetti a struttura di legno e l'ottenimento, tramite il servizio tecnico centrale (un ufficio del consiglio superiore dei lavori pubblici), dell'autorizzazione alla lavorazione di elementi per uso strutturale.

All'inizio dell'anno successivo, il 2012, Stratek realizza i primi piccoli fabbricati esclusivamente a struttura di legno, raggiungendo un altro grande traguardo: diventa centro di trasformazione e taglio, ottiene l' attestazione SOA (attestato per partecipare alle gare d'appalto e realizzare le strutture pubbliche) e diventa associato di Federlegno Arredo e Confindustria Padova. Entro fine 2012 inizia ufficialmente la commercializzazione e la realizzazione di pavimenti e serramenti in legno. Nell'anno 2013 Stratek punta al consolidamento e al rafforzamento della propria posizione all'interno del mercato. Aumenta la propria quota di mercato in Veneto e nelle province limitrofe di Emilia Romagna e Trentino Alto Adige, grazie anche alla spinta

convinta nella realizzazione di strutture in pannelli XLAM (di cui abbiamo parlato nel paragrafo 1.3.3).

Ma il grande obiettivo che Stratek si è proposta di raggiungere è quello di creare un Team di imprese (programma che al manager piace definire “Progetto Stratek”), del quale diventarne capogruppo, affinché ognuna si occupi di un aspetto ben definito, sviluppando quindi competenze specifiche da mettere al servizio di tutto il gruppo. Quest’idea nasce dalle sempre maggiori difficoltà di accesso al credito con cui Stratek si deve battere ogni giorno, pur a fronte di una continua crescita e di un consolidamento nel mercato. L’aumento di volumi di produzione comporta la necessità di ordinare più materiale dai fornitori esteri, i quali però hanno regole molto rigide sotto l’aspetto finanziario. Stratek, dal canto suo, pur avendo dato negli anni sempre ottime garanzie di efficienza e di discreti volumi di lavoro, si trova inserita in un contesto economico, quello italiano, che non è certo sinonimo di garanzia per i fornitori esteri. È come se ogni passo in avanti di Stratek venisse in qualche modo vanificato dalla situazione di crisi nella quale si trova l’Italia, diverse volte declassata nel ranking economico dell’unione Europea.

2.2 PRESENTAZIONE DELL' AZIENDA

Stratek si configura all'interno del settore dell'edilizia in legno come azienda che commercia all'ingrosso e al dettaglio legname e materiali affini, progetta e realizza opere a struttura di legno quali solai, tetti, case ed in ultima anche pavimenti e serramenti.

Di seguito viene presentato uno schema logico che riassume il funzionamento dell'azienda, indicando l'ordine con il quale vengono eseguite le attività: dalla ricerca di clienti alla creazione della struttura finale, sia essa solo copertura o edificio completo a struttura di legno.

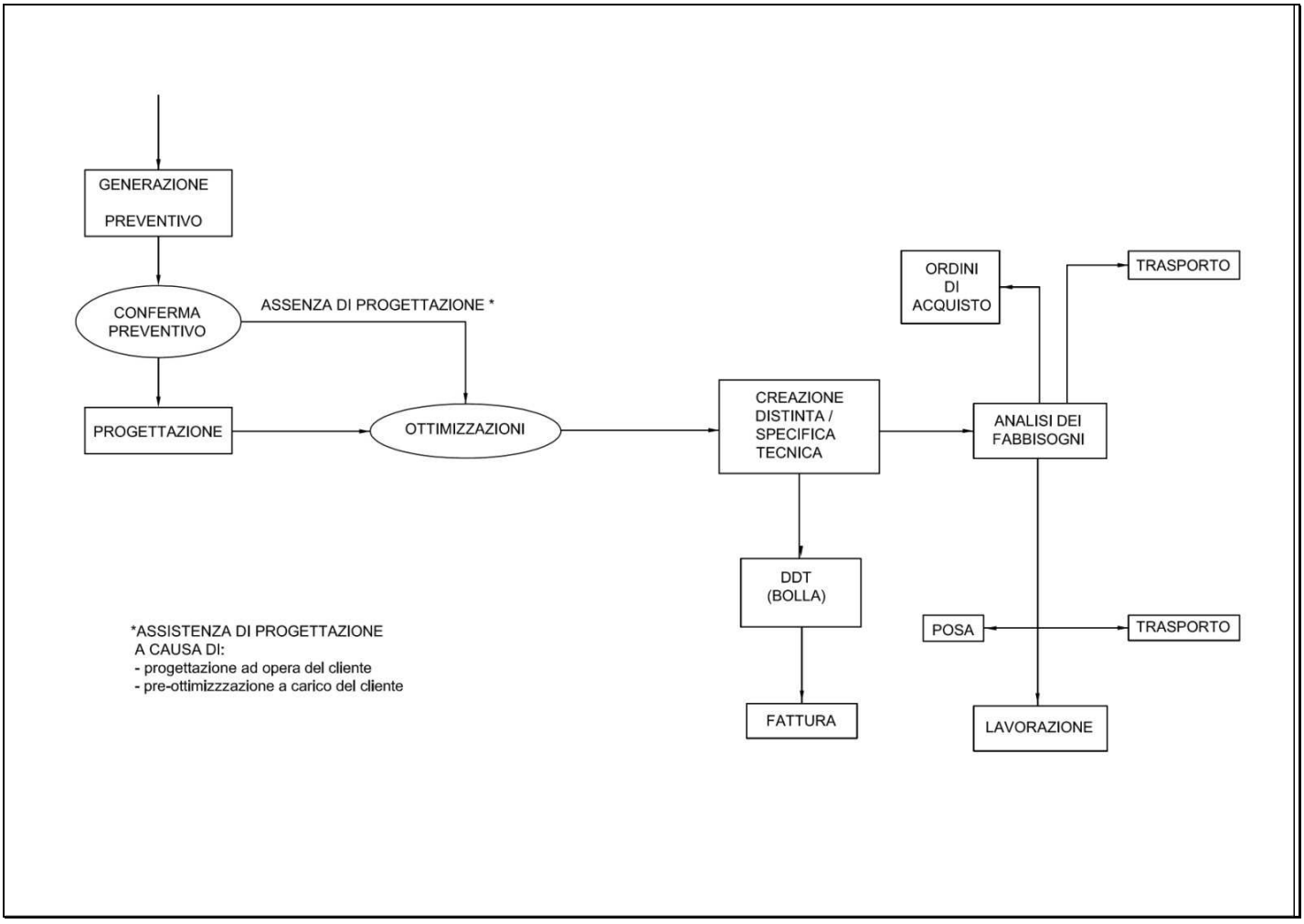

Figura 2.1 : schema riassuntivo delle operazioni di Stratek

Una rete di agenti si occupa della ricerca di nuovi clienti (imprese edili e, qualche volta, direttamente utenti finali) e del mantenimento dei rapporti con i clienti abituali. Quando un agente scova un lavoro da svolgere, si rivolge all'ufficio tecnico per la preparazione del preventivo che, dopo eventuali opportune modifiche, si traduce in un contratto che il cliente sottoscrive.
A quel punto i tecnici si occupano della progettazione del lavoro, ovvero della realizzazione del disegno tecnico necessario per determinare la quantità di materia prima, le lavorazioni necessarie alla realizzazione della struttura e la mole di lavoro degli operai di Stratek all'interno dell'area produzione. Esistono contratti per i quali non è necessaria una progettazione da parte dei tecnici, in quanto trattasi di contratti di sola fornitura o con progettazione ad opera del cliente stesso.

Terminata questa fase vi è la generazione della distinta, o specifica tecnica. Questo documento serve come riepilogo della materia prima utilizzata, utile al momento dell'ordine ai fornitori; inoltre riassume i dati del committente (cliente) e di tutti gli aspetti definiti in ambito contrattuale, come ad esempio il trasporto in cantiere e la posa della struttura, che possono essere a carico di Stratek o del committente (in questo caso si tratta allora di contratto di sola fornitura). Queste informazioni sono ovviamente necessarie anche per la fatturazione, che avviene in seguito come mostrato in figura 2.1.
Un esempio di specifica tecnica è rappresentato dall'immagine 2.2, che riassume esattamente quanto appena detto. In alto troviamo i dati del committente, il numero progressivo annuale della distinta per Stratek e l'indirizzo del cantiere; sotto, un elenco del materiale utilizzato.

Commissione:	***130/2012***	*del*	***2 settembre 2013***
Tecnico:	*Davide/Denis*		
Committente:	***Nicola Bertipaglia***		
Oggetto:	***tetto***	Posa STRATEK	
Indirizzo Cantiere:	***Campagnola (PD)***	Trasporto STRATEK	

ingombro ventilazione	***0 mq***	*ingombro perline*	***170 mq***
ingombro pacchetto	***170 mq***	*ingombro morali a "T"*	***0 mq***

Quantità	Descrizione	Lungh. [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Volume [m^3]	Superficie [mq]	Note
n° 335	perline abete m/f qualità AB	400	15	2	4,16	208	impregnate bianco una mano lato a vista
n° 75	morali abete grezzo	400	4	6	0,72		
n° 3	rotolo freno vapore					225	
n°57	pannelli osb	250	125	1,2	2,14	178,13	
n° 9	morali abete grezzo	400	10	14	0,5		sbiazo a piombo
n°3	rotoli traspirante						
n°1	kit linea vita						

Figura 2.2 : esempio di distinta / specifica tecnica

L'ultimo step prevede l'analisi dei fabbisogni, ovvero l'ordine della materia prima e l'organizzazione della lavorazione del legno (che avviene in area produzione di Stratek, salvo rari casi e pochi tipi di legname per i quali una parte di materia prima arriva dal fornitore già lavorata), del trasporto in cantiere e della posa della struttura. Quest'ultima quando è a carico dell'azienda non viene comunque portata a termine fisicamente da squadre di montaggio di Stratek, ma da piccole imprese di montaggio esterne con le quali l'azienda collabora abitualmente e alle quali procura lavoro nei cantieri.

Le tempistiche per il completamento di tutte le attività, dalla generazione del preventivo al termine della posa, possono variare da qualche giorno a diversi mesi. È chiaro che le dimensioni della struttura da realizzare, la sua tipologia, le condizioni atmosferiche, l'eventuale anticipo con il quale è stato stipulato un contratto per la realizzazione di un'opera non imminente, sono tutti aspetti che influenzano i tempi.
Va sottolineato, però, che le prime fasi, che vanno dalla generazione del preventivo alla

creazione della distinta, sono solitamente più lunghe rispetto alle fasi di lavorazione e montaggio: è intuitivo che la contrattazione iniziale, la definizione di ogni singolo aspetto contrattuale, la progettazione (che deve essere anch'essa accettata dal cliente) rappresentino l'aspetto determinante per Stratek in termini economici, finanziari e di immagine verso i clienti.

2.3 POSIZIONE DI STRATEK ALL'INTERNO DEL SETTORE DELL'EDILIZIA IN LEGNO

2.3.1 Analisi SWOT

Per concludere questo capitolo in merito alla presentazione dell'azienda, è stata effettuata una piccola analisi SWOT con il product manager. Trattandosi di un'azienda molto giovane, inserita in un mercato in continua evoluzione, alcuni punti potrebbero riguardare l'intero settore in senso generico, soprattutto in termini di opportunità, mentre altri potrebbero sembrare scontati. Questo è dovuto anche all'assenza di un ufficio marketing aziendale, che si occupi costantemente dello studio e della ricerca dei punti di forza e debolezza dell'azienda, in grado di determinare le scelte e gli investimenti.

PUNTI DI FORZA	PUNTI DI DEBOLEZZA
- Personale qualificato e motivato	- Assenza di investimenti nel marketing
- Passione per il legno	- Assenza di uno storico per fare previsioni di fatturato e di gestione
- Creazione del "Progetto Stratek"	- Assenza di uno storico in grado di creare nome e immagine per accedere al credito bancario
- Coesione e lavoro in team	
- Mancanza di debiti pregressi	- Rischio di crescita troppo rapida
OPPORTUNITA'	**MINACCE**
- L'aumento della sensibilizzazione della clientela verso la bioedilizia toglie quote di mercato all'edilizia tradizionale ed aumenta quelle dell'edilizia innovativa	- Situazione economica Italiana
	- Ripartenza di mercati extraeuropei (su tutti quello americano) con assorbimento di grandi quantità di materie prime dai fornitori europei ad un prezzo più alto
- Normativa "Piano Casa"	- Scarsa conoscenza dell'edilizia in legno da parte dei tecnici del settore edilizio

Tabella 2.1 : analisi SWOT dell'azienda Stratek

PUNTI DI FORZA

- *Personale qualificato e motivato e passione per il legno*: come evidenziato in apertura di capitolo, Stratek nasce dalla passione e determinazione di un gruppo di giovani esperti del settore, da anni operanti nell'edilizia in legno; questo rappresenta sicuramente un valore aggiunto per l'azienda.
- *Creazione del "Progetto Stratek"*: si tratta del progetto di un team di imprese, ognuna con competenze specifiche, di cui si è parlato in fase di presentazione dell'azienda, al paragrafo 2.1. Si tratterebbe di una grossa novità nel settore, in quanto difficilmente in tempi di crisi le aziende corrono rischi di condivisione di costi e profitti.
- *Mancanza di debiti pregressi*: si tratta dell'aspetto positivo della giovane età di Stratek: alle difficoltà di competizione con realtà ben avviate nel settore, fa fronte una stabilità finanziaria sulla quale magari alcuni concorrenti, con fatturati maggiori, non possono contare.

PUNTI DI DEBOLEZZA

- *Assenza di investimenti nel marketing e di uno storico per fare previsioni ed ottenere accesso al credito*: sono questi gli aspetti negativi dell'essere una realtà giovane e nata da poco. È evidente che per competere con i concorrenti in termini di immagine occorre lavorare in modo più efficiente possibile in fase di lancio dell'azienda; da questo punto di vista Stratek ha fatto comunque passi da gigante, dimostrando dedizione, passione e lungimiranza, aspetti imprescindibili per ottenere risultati soddisfacenti in qualsiasi contesto.
- *Rischio di crescita troppo rapida*: si tratta di un rischio che corre qualsiasi realtà giovane, che punta ad incrementare la dimensione aziendale, il fatturato e migliorare la propria immagine all'interno del mercato, senza aver sviluppato e incrementato conoscenze e competenze che permettano di sostenere uno sviluppo molto rapido.

OPPORTUNITA’

- *Aumento della sensibilizzazione*: le quote di mercato dell’edilizia sostenibile stanno aumentando a scapito di quelle dell’edilizia tradizionale grazie alle campagne di sensibilizzazione nei confronti dell’ecosostenibilità.
- *Normativa “Piano Casa”*: si tratta di una normativa (introdotta per la prima volta in Veneto nel 2009) che stabilisce una serie di incentivi nei confronti di interventi di ristrutturazione totale e ampliamento di strutture esistenti, con l’obiettivo di incentivare e promuovere l’edilizia sostenibile.

MINACCE

- Situazione economica italiana: come già spiegato, Stratek deve fare i conti con la crisi economica nazionale e questo genera delle ripercussioni negative in termini di accesso al credito verso le banche e di “fiducia” nei rapporti con i fornitori.
- Ripartenza dei mercati extraeuropei: negli ultimi anni si sono rilanciati nell’edilizia sostenibile anche mercati mondiali come quello asiatico e quello americano. Quest’ultimo, in particolare, rivolgendosi ai fornitori Europei (Austria e Svizzera tanto per citarne un paio, o i Paesi con maggior copertura di foreste e quindi produttori di legname) è in grado di assicurare un prezzo maggiore, mettendo in difficoltà le realtà come Stratek che si trovano a doversi contendere la materia prima (che, come già visto, non è inesauribile e va rinnovata con molta attenzione) con mercati inseriti in contesti economici e finanziari ben più stabili di quello italiano.
- Scarse competenze degli addetti ai lavori: trattandosi di un mercato in via di sviluppo, che solo negli ultimi anni ha tolto significative quote di mercato all’edilizia tradizionale, l’edilizia in legno non è conosciuta così a fondo dai tecnici del settore edilizio. Addirittura, capita che siano le stesse realtà come Stratek, forti della loro passione e del loro know-how, a fornire formazione agli addetti ai lavori meno performanti sotto questo punto di vista.

2.3.2 I numeri della crescita

In conclusione di questa breve presentazione aziendale si vuole inserire qualche dato e qualche informazione in grado di testimoniare la crescita vertiginosa di Stratek dalla sua nascita ad oggi, dopo soli tre anni di vita.
Senza entrare troppo nel dettaglio, il dato più esplicativo in tal senso è quello del fatturato. Si consideri la seguente tabella.

FATTURATO DI VENDITA DI STRATEK							
	2010	2011	VARIAZ. %	2012	VARIAZ %	2013	VARIAZ %
Gennaio		34714,00		196205,87	465,21%	207637,87	5,83%
Febbraio		1404,00		163230,05	11526,07%	222119,07	36,08%
Marzo		94986,35		175468,13	84,73%	145176,27	-17,26%
Aprile		165557,09		89969,90	-45,66%	306975,67	241,20%
Maggio		73930,00		168312,10	127,66%	225686,51	34,09%
Giugno		122979,00		167792,92	36,44%	350764,56	109,05%
Luglio		87317,10		178499,45	104,43%	525121,16	194,19%
Agosto		24060,00		62314,91	159,00%	199040,00	219,41%
Settembre		213311,24		171209,02	-19,74%		
Ottobre	54600,00	178460,99	226,85%	197870,29	10,88%		
Novembre	60000,70	223285,11	272,14%	237919,31	6,55%		
Dicembre	11150,00	14136,37	26,78%	234241,79	1557,02%		
TOTALE	125750,70	1234141,25	881,42%	2043033,74	65,54%	2182521,11	6,83%

Tabella 2.2 : Fatturato di vendita di Stratek e variazione percentuale con l'anno precedente

Nell'anno di nascita, il 2010, Stratek è operativa solo a partire dal mese di ottobre, pertanto i dati dei mesi precedenti non esistono. L'anno successivo, negli stessi mesi di riferimento, sono già apprezzabili degli aumenti consistenti di fatturato, almeno per quanto riguarda novembre e dicembre, con un aumento superiore al 200%.
Le prime considerazioni a 360 gradi possono essere fatte a partire dall'anno 2012, avendo i dati completi dell'intero anno precedente con i quali fare un confronto. A parte due mesi, aprile e settembre, tutti i mesi mostrano una variazione percentuale di fatturato positiva rispetto all'anno precedente, con un totale di ben +65,54% sull'intero

anno. Si tratta di un incremento assolutamente significativo se si considera che al termine del 2012 Stratek esisteva da poco più di 15 mesi.

Ma il vero salto di qualità è stato fatto quest'anno. L'obiettivo che l'azienda si era prefissata era quello di arrivare a competere con i più grandi concorrenti del Triveneto: al termine di agosto il fatturato è già superato rispetto al totale dello scorso anno del 6,83%. Le previsioni parlano di un fatturato complessivo al termine dell'anno compreso tra i 2,8 ed i 3,2 milioni di euro, che rappresenterà un altro grande passo in avanti nell'affermazione di Stratek nel mercato dell'edilizia in legno del Triveneto e non solo. Si consideri infine anche il grafico relativo al fatturato,

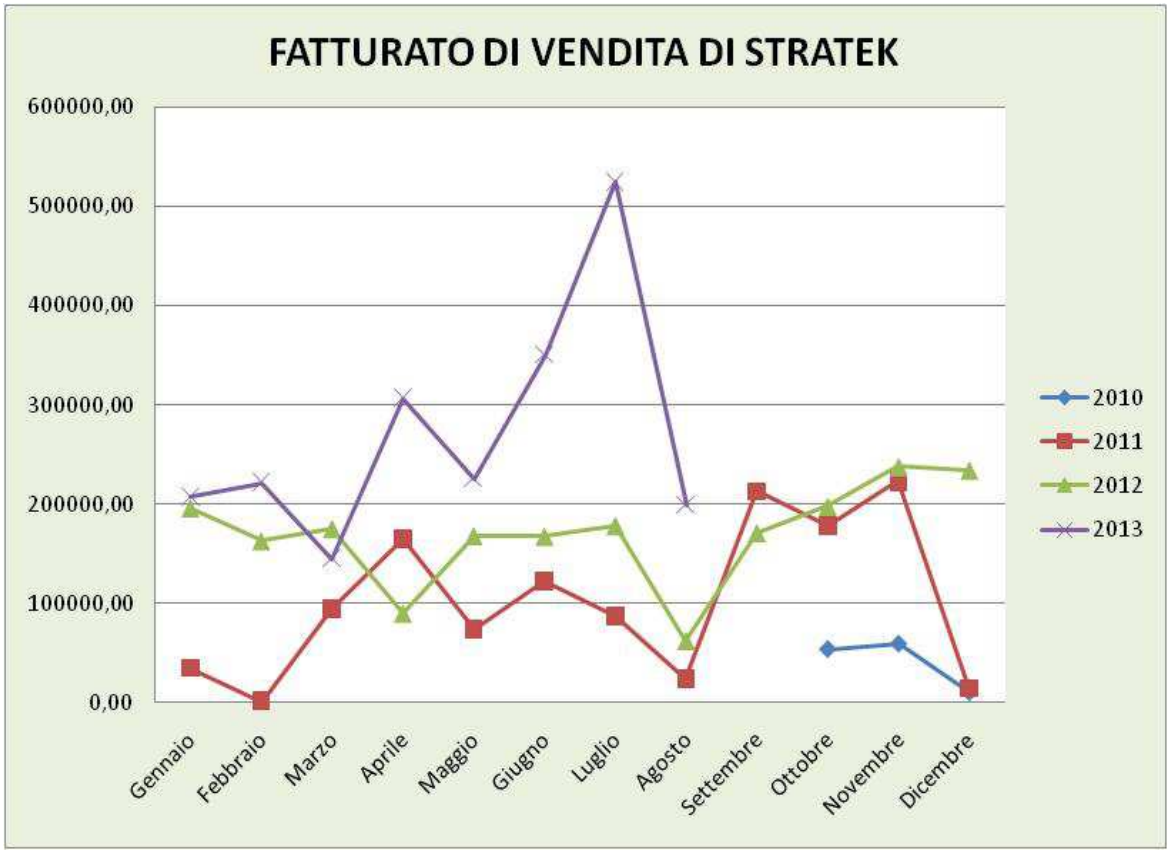

Figura 2.3 : andamento del fatturato con grafico a linee orizzontali

dal quale si può apprezzare l'evidente salto di qualità dell'anno in corso.

Sfortunatamente, non sono disponibili sufficienti dati di settore per poter effettuare un confronto con i principali concorrenti di Stratek. Tuttavia, le indicazioni ufficiose che

filtrano dagli addetti ai lavori parlano di una crescita, da parte di Stratek, superiore a tutti i suoi principali competitor, i quali in alcuni casi hanno necessariamente dovuto fare i conti con una perdita di quote di mercato proprio in favore di questa emergente realtà aziendale.

CAPITOLO III

PROGRAMMAZIONE OPERATIVA: LO SCHEDULING DELLA PRODUZIONE ED IL SISTEMA DI CODE

3.1 LO SCHEDULING DELLA PRODUZIONE

3.1.1 Definizione e caratteristiche

Scheduling è il termine usato per definire la programmazione operativa. Esso significa "tempificazione", ovvero la decisione e l'organizzazione del momento in cui effettuare determinate operazioni. Lo scheduling, pertanto, consiste nel determinare la distribuzione ed il sequenziamento ottimale delle attività, che devono essere eseguite utilizzando una o più risorse, ed ottimizza una certa funzione obiettivo, rispettando determinati vincoli [17].

Molto spesso accanto al termine scheduling si trova il termine *sequencing*, che significa, in buona sostanza, decidere a quali operazioni dare la priorità, cioè cosa fare prima e cosa fare dopo. Molto spesso sono usati come sinonimi.

Ciò di cui si vuole discutere può essere schematizzato in questo modo: ci sono dei compiti da eseguire, ognuno dei quali chiamato *job*, ovvero un qualcosa che deve essere lavorato su una macchina ed è abbastanza omogeneo come tipologia di lavoro. Ogni job ha delle sue caratteristiche intrinseche, come ad esempio il tempo di lavorazione, e altre caratteristiche di relazione con gli altri job, come ad esempio i vincoli di precedenza nell'esecuzione delle operazioni. Nel contesto della fabbricazione industriale, e non solo, con il termine "macchina" si intende una qualsiasi risorsa, come ad esempio una vera e propria macchina utensile, un centro di lavoro oppure uno o più operatori. L'obiettivo finale è quello di organizzare i lavori al fine di trovare la soluzione migliore

di esecuzione della produzione, relativamente a dei prefissati obiettivi.

La programmazione operativa si può dividere in 3 fasi principali distinte, ma fortemente correlate:

1. Fase di allocazione delle operazioni sulle singole risorse produttive disponibili.
2. Fase di allocazione nel tempo della produzione.
3. Fase di sequenziamento dei lavori sulle macchine, da affrontare tenendo conto delle caratteristiche dei lavori, dell'impianto e dell'obiettivo che si vuole raggiungere.

Come in qualsiasi altra analisi quantitativa o studio che si rispetti, nell'affrontare problemi di scheduling si possono riscontrare difficoltà legate a vari aspetti:

- reperimento dei dati, estremamente numerosi e di diversa natura, per arrivare ad un risultato soddisfacente;
- attendibilità dei dati, soprattutto se soggetti a continui mutamenti;
- aleatorietà dei dati, che può rendere inefficace un programma di produzione progettato a priori;

A compensare queste difficoltà vi sono degli aspetti che invece incoraggiano e spingono all'utilizzo dello scheduling per pianificare le proprie attività, e sono il crescente grado di automatizzazione, l'informatizzazione ed un monitoraggio on-line del sistema produttivo.
Quando ci si trova di fronte ad un problema di scheduling è necessario stabilire una serie di ipotesi, necessarie per poter trattare sia da un punto di vista teorico che pratico-operativo la situazione oggetto di studio. In genere si ipotizza quanto segue:

- le risorse sono note e sono costanti nel tempo;
- di solito esiste una sola risorsa critica ed è formata dalle macchine a disposizione;
- le caratteristiche dei job sono precisate, in particolare la durata dei lavori sulle varie macchine;
- devono essere eseguiti tutti i job;
- una macchina può lavorare un solo job alla volta, e un job ovviamente non può essere lavorato su più macchine contemporaneamente;

- vengono trascurati i tempi di trasporto e i costi di giacenza, perciò i costi considerati sono legati quasi esclusivamente all'esecuzione delle operazioni;

I modelli utilizzabili per la programmazione operativa possono essere classificati secondo 2 criteri diversi, che ora vedremo nel dettaglio.

3.1.2 Classificazione in base al sistema produttivo

In relazione al sistema produttivo in questione, è possibile individuare le seguenti classi di scheduling:

- *Macchina singola:* la programmazione riguarda un'unica risorsa produttiva, e comprende tutte le situazioni in cui l'impianto sia schematizzabile come un singolo macchinario. Si tratta quindi di decidere l'ordine con cui i vari job debbano passare attraverso la macchina, e quindi il problema diventa trovare la miglior permutazione di job.

- *Macchine parallele uguali:* in questo caso ci sono diversi macchinari che eseguono le stesse operazioni con i medesimi tempi, e quindi rispetto al caso precedente va considerata anche l'ottimizzazione di allocazione dei job tra le varie macchine. In comune con il modello precedente vi è il fatto che ogni job ha un proprio tempo t_j di esecuzione.

- *Macchine parallele qualsiasi:* in questo caso i tempi di lavorazione dei job dipendono sia dal job stesso che dalla macchina sul quale è eseguito, quindi ogni macchina ha una propria efficienza di lavorazione. Perciò t_{ij} indicherà il tempo di esecuzione del job j-esimo sulla macchina i-esima.

  I compiti da eseguire possono essere indipendenti quando a priori non è fissato un ordine di esecuzione dei job stessi, o dipendenti quando invece esistono delle relazioni di precedenza, le quali devono concedere un certo grado di libertà, altrimenti il problema ammetterebbe come unica soluzione quella derivante dalle

relazioni stesse.

Un' ulteriore soluzione può essere quella di spezzare i job, operazione che si indica con il termine *preemption*; in alcuni casi ciò è possibile, si può cioè interrompere l'esecuzione di un job e riprenderla dopo averne eseguiti degli altri, mentre in altri casi questo non è possibile. In ogni caso si assume che se un job viene spezzato in parti più piccole, quest'ultime non possano essere eseguite in parallelo su macchine differenti.

- *Open shop*: per comprendere questo modello e i successivi due, pensiamo al caso di diversi gruppi di articoli che si muovono all'interno di un'officina per subire lavorazioni su varie macchine. Nell'open shop l'ordine delle lavorazioni per ogni lotto è assolutamente libero, quindi ogni job è caratterizzato da un ciclo che richiede l'intervento di più macchine successive; tuttavia l'ordine di esecuzione delle operazioni è indifferente.

- *Flow shop:* tutti i lotti passano per i macchinari nello stesso ordine. Quindi, ogni job è caratterizzato da un ciclo tecnologico che richiede l'intervento di più macchine diverse, ma l'ordine di esecuzione delle operazioni sulle macchine non cambia per i vari job. Potrebbe anche succedere che alcuni job non debbano essere eseguiti da tutte le macchine: pertanto basterà porre a zero il tempo di esecuzione del job j-esimo sulla macchina i-esima.

- *Job shop:* ogni lotto ha un proprio ordine di passaggio attraverso le varie macchine, diverso dagli altri lotti. Pertanto l'ordine di esecuzione sulle macchine è diverso da job a job.

Per completare il quadro, è necessario considerare degli altri elementi di fondamentale importanza nella risoluzione di problemi di scheduling:

- *Data di disponibilità del job:* non necessariamente un certo lotto può essere eseguito o lavorato nel momento stesso in cui si inizia a studiare il processo. Pertanto si parla di disponibilità del job, ovvero l'istante in cui una esecuzione può iniziare.

- *Due date:* Per il completamento delle operazioni invece si parla di due date, ovvero la data di termine, di consegna del lavoro (d_j). Essa può essere imposta da contratto o definita dall'interno per questioni organizzative. Se non viene rispettata genera degli svantaggi, quantificabili in costi di giacenza se viene anticipata, e penale verso i clienti in caso di ritardo.
- *Tempo di setup:* indica il tempo necessario a riconfigurare la macchina nel passaggio da un job *j* ad un altro *k* e si indica con s_{jk} . Se il setup dipende dalla precedente operazione eseguita sulla macchina si parla di *sequence dependent setup times*, mentre nel caso in cui il setup non dipenda dalla precedente operazione nel routing del job si parla di *sequence independent setup time*.
- *Preemption (priorità o importanza)*: se questa caratteristica è presente significa che è possibile interrompere la realizzazione di un job in favore di altri con priorità più alta. Successivamente saranno ripresi i job lasciati in sospeso.
- *Precedence constraints (vincoli di precedenza)*: relazioni di precedenza tra i vari job. Non sono obbligatorie ma possono esistere.
- *Machine breakdown*: lasso di tempo durante il quale un apparato o un dispositivo della macchina non può essere utilizzato a causa di un'avaria.

3.1.3 Classificazione in funzione degli obiettivi della programmazione operativa

Una soluzione ad un problema di scheduling prende il nome di *schedule* o *piano di produzione (production plan).* In termini generali, uno schedule è una descrizione completa dell'utilizzo temporale delle macchine da parte dei job che devono essere eseguiti.

Occorre poi definire una funzione obiettivo, rispettando i vari vincoli di priorità e di precedenza, oltre a quelli dettati dalle caratteristiche del processo produttivo, e gestendo le variabili decisionali a disposizione.

Per andare a valutare le possibili funzioni obiettivo più comuni nei problemi di scheduling, occorre introdurre alcuni altri parametri da associare ai job; la lettera i sta ad indicare la macchina i-esima, mentre con la lettera j ci si riferisce al job j-esimo:

- *Tempo di completamento* c_{ij}*:* indica il tempo (rispetto a un tempo iniziale) necessario affinché il *j*-esimo job sia completato sulla macchina *i*-esima. Se il pedice *i* viene omesso c_j si riferisce all'intervallo di tempo necessario perchè il job *j*-esimo concluda la sua lavorazione sull'ultima macchina in cui doveva essere processato.
- *Lateness* L_j*:* rappresenta la differenza tra il tempo di completamento e il due date (tempo di consegna) del *j*-esimo job, ovvero $L_j = c_j - d_j$. Se tale differenza è positiva, la lateness indica un ritardo, se negativa un anticipo rispetto al tempo di consegna concordato.
- *Tardiness* T_j*:* il tardiness di un job *j*-esimo è definito come $Tj = max(0; c_j - d_j) = max(0; L_j)$. Essa è quindi una quantità sempre positiva o nulla, quindi a differenza del lateness, nella tardiness non si considera un vantaggio il fatto che un job sia in anticipo rispetto al suo tempo di consegna. Serve a tener conto di quelle situazioni nelle quali i costi di stoccaggio non sono così importanti, ma interessa rispettare i tempi di consegna.
- *Earliness* E_j*:* è definito come $E_j = min(0; L_j)$. Esso è uguale al lateness se il job è in anticipo (ovvero $L_j < 0$) ed è nullo se in ritardo. Tale valore risulta di interesse in un'ottica di just in time.
- *Makespan*: è definito come $MAK = max(C_j) - min(I_j)$ ed indica il tempo che intercorre tra l'inizio della prima operazione e la fine dell'ultima. Risulta molto importante nel caso in cui tutti i lavori da eseguire debbano essere consegnati insieme, perciò quello che conta è la data di consegna finale e non tanto il termine dei singoli lavori.
- *WIP= work in process,* indica il numero medio dei job in lavorazione relativamente ad un certo intervallo (a,b).
- *Coefficienti di saturazione delle macchine*: sono coefficienti che misurano l'utilizzo della macchina, ovvero quanto la macchina ha lavorato. In questa sede non ci interessa soffermarci ulteriormente su questi indici.

Appurato che l'obiettivo della programmazione operativa è orientato alla riduzione di tempi di esecuzione e costi, la funzione obiettivo in un problema di scheduling

consisterà quasi sempre nella minimizzazione di uno di questi indici, eccezion fatta per i coefficienti di saturazione delle macchine che invece andranno massimizzati.
Inoltre un problema di scheduling non sarà necessariamente caratterizzato da una sola funzione obiettivo, in quanto esistono modelli risolutivi di tipo multiobiettivo.

È chiaro che quanto affrontato fino ad ora, da un punto di vista teorico, e quanto verrà presentato in seguito in questo capitolo, serve prevalentemente come termine di riferimento per l'analisi della produzione del caso aziendale: qualsiasi situazione oggetto di studio difficilmente può essere affrontata applicando semplicemente le regole teoriche così come vengono presentate. Tuttavia, in ogni analisi quantitativa che si rispetti, per ottenere risultati quantomeno accettabili, occorre avere piena conoscenza degli strumenti a propria disposizione per trovare la regola o la soluzione teorica che più si avvicina al caso specifico, anche se difficilmente sarà in grado di simulare e riproporre con esattezza il problema reale che ci troviamo di fronte.

3.2 LO SCHEDULING ONLINE

3.2.1 Decisioni online, decisioni offline e fenomeni di casualità

La presentazione e le classificazioni esposte nel paragrafo precedente trattano le generalità dei problemi di programmazione operativa. Si tratta di considerazioni che sottointendono una certa "standardizzazione" del lavoro e quindi non considerano grossi imprevisti o difficoltà che invece sono all'ordine del giorno in una qualsiasi realtà aziendale moderna.

Ognuno di noi, nella vita reale, si trova spesso di fronte a delle decisioni che devono essere prese tempestivamente, e per le quali non si ha il tempo necessario per fare analisi approfondite. Si tratta delle cosiddette decisioni in un contesto online, che si contrappone al più classico e semplice approccio offline. Ciò che differenzia i due approcci può essere riassunto in breve:

- *approccio offline*: si conoscono in anticipo tutti i dati e le informazioni che servono e le decisioni vengono prese solo dopo aver preso conoscenza di essi ed aver analizzato la situazione (ad esempio in un'azienda la programmazione del lavoro di una settimana viene effettuata qualche giorno prima avendo chiari gli obiettivi, le risorse, le tempistiche ecc.)
- *approccio online*: le decisioni devono essere prese man mano che si presentano, quindi immediatamente, senza poter conoscere o valutare nulla in anticipo, correndo ovviamente molti più rischi (per esempio in un'officina, quando il cliente richiede una riparazione, la scelta del meccanico al quale affidare la riparazione rappresenta una decisione online).

Per comprendere ancora meglio il concetto si consideri l'esempio di un'azienda che deve assumere un nuovo dipendente: l'approccio offline è quello classico, che prevede la presa visione dei curriculum vitae di tutti i candidati, un colloquio faccia a faccia con i profili più interessanti e, dopo aver raccolto tutte le informazioni necessarie, la scelta del profilo migliore.

La scelta in un contesto online, invece, prevede la decisione immediata man mano che i candidati si presentano; se un candidato viene scartato, la scelta dovrà necessariamente

ricadere su uno dei successivi, aumentando il rischio di una scelta sbagliata al crescere dei candidati scartati. Viceversa, scegliendo il primo candidato, o uno dei primi, il rischio sarà quello di scartare a priori uno dei candidati successivi con un profilo più idoneo.
Pertanto, nell'affrontare problemi reali e concreti, la gestione e la programmazione delle decisioni online può essere gestita tramite algoritmi di scheduling online [7].
È evidente che l'approccio online comporta molti più rischi rispetto a quello offline: quindi un algoritmo di scheduling on line non potrà mai garantire l'efficienza e la competitività di un algoritmo offline per lo stesso problema. Si tratterà pertanto di scegliere l'algoritmo online che comporti il minor distacco di competitività possibile dal rispettivo algoritmo ottimale offline.

Un altro aspetto che va considerato quando si cerca di programmare e modellare il mondo reale riguarda i *fenomeni di casualità* : essi possono riguardare il guasto di un macchinario, il cambiamento improvviso delle priorità dei job da eseguire e perfino i tempi di processamento dei job possono considerarsi fenomeni di casualità.
Non si tratta di casistiche separate da quelle di scheduling online, ma anzi è facilmente intuibile che proprio i fenomeni casuali possono determinare la necessità di operare in un contesto online, per far fronte con immediatezza e velocità all'incombere di imprevisti inaspettati.
Il contesto dei problemi di scheduling stocastico è incredibilmente ampio e diversificato. I modelli stocastici coinvolgono lo scheduling di un gruppo di job su macchine parallele identiche che minimizzano la misura delle prestazioni erogate. I tempi di processamento dei job sono assunti essere variabili casuali che seguono determinate distribuzioni di probabilità.
Fra i possibili metodi risolutivi applicabili per risolvere problemi di scheduling stocastico, si potrebbe commettere l'ingenuo errore di prendere i tempi di processamento attesi (come valore atteso di variabili aleatorie) e usare algoritmi per i problemi deterministici. Tuttavia è molto semplice costruire dei controesempi che mostrano come questo metodo può portare a soluzioni di scarsa performance.
Di seguito cercheremo una generalizzazione dei modelli di scheduling stocastico e di scheduling on-line. Assumiamo che i job arrivino online: quando arriva un job viene

rivelato il suo tempo di processamento atteso, ma il tempo reale di processamento rimane ignoto fino all'avvenuto completamento del job.

3.2.2 Lo scheduling stocastico: generalità e letteratura

Nei problemi di scheduling stocastico la popolazione dei job è assunta come nota in anticipo, mentre i tempi di processamento C_J dei job sono variabili casuali.
I primi modelli di scheduling stocastico risalgono agli anni '80. Rothkopf (1966) mostrò che per una macchina senza vincoli di precedenza, una regola basata sugli indici minimizza la somma attesa dei tempi di processamento C_J pesati (ΣwjCj), per arbitrarie distribuzioni di probabilità dei tempi di processamento [1].

Mohring, Radermacher e Weiss, tra il 1984 ed il 1985, studiarono le proprietà analitiche di diversi modelli di scheduling, e determinarono i metodi ottimali per diversi casi specifici. Weiss inoltre, tra il 1990 ed il 1992, definì dei limiti aggiuntivi di performance per modelli di scheduling stocastico a macchine parallele con release date (ovvero l'istante di rilascio del job) ignoto [2 , 3 , 4]:

$$P|\,|\,E\,[\Sigma w_j C_j]$$

La presente formula indica la funzione obiettivo di un problema di scheduling stocastico a macchine parallele, nel dettaglio:

- P = indica che ci si trova in situazione di macchine parallele; se al posto della P è presente il numero 1, allora ci si riferiscead un problema a macchina singola;
- | | = è lo spazio, tra barre verticali, dove possono essere aggiunti altri parametri utili nella determinazione della funzione obiettivo (in questo caso è vuoto ed infatti ci riferiamo ad un caso in cui l'istante di rilascio del job r_j non è noto, come detto in precedenza);
- E [Σw$_j$C$_j$] = funzione obiettivo vera e propria, in questo caso si tratta della somma pesata dei tempi di processamento (Cj) di tutti i job, che andrà minimizzata.

In aggiunta a questo, Mohring ed alcuni suoi colleghi, nel 1999, svilupparono un algoritmo approssimato per una varietà di problemi di scheduling stocastico usando tecniche di ottimizzazione combinatoria. Gli autori esaminarono la performance della programmazione lineare basata su sistemi di priorità e la confrontarono con la performance prevista di un metodo ottimale di scheduling stocastico [5].

3.2.3 Lo scheduling online: generalità e letteratura

Quando ci si trova a dover affrontare problemi di programmazione operativa online, a seguito di decisioni da prendere in un contesto online, come detto prima, si può ricorrere ad algoritmi di scheduling, tenendo conto del fatto che non sono note le informazioni dei job in arrivo nell'immediato futuro. Tuttavia, non appena un job diventa noto, vengono rilevati il suo peso e il suo tempo di processamento. In letteratura gli indici di competitività sono usati di solito per valutare la qualità di un algoritmo online. Un algoritmo A-competitivo fornisce, per ogni situazione, una soluzione con valore della funzione obiettivo al più A volte maggiore rispetto alla soluzione dell'algoritmo offline ottimale. Ovviamente questo ha influenza sui tempi di esecuzione, che saranno tante volte maggiori quanto più grande è il valore della funzione obiettivo, e di conseguenza anche sui costi per il processamento di tutti i job.

Esistono due tipologie di scheduling online:

- Modello online time: le caratteristiche dei job diventano note nell'istante del loro rilascio r_J (release time), aspetto che ricorda un sistema di arrivi in coda.
- Modello online list: tutti i job sono presenti nel sistema al tempo 0; tuttavia, il job "corrente" deve essere eseguito immediatamente, prima che siano visibili le informazioni sul job successivo.

Per il modello online time, lo studioso Anderson insieme ad alcuni suoi colleghi fornì nel 2004 un algoritmo online a macchina singola 2-competitivo, ovvero con il valore della funzione obiettivo solo due volte maggiore rispetto all'equivalente algoritmo offline ottimale, come visto prima. La funzione obiettivo era la seguente:

$$1 | r_J | \Sigma C_j$$

e consisteva sempre nella minimizzazione dei tempi di processamento C_j dei job.

3.2.4 Lo scheduling online stocastico

Lo scheduling online stocastico, quindi, viene utilizzato quando l'insorgere di fenomeni di casualità può determinare la necessità di operare in un contesto online, per far fronte con immediatezza e velocità all'incombere di imprevisti inaspettati.
Questa tecnica di analisi è stata riconosciuta ed affrontata solo recentemente dai ricercatori. Un modello che sia in grado di combinare le basi dello scheduling online e di quello stocastico è stato preso in esame da una serie di studiosi nel 2005: essi dimostrarono l'ottimalità asintotica (ovvero l'ottimalità nel lungo periodo) della regola on-line WSEPT (weighted shortest expected processing time) per il caso a macchina singola $1 | r_J | \Sigma wjCj$, assumendo che i pesi ed i tempi di processamento possano essere delimitati superiormente ed inferiormente con delle costanti [6].
Altri ricercatori e studiosi del settore (Megow ed altri, nel 2005) , presero in considerazione i modelli:

- $1 | \ | \ E (\Sigma wjCj)$
- $1 | r_J | \ E (\Sigma wjCj)$

dove l'obiettivo è rappresentato dal valore atteso dei tempi di completamento dei job, che andrà minimizzato. Proposero un semplice procedimento di scheduling online per il primo modello e dimostrarono una garanzia di performance che corrispondesse all'attuale meglio conosciuta garanzia di performance per lo scheduling stocastico su macchine parallele. Successivamente ricavarono un risultato analogo per il secondo modello. [7]

3.3 LA TEORIA DELLE CODE O TEORIA DELLE FILE D'ATTESA

3.3.1 Presentazione generale

La teoria delle code (o teoria delle file d'attesa) (v. [20]) può essere definita anche studio dei fenomeni di congestione. Si tratta di un ramo della Ricerca Operativa che si occupa delle relazioni tra la richiesta di servizio in un certo sistema e i ritardi che devono sopportare coloro che usufruiscono del servizio stesso. E' di notevole importanza che coloro i quali desiderano applicare i risultati della teoria delle code abbiano idee chiare sui problemi che essa può risolvere e sulla natura e le ipotesi che stanno dietro tali risposte.
Lavorando con la teoria delle code, occorre prima di tutto prendere in considerazione il sistema reale che si vuole studiare, esaminarlo e creare (o scegliere da una lista di modelli già elaborati nella teoria) un modello matematico che rappresenti adeguatamente il sistema stesso.

Analizzando questo modello si ottengono le "risposte" che si suppone di poter applicare alla realtà. Implicite nella creazione del modello, tuttavia, vi sono semplificazioni e approssimazioni: l'analista deve lasciar perdere necessariamente molti dettagli che considera superflui o di minor importanza. In moltissimi casi si compiono delle approssimazioni trasformando dati grezzi e incompleti in quantità che renderanno possibile l'analisi matematica. Infine, non è raro che l'analista faccia molte ipotesi su certi aspetti del comportamento del sistema reale, basate prevalentemente sulla propria esperienza e su delle intuizioni, piuttosto che sull' evidenza di certi aspetti del sistema. Considerato tutto ciò, bisognerebbe sempre ricordare che i parametri interessanti ottenibili attraverso un'analisi delle code dovrebbero essere considerati solo come indicatori approssimati della dimensione di queste quantità nel mondo reale. Di conseguenza le applicazioni della teoria delle code sono utili principalmente per mettere in evidenza l'inadeguatezza di sistemi operativi esistenti, le direzioni verso cui procedere per migliorarli e i valori approssimati che alcune delle variabili di controllo del sistema devono assumere per ottenere un livello di prestazioni soddisfacente. Occorre dire, in secondo luogo, che la teoria delle code non è in grado di dare un

insieme di risposte completo. Dopo decenni di sviluppo, è possibile riassumere quanto segue:

1. Esistono poche espressioni per rappresentare lo stato transitorio e il comportamento non stazionario dei sistemi di code. Quasi tutto quello che è disponibile riguarda lo stato di equilibrio.
2. Anche supponendo di essere nelle condizioni di equilibrio, la teorioa delle code si imbatte in difficoltà di natura matematica in moltissimi casi: si presenta continuamente il problema se scegliere un modello realistico per il quale non si riesca ad ottenere nessun risultato o quasi, oppure utilizzare modelli semplificati di validità discutibile per il problema che si sta studiando.
3. La maggior parte dei risultati esatti nella teoria delle code riguarda i sistemi nei quali gli intervalli di tempo che separano arrivi consecutivi sono particolari: hanno una distribuzione di probabilità che segue la legge esponenziale negativa (che non andremo a trattare in questo elaborato per ovvi motivi). Fortunatamente, si tratta di una ipotesi accettabile in una vasta classe di situazioni.
4. La teoria delle code riesce discretamente bene a valutare media e varianza di elementi di notevole importanza, come ad esempio la durata del tempo di attesa in coda, oppure il numero di clienti in attesa davanti ad uno sportello. Non riesce altrettanto bene (richiedendo tecniche molto sofisticate) quando si tratta di ricavare la distribuzione di probabilità sui valori che possono assumere queste quantità.

Quanto appena esposto può apparire scoraggiante. Tuttavia si tratta di avere una prospettiva esatta, senza voler con ciò negare ogni validità ai risultati che la teoria delle code è riuscita fino ad oggi a conseguire. Certi risultati sono decisamente forti ed importanti: si applicano in molte situazioni, forniscono importanti informazioni sui fenomeni che si possono verificare e richiedono al tempo stesso un insieme di conoscenze veramente limitato in merito alle caratteristiche dei tempi di arrivo, dei tempi di servizio, sulla disciplina della coda e così via.

Di seguito si concentrerà l’ attenzione sugli aspetti legati alle stime di alcune quantità quali la frazione di tempo nella quale il servizio è inattivo, i valori medi del tempo passato dai clienti in attesa del servizio, la durata media dei tempi nei quali uno

sportello è occupato di continuo e così via. Si tratta di quelle grandezze nello studio delle quali la teoria è riuscita a conseguire qualche risultato plausibile ed accettabile. Va detto, infine, che la teoria delle file d'attesa ha un evidente carattere descrittivo: essa non pone, almeno in maniera diretta, funzioni obiettivo, ma indica esclusivamente dei "what if".

3.3.2 Terminologia e notazioni

Con il termine di "sistema di code" ci riferiremo ad un generico modello comprensivo di tre elementi: una sorgente di clienti, una coda ed un servizio erogato da uno o più sportelli tra di loro uguali e operanti in parallelo. Nel caso aziendale che verrà affrontato in seguito, il servizio erogato è costituito dalla lavorazione (taglio, impregnazione ecc.) delle commesse all'interno del'area produzione o, eventualmente, dal lavoro di montaggio delle strutture in legno.

Ogni cliente di un sistema di code è generato da una sorgente di clienti, passa attraverso una coda nella quale rimane per un periodo di tempo non negativo (eventualmente nullo) ed è servito da uno sportello (se esistono più sportelli, e non è il caso aziendale che studieremo dopo, è servito da un solo sportello, visto che lavorano in parallelo). Una volta che il cliente ha lasciato uno degli sportelli del sistema, avendone ottenuto il servizio, egli è considerato uscito dal sistema di code. Un reticolo di code (o una rete di code) è un insieme di sistemi di code interconnessi. In tal modo, in una rete di code la sorgente di clienti per qualche sistema di code nella rete può essere qualche altro sistema di code nella rete stessa. È evidente che la analisi dei modelli di sistemi di code è alla base di quella delle reti.

Un sistema di code è pienamente descritto quando sono state fornite sufficienti informazioni relative a tutte e tre le componenti sopra descritte. In particolare:

1. Occorre specificare il processo generatore dei clienti, ovvero come i clienti arrivano al sistema.
2. Si deve chiarire la disciplina della coda, cioè il modo nel quale i clienti ottengono l'accesso al servizio una volta che sono disposti in coda.
3. Occorre specificare il processo di servizio.

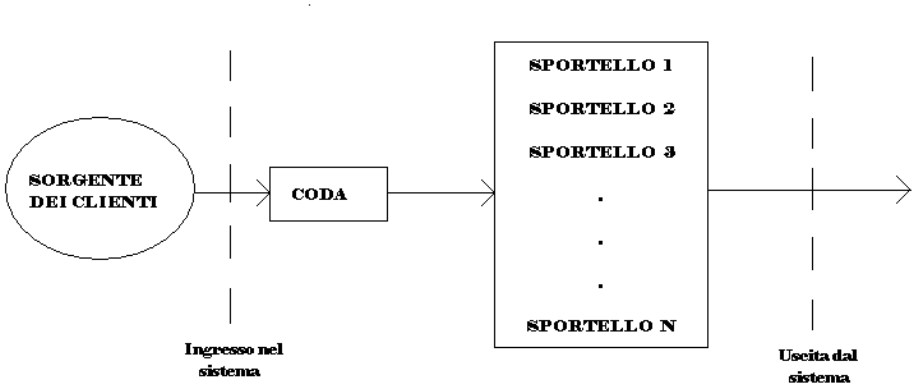

Figura 3.1 : schema di un sistema di code

Per descrivere una rete di code occorre fornire ulteriori informazioni, relative alle connessioni tra i vari sistemi, alle interazioni tra gli stessi e al modo con il quale i clienti sono assegnati al sistema di code.

È ovvio che esistono innumerevoli varianti di sistemi di code e reti di code. Per questo motivo è diventato di uso comune adoperare un codece particolare per indicare i sistemi di code più semplici (o meglio studiati). Questo codice è in forma A / B / m, dove *A* e *B* sono simboli letterali ed *m* è una costante intera. Le lettere A e B indicano la distribuzione di probabilità dei tempi che separano l'arrivo di clienti consecutivi e dei tempi di servizio, rispettivamente, mentre m indica il numero di posti di servizio identici che lavorano in parallelo. Le lettere standard usate per le distribuzioni di probabilità nella teoria delle code sono le seguenti:

- M = distribuzione esponenziale negativa; essa equivale ad una distribuzione di Poisson per il numero di clienti arrivati o serviti, a seconda dei casi, in un certo fissato intervallo temporale. Il simbolo M può significare "memoryless", ovvero senza memoria, una caratteristica dei processi poissoniani (verso i quali non si presta particolare attenzione in quanto non necessario ai fini pratici di questo elaborato).
- D = deterministico; tempi di servizio e/o intervalli separatori degli arrivi costanti.

- E_k = distribuzione di Erlang di ordine k.
- H_k = distribuzione iperesponenziale di ordine k.
- G = distribuzione “generale”, ovvero non specificata.

Le lettere A e B possono consistere in uno qualunque dei simboli appena elencati. Può sembrare strano che, tra tutte le possibili distribuzioni di probabilità, solo quattro abbiano un simbolo particolare. La ragione di ciò sta nel fatto che solo queste distribuzioni danno vantaggi concreti in una analisi specifica, nel senso che il modello dal punto di vista matematico è “facilmente” trattabile. Tutte le altre distribuzioni sono state relegate nella categoria G. Per comodità supponiamo che vi sia indipendenza stocastica tra gli intervalli separatori di arrivi successivi e tra i tempi di servizio dei vari clienti. È evidente che ci sono delle situazioni per le quali tale ipotesi è scarsamente verificata.
Notazioni standard di uso pressochè universale sono usate anche per indicare le discipline nel servizio di uso più comune. Con il termine FIFO (first in first out) si indica la regola consistente nel servire i clienti nello stesso ordine con il quale sono arrivati nel sistema (che nel caso aziendale di Stratek è il criterio seguito al netto di fattori, quali ad esempio l’importanza del cliente, che alterino le priorità di esecuzione delle commesse, come vedremo nel capitolo successivo). LIFO (last in first out) denota la procedura che consiste nel servire per primo l’ultimo dei clienti giunti in coda. Vi sono anche sistemi con accesso casuale (RANDOM) nei quali viene estratto a sorte il “cliente” da servire. Infine, ma non certo per scarsa importanza, esiste la categoria importante delle code con classi di priorità (che come già accennato sarà il perno centrale dell’analisi della produzionedi Stratek).

Un altro importante parametro nella descrizione di un sistema di code è la *capacità del sistema* stesso. Essa in dica il numero massimo di clienti che in un generico istante di tempo (o intervallo di tempo, nel nostro caso che vedremo in seguito sarà la settimana) possono essere davanti agli sportelli e nella coda. La *capacità della coda*, invece, indica il numero massimo di clienti che si possono avere nella coda, da sola. Infine è importante mettere in evidenza che i sistemi di code non sempre corrispondono all’immagine classica di uno sportello, stazionante in un determinato luogo, come ad

esempio quello di una banca o o di un casello autostradale, al quale i clienti devono accedere.
È assai frequente il caso in cui siano i clienti a rimanere fissi, anche geograficamente distanti fra loro. Basti pensare alla manutenzione di macchinari pesanti in una officina, effettuata da squadre (servizio) di operai che si spostano da una macchina all'altra. A tale proposito è il caso di mettere in evidenza anche un'altra caratteristica di alcuni sistemi di code, e cioè quella di avere un numero potenziale di clienti finito (generalmente di numerosità assai bassa). Viceversa, il caso di "infiniti clienti" è una approssimazione usata quando il numero di clienti è sufficientemente elevato da far si che, rispetto al numero dei clienti in coda o nel sistema, il numero di clienti potenziali sia praticamente sempre lo stesso.

3.3.3 Definizioni fondamentali

In questo sottoparagrafo verranno definite le grandezze ed introdotti i termini che vengono usati nello sviluppo della teoria. Si supponga di fissare l'attenzione su uno specifico sistema di code e di iniziare a contare, a partire da qualche istante che indicheremo con t=0, il numero di clienti che entrano nel sistema. Si consideri l'i-esimo cliente che entra nel sistema dopo aver iniziato il procedimento di conteggio. Nei riguardi di tale cliente possono essere identificati 3 eventi di una certa importanza: l'arrivo del cliente nel sistema (il quale istante definiremo con $t_a(i)$), l'inizio del servizio a lui fornito ($t_b(i)$) e il completamento del servizio stesso ($t_c(i)$). Possiamo dunque definire tali quantità:

- $X(i) = t_a(i) - t_a(i-1)$, ovvero l'i-esimo intertempo;
- $S(i) = t_c(i) - t_b(i)$, ovvero la durata del servizio offerto all'i-esimo cliente;
- $W_q(i) = t_b(i) - t_a(i)$, ovvero il tempo d'attesa in coda per l'i-esimo cliente;
- $W(i) = t_c(i) - t_a(i)$, ovvero il tempo totale passato nel sistema dal cliente i-esimo.

Dalle notazioni introdotte possiamo dedurre anche che $W(i) = W_q(i) + S(i)$.

In generale, gli intertempi ed i tempi di servizio sono variabili casuali, X(i) e S(i), con funzioni di densità di probabilità $f_{x(i)}(x)$ e $f_{s(i)}(s)$ rispettivamente. Per comodità verrà considerato che gli intertempi (durate degli intervalli separatori) siano tra di loro indipendenti ed analogamente distribuiti, così come i tempi di servizio dei vari clienti. I valori attesi delle variabili casuali X e S sono i seguenti:

$E(X) = 1 / \lambda$ e $E(S) = 1 / \mu$

In altri termini, λ rappresenta il numero atteso (o il "tasso") di arrivi di clienti nella coda per unità di tempo. Analogamente, μ è il numero atteso di servizi forniti nell'unità di tempo quando uno sportello lavora senza interruzioni. Si osservi che, quando vi sono m sportelli che lavorano in parallelo simultaneamente, il tasso di completamento dei servizi è $m^* \mu$.
Se si consente al sistema di code di operare per un periodo di tempo sufficientemente lungo, ci si può aspettare, sotto certe ipotesi, di raggiungere una situazione di equilibrio ("steady state"). Senza specificare quali siano le condizioni che consentono ciò, è ragionevole supporre che, per elevati valori di i, i tempi W(i) e $W_q(i)$ divengano manifestazioni di due variabili casuali, W e W_q, le cui densità di probabilità $f_W(w)$ e $f_{Wq}(w_q)$ sono indipendenti dal numero d'ordine i di arrivo del cliente.
Si indicheranno allora le densità f_W e f_{Wq} come le leggi di equilibrio (steady state) per l'occupazione del sistema e il tempo di servizio da parte di un cliente.
Si definiscono allora le quantità:

- $\overline{W} = E(W) = \lim_{n\to\infty} E\big(W(i)\big)$, tempo medio trascorso nel sistema da un cliente in equilibrio.
- $\overline{Wq} = E(W_q) = \lim_{n\to\infty} E\big(Wq(i)\big)$, tempo medio di servizio, in condizioni di equilibrio.

Anziché prendere in considerazione eventi temporali legati al singolo cliente, come fatto finora, si può anche guardare al sistema nel suo complesso e, in certi istanti di tempo t, studiare le grandezze:

- N(t) = numero totale di clienti (inclusi quelli che stanno ricevendo il servizio) nel sistema all'istante t;
- $N_q(t)$ = numero dei clienti in attesa di servizio all'istante t.

Per valori elevati di t e in ipotesi (non ancora specificate) appropriate, ci si può aspettare che le distribuzioni delle variabili N(t) ed $N_q(t)$ si avvicinino a delle distribuzioni di equilibrio caratterizzate da probabilità che saranno indicate con $P_N(n)$ e $P_{Nq}(n_q)$.
Si definiscano allora i simboli che seguono:

- $\overline{L} = E(N) = \lim_{n\to\infty} E\big(N(t)\big)$, numero totale atteso di clienti nel sistema code in equilibrio;
- $\overline{Lq} = E(N_q) = \lim_{n\to\infty} E\big(Nq(t)\big)$, numero atteso di clienti nella coda (in equilibrio).

Si consideri inoltre la quantità:

$$\rho = \textit{tasso di utilizzo} = \frac{tasso\ di\ arrivi\ dei\ clienti\ nel\ sistema}{tasso\ di\ servizio\ totale\ disponibile}$$

Dalla definizione di tasso di utilizzo risulta che per un sistema con un solo sportello si ha $\rho = \lambda / \mu$; per un sistema con m sportelli, invece, vale la relazione $\rho = \lambda / m*\mu$.

3.3.4 Alcune importanti relazioni nella teoria delle code

Verranno stabilite ora alcune importanti relazioni che riguardano i valori attesi delle grandezze definite nel paragrafo precedente, $\overline{L}$, $\overline{Lq}$, $\overline{W}$ e $\overline{Wq}$, per un sistema di code assai generale.
Le relazioni confortano l'idea intuitiva che la lunghezza media di una coda davanti ad uno sportello (o comunque in attesa di un servizio o di una lavorazione) dia una buona indicazione del tempo medio di attesa per poter ricevere il servizio.

Si consideri l'entrata di un sistema di code e si supponga di contare il numero di clienti che arrivano durante un intervallo di tempo di lunghezza arbitraria, che per comodità sarà l'intervallo (0, t). All'istante iniziale il sistema sia vuoto.
Si indichi:

- *a(t)* = funzione del numero di clienti che si sono presentati nel periodo (0, t);
- *c(t)* = funzione del numero di clienti che sono stati serviti (e si sono allontanati) nel periodo (0, t);
- *N(t) = a(t) – c(t)* , il numero di clienti nel sistema nell'istante t (t maggiore di zero, sapendo dall'inizio che all'istante 0 il sistema è vuoto).

Si consideri la figura seguente.

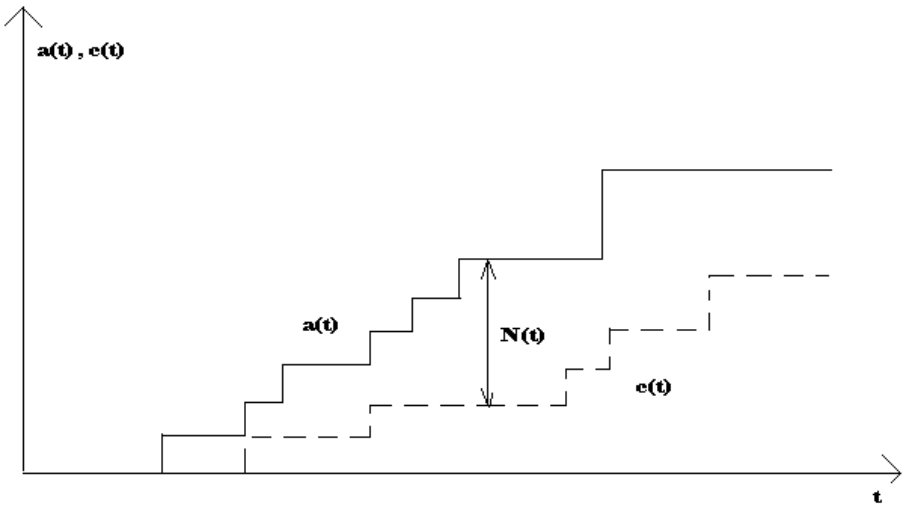

Figura 3.2 : andamento delle funzioni a(t) e c(t) ed area tra di esse compresa

Appare chiaro che l'ammontare totale di tempo l(t) trascorso da tutti i clienti nel sistema di code durante il periodo (0, t) corrisponde all'area della parte di piano compresa tra le curve c(t) e a(t), espressa quindi dall'integrale:

$$l(t) = \int_0^t N(t)dt = \int_0^t \big(a(t) - c(t) \big) dt$$

Il numero medio dei clienti nel sistema N(t) durante l'intervallo (0,t) può essere ottenuto dividendo l'ammontare totale di tempo trascorso dai clienti nel sistema stesso per l'ampiezza t dell'intervallo di tempo (va ricordato, d'altra parte, il teorema della media per gli integrali definiti):

$$\overline{N}(t) = \frac{l(t)}{t} = \frac{l(t)}{a(t)} * \frac{a(t)}{t} \quad .$$

La forma utilizzata per indicare N(t) vuole mettere in evidenza, all'ultimo membro, quantità aventi un preciso significato. Il rapporto a(t) / t è semplicemente il numero medio di arrivi per unità di tempo (tasso degli arrivi) durante l'intervallo (0 , t) e, in base alle notazioni già introdotte, può essere indicato con W_t .
A questo punto si può definire:

$$\overline{N}(t) = \overline{\lambda}_t * \overline{W}_t$$

Ipotizzando che la lunghezza t dell'intervallo tenda ad infinito, è chiaro, in funzione delle definizioni precedenti, che vale la relazione:

$$\overline{L}_q = \lambda * \overline{W}$$

In merito a questa ultima formula occorre fare alcune importanti osservazioni:

- Per ottenere la formula di cui sopra si è immaginato di prendere posizione all' entrata ed all' uscita del sistema di code. Sarebbe stato possibile effettuare la stessa analisi conteggiando le entrate nel sistema di code (come prima), ma le uscite dalla coda (in sostanza gli ingressi agli sportelli), ottenendo la relazione:

  $$\overline{L}_q = \lambda * \overline{W}_q \,,$$

  dove $\overline{L}_q$ e $\overline{W}_q$ sono il numero medio e l'attesa media nella coda.
- Fino ad ora non è mai stata specificata una particolare disciplina di coda. In sostanza, le relazioni stabilite valgono senza riferimento al metodo particolare usato

per stabilire chi nella coda vada servito per primo; i risultati valgono anche nel caso in cui i clienti siano ripartiti in più classi alle quali sono assegnati differenti livelli di priorità. Le relazioni stabilite valgono all'interno di ciascuna classe.

- L'unica condizione posta al processo degli arrivi in coda è che

  $\lim_{t\to\infty} \frac{a(t)}{t}$,

  cioè il tasso degli arrivi a lungo termine, sia finito. Per chiarire meglio questo significato, si consideri il caso in cui il tasso degli arrivi, anziché essere costante, sia funzione di qualche parametro, come ad esempio il numero complessivo di clienti presenti nel sistema. Allora le relazioni stabilite or ora sono ancora valide, ma usando un valore di λ uguale alla media di lungo periodo del tasso con il quale i clienti entrano nel sistema. In particolare, per i sistemi di code nei quali la coda stessa ha una capacità finita (e quindi esiste la possibilità che qualche cliente si allontani trovando già la coda "piena"), le relazioni stabilite continuano a valere sostituendo a λ il tasso medio con il quale i clienti hanno accesso effettivo al sistema.

Un'ultima relazione di notevole importanza, sempre valida per quanto si è già visto, è la seguente:

$$\overline{W} = E(S) + \overline{W}_q = 1/\mu + \overline{W}_q .$$

Si osservi che le relazioni poste, assieme ai valori di λ e di μ, rendono possibile il calcolo di tutte e 4 le grandezze $\overline{L}$, $\overline{L}_q$, $\overline{W}$ e $\overline{W}_q$ non appena sia nota una di esse. Infine è il caso di esporre la seguente giustificazione (che non è una prova) delle relazioni tra $\overline{L}$, $\overline{L}_q$, $\overline{W}$ e $\overline{W}_q$. Raggiunto lo stato di equilibrio, il numero di clienti che un cliente trova all'interno di un sistema (ove, normalmente, il primo arrivato è anche il primo servito) quando egli vi perviene, dovrebbe essere uguale al numero di clienti che egli lascia dietro di sé quando abbandona il sistema (il numero è $\overline{L}$ o $\overline{L}_q$, a seconda di cosa si intende per sistema).

Ma il numero di clienti che ci si ritrova alle spalle è semplicemente dato dal tasso degli arrivi moltiplicato per il tempo (medio) che un cliente medio trascorre all'interno del

sistema. Il tasso di servizio, calcolato usando il tasso effettivo di accesso al sistema, ha anche il significato di parte di tempo, riferita all'unità temporale, che l'addetto allo sportello lavora. Infatti, poiché nell'unità di tempo vi sono λ arrivi, e ognuno di essi richiede mediamente un servizio di durata pari ad $1 / \mu$, è evidente che l'addetto allo sportello (supposto un unico servizio, come nel nostro caso che studieremo in seguito) deve impiegare $\lambda (1 / \mu)$ unità temporali per servire i λ clienti arrivati. Se vi sono *m* sportelli (e non sarà il nostro caso), ognuno si darà carico di un tempo di lavoro pari a $\lambda (1 / \mu) (1 / m)$.

Risulta altresì evidente che se $\rho > 1$ (tasso di utilizzo) allo sportellista non basterà i tempo a disposizione per servire tutti i clienti, e la coda si allungherà in modo indefinito. Al contrario, se $\rho < 1$, egli sarà libero per una frazione di tempo di $1 - \rho$.

Il caso $\rho = 1$, che all'apparenza può sembrare quello ideale, rimane ancora critico.

3.3.5 Il modello M/M/1

Si consideri ora un modello particolarmente semplice, le cui varianti però coprono una vasta gamma di situazioni concrete (fra le quali è possibile ricondurre anche il caso di studio oggetto di questa tesi), fornendo dei risultati di forte interesse e non del tutto intuitivi.

Si consideri un unico sportello al quale si presentano dei clienti per ricevere il servizio (ad esempio la vendita di un biglietto). Si supponga che:

- Una volta formatasi una coda, nessun cliente della stessa si scoraggi a tal punto da abbandonarla.
- L'ordine con il quale sono serviti i clienti sia quello con cui essi si sono presentati.
- Gli intervalli separatori degli arrivi e i tempi di servizio siano distribuiti entrambi esponenzialmente con media, rispettivamente, $1/\lambda$ ed $1 / \mu$.
- Non vi sia alcun limite alla capacità della coda.

Si tratta, secondo la terminologia già introdotta al paragrafo 3.3.2, di un sistema di code del tipo M/M/1, con capacità della coda infinito e numero potenziale di clienti infinito.

Appare evidente che la capacità infinita della coda sia una idealizzazione delle situazioni concrete. Tuttavia essa rappresenta una valida approssimazione non appena la capacità reale superi la decina di clienti.
La condizione per la stazionarietà del sistema è la seguente:

$$\rho = \lambda / \mu < 1.$$

Questa condizione è abbastanza intuitiva: se fosse $\lambda > \mu$, e cioè $\rho > 1$, il tasso medio degli arrivi nel sistema supererebbe quello del completamento dei servizi. Quanto più a lungo il sistema opera, tanto più si allunga anche la coda davanti allo sportello e non si raggiunge mai nessuno stato stazionario. E' molto meno ovvio il motivo per il quale non si ha stazionarietà nemmeno se $\rho = 1$. Una possibile spiegazione può essere data analizzando il sistema M/M/1 con capacità finita, che verrà illustrato tra poco. Per il sistema M/M/1 è facile ottenere anche le grandezze:

- $\overline{L} = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{\lambda}{\mu-\lambda}$
- $\overline{W} = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)}$

IL MODELLO M/M/1 CON CODA A CAPACITA' FINITA

Le condizioni di equilibrio varranno in qualunque circostanza, senza riguardo per il valore di ρ. Poiché il numero degli stati è finito, vi è un confine superiore alla lunghezza della coda. Anche se il tasso degli arrivi è molto più grande del tasso di servizio, si raggiungerà l'equilibrio: la coda sarà semplicemente al massimo livello consentito per la maggior parte del tempo. In tale situazione, una parte rilevante dei clienti potenziali sarà costretta ad andarsene da qualche altra parte. Tale frazione sarà uguale a P_k, cioè alla probabilità di avere una coda satura (per coda si intende anche la clientela che sta ricevendo il servizio, o nel nostro caso le commesse in lavorazione). Si noti poi che se $\rho = 1$, $P_n = 1 / (k+1)$, cioè tutti gli stati sono equiprobabili.

In tal caso $\overline{L} = \frac{k}{2}$ ed è evidente come, considerando il modello M/M/1 con capacità infinita il caso limite di questo con capacità finita per $\rho = 1$, se $K \to \infty$ anche $L \to \infty$.

In sostanza, quando il tasso di arrivo di nuovi clienti (o commesse) è uguale al tasso di completamento dei servizi (o delle commesse stesse), la coda tende ad allungarsi indefinitamente e con essa i tempi di attesa. Risulta scontato, allora, che con ritmi di richiesta e di esecuzione aleatori occorre fare ricorso a risorse esterne per la stabilità del sistema.

3.4 REGOLE DI PRIORITA' NEI PROBLEMI DI SCHEDULING A RISORSE LIMITATE

I manager delle aziende, indipendentemente dal settore in cui operano, si trovano spesso a dover affrontare decisioni difficili in merito all'allocazione delle risorse, quando quest'ultime sono limitate. L' obiettivo prefissato solitamente si traduce nella minimizzazione dei tempi di completamento (o di ritardo) delle attività di un determinato progetto o piano produttivo. A tal proposito occorre considerare il concetto di "regole di priorità", ovvero una serie di criteri con i quali viene assegnato un'ordine alle attività affinché vengano svolte nel miglior modo e nel minor tempo possibile.
Tuttavia, i casi in cui le regole di priorità ottengono risultati di performance scadente sono molteplici. Questo può essere favorito anche dal fatto che i manager di portfolio e i manager di progetto spesso prediligono regole prioritarie diverse in funzione dei loro obiettivi locali o globali.
All'interno di questo paragrafo verranno considerati nel dettaglio alcuni risultati "decisionali", ovvero quelle regole pratiche delle quali necessitano i manager per poter fare una descrizione abbastanza ruvida e qualitativa dei loro progetti in termini di complessità, grado di contesa delle risorse e distribuzione delle stesse.

3.4.1 Priorità in un contesto multi-progetto

Man mano che i progetti sono diventati sempre più comunemente strutture per l'organizzazione del lavoro nelle imprese contemporanee, le questioni che coinvolgono la gestione simultanea di progetti multipli (o di un portafoglio di progetti) hanno acquisito un'importanza sempre maggiore. Alcuni studi hanno dimostrato che i manager delle aziende solitamente si occupano al più di quattro progetti alla volta, quindi che interessano contemporaneamente lo stesso periodo di tempo [8 , 9].
L'obiettivo è quello di dare delle priorità alle attività da svolgere in modo da ottimizzare la funzione obiettivo che, come già detto in precedenza, solitamente consiste nella minimizzazione dei tempi di ritardo o di esecuzione (concettualmente è la stessa cosa). In questo caso si parla di *resource-constrained multi project scheduling problem*

(RCMPSP), ovvero di problemi di scheduling multi-progetto con risorse limitate.
A causa della varietà di problemi e imprevisti con i quali le aziende si devono confrontare continuamente, è probabile che il project manager, per decidere l'allocazione ottimale delle risorse, si trovi a doversi affidare all'intuito ed al buon senso. Tuttavia, per diverse ragioni i managers non sono in grado di sviluppare dei modelli di reti di attività che diventano prerequisiti fondamentali per l'applicazione di queste regole soggettive legate all'inventiva.
Pertanto, il problema di quale regola di priorità utilizzare è discusso in diversi testi contemporanei di project management, come "Project Management" di Meredith e Mantel (2009) [10], senza però riuscire a giungere ad una guida definitiva per i manager.
Attraverso un esperimento, composto da migliaia di esempi di problemi multi fattoriali generati casualmente, sono state analizzate dagli studiosi le 20 regole di priorità che elencheremo al paragrafo 3.4.4. Sono state riscontrate delle importanti differenze nelle prestazioni delle stesse (e questo implica come la scelta della regola stessa sia determinante), e come molte regole prioritarie largamente sostenute si siano in realtà dimostrate poco performanti.

3.4.2 Definizione del problema

Un problema resource-constrained multi project scheduling, che nello studio del caso aziendale in questione tratterà l'ordine di lavorazione delle commesse relative ai vari contratti, può essere ricondotto ad un problema di ottimizzazione con vincoli relativi ai tempi ed alle risorse.
Un gruppo di j=2, …, J progetti devono essere eseguiti ed ogni progetto consiste in i=1, …, N_j attività con durata d_{ij} deterministica, senza possibilità di interruzione. Le attività sono correlate alla precedente ed ai vincoli sulle risorse. I vincoli impongono all'attività i-esima di partire solo quando tutte le precedenti attività sono terminate. Ogni attività richiede r_{ik} unità di tipo risorsa, con $k \in K$, durante tutto il tempo della sua durata. Ogni risorsa k ha una capacità rinnovabile di R_k. Qualora l'insieme delle attività ammissibili

(tenuto conto dei vincoli di precedenza) richiedesse una capacità > K per qualche risorsa k, allora alcune attività verrebbero ritardate.

Ogni progetto è associato ad una data di consegna (o di termine), impostata in funzione della propria durata vincolata alle risorse. Indichiamo con F_{ij} l'istante di fine dell'attività i del progetto j, in modo che un programma di scheduling possa essere rappresentato tramite un vettore $(F_{1j} , \dots , F_{ij} , \dots , F_{Nj,j})$. Sia A_t il gruppo di attività in esecuzione all'istante t. P_{ij} è l'insieme delle attività immediatamente precedenti all'attività i nel progetto j, $\hat{\imath} \in P_{ij}$.

La formalizzazione è molto semplice, e prevede una funzione obiettivo che cerca di ottimizzare una misura di performance pre specificata (solitamente, come già ampiamente spiegato, la minimizzazione dei tempi di ritardo o di esecuzione) e dei vincoli che gestiscono alcuni aspetti: impongono le relazioni di precedenza tra le attività, limitano la domanda di risorse (che è imposta dalle attività in fase di elaborazione) alla capacità disponibile, obbligano il tempo di termine delle attività ad essere maggiore o uguale a zero. Nel dettaglio il problema può essere formalizzato come segue:

- funzione obiettivo da ottimizzare: $(\forall i \in N_j , j \in J ; F_{1j} , \dots , F_{ij} , \dots , F_{Nj,j})$
- soggetta ai vincoli: $\forall i \in N_j , \hat{\imath} \in P_{ij} , j \in J :$ $F\hat{\imath}j \leq F_{ij} - d_{ij}$
- $\forall i,j \in A_t : \sum_{i,j \in At} r_{ijk} \leq r_k , k \in K , t \geq 0$
- $\forall i \in N_j , j \in J , F_{ij} \geq 0$

Il problema statico di base può essere ampliato in diversi modi. I nuovi progetti potrebbero arrivare con ordine e attività non noti a priori, determinando il passaggio da un ambiente statico ad uno dinamico. Le interdipendenze tra i vari progetti possono esistere, coerentemente con l'utilizzo di risorse comuni, e le attività possono essere eseguite ognuna richiedendo diversi tipi e/o quantità di risorse [11]. L'interruzione dell'esecuzione delle attività è consentita, con l'implicazione di eventuali costi di conversione o ripartenza [12]. La durata delle attività potrebbe essere stocastica (casuale) ed il tempo di trasferimento delle risorse per l'esecuzione delle attività

potrebbe essere maggiore di zero, con risorse solitamente non rinnovabili.
Trattandosi di un problema a risorse limitate, necessita della specificazione di una serie di vincoli sulle risorse stesse e sulle attività, che si traducono nell' assegnazione delle priorità. Questo concetto assume un'importanza cruciale nell'organizzazione della produzione del caso aziendale di Stratek, affrontato in maniera approfondita nel capitolo successivo.

3.4.3 Classificazione ed utilizzo delle regole di priorità

Dopo aver presentato e formalizzato un problema di scheduling multi progetto a risorse limitate, l'attenzione va rivolta alle regole di priorità con le quali determinare l'ordine di esecuzione delle attività o dei diversi progetti produttivi di un'azienda.
Le regole di priorità, che per comodità da qui in avanti chiameremo PRs (Priority rules), possono essere classificate in funzione delle informazioni sulle quali si basano:

- regole di priorità connesse alle attività: assegnano priorità alle diverse attività in funzione di una caratteristica od un parametro dell'attività stessa, come ad esempio la sua durata (ad esempio la regola SOF – shortest operation first, che vedremo nel dettaglio in seguito);
- regole di priorità connesse al progetto: classificano le attività in funzione del progetto a cui appartengono o delle caratteristiche di quel progetto (ad esempio la regola SASP – shortest activity from shortest project first);
- regole di priorità connesse alle risorse: assegnano priorità alle attività in funzione della domanda di risorse o della necessità di combinazioni di risorse diverse.

Solitamente viene assegnata un'alta priorità alle attività dette "collo di bottiglia", ovvero quelle attività che più di tutte sono in grado di influenzare e/o vincolare tutta l'attività produttiva, facendo emergere l'esigenza di essere eseguite il prima possibile (ad esempio il MAXTWK – maximum total work content).
Alcune regole di priorità combinano elementi informativi riguardanti le attività, i progetti e/o le risorse utilizzate [13]. Le regole più performanti e di successo di solito incorporano misure di utilizzo di tempo o di risorse.

Mentre per un contesto a progetto singolo sono stati affrontati molti studi su svariate regole di priorità, relativamente a problemi multi progetto sono state sviluppate e studiate solo una manciata di regole. E' molto importante precisare che i due approcci (single project e multi project) spesso producono risultati diversi in termini di programmazione, pur utilizzando le stesse regole di priorità [14 , 15], specialmente se la regola è connessa direttamente al percorso critico di esecuzione delle attività.
Mentre l'approccio a progetto singolo è molto efficiente per minimizzare la durata di un singolo progetto, le regole di priorità per un problema multi progetto sono più performanti nella minimizzazione del ritardo medio per progetti diversi [16].

3.4.4 Le regole di priorità più conosciute

Giunti a questo punto, sembra opportuno elencare le regole prioritarie più utilizzate nei problemi di programmazione operativa. Tuttavia, come già detto all'inizio di questo paragrafo, molto spesso i manager si trovano costretti ad affidarsi al proprio istinto ed alla propria esperienza nell'attribuire delle priorità alle attività, in quanto l'insorgere di imprevisti ed altri elementi di casualità rendono difficile l'applicazione pura e semplice di queste regole standard. Ad ogni modo, sono di seguito elencate le venti regole di priorità più conosciute ed analizzate [16].

1. FCFS – FIRST COME FIRST SERVED : Consiste nell'attribuzione di alte priorità alle attività con data (o istante) di disponibilità ad essere eseguite più vecchio. Il meccanismo ricorda quello della teoria delle code dove le attività (o i clienti)vengono eseguite (o serviti) nell'ordine con il quale entrano nel sistema.

2. LCFS – LAST COME FIRST SERVED : In questo caso la priorità più alta è assegnata all'ultima attività pronta per essere eseguita. Riguarda il tipico caso delle urgenze immediate. E' evidente che se non è previsto un sistema di revisione delle priorità, le attività più vecchie rimangono sempre in fondo alla coda e rischiano di non venire mai eseguite.

3. SOF – SHORTEST OPERATION FIRST : Viene assegnata priorità maggiore alle attività con tempo di esecuzione minore.

4. MOF – MAXIMUM OPERATION FIRST : Viene assegnata priorità maggiore alle attività con tempo di esecuzione maggiore.

5. MINTWK *– MINIMUM TOTAL WORK CONTENT : Vengono assegnate le priorità al fine di minimizzare il tempo totale di esecuzione delle attività.

6. MAXTWK* – MAXIMUM TOTAL WORK CONTENT : In questo caso l'obiettivo è quello di massimizzare il tempo totale di esecuzione delle attività.

7. MINSLK* – MINIMUM SLACK : Le priorità vengono assegnate con l'obiettivo di minimizzare lo scarto tra l'istante di inizio dell'attività più vecchia (in termini di istante dal momento in cui è disponibile ad essere eseguita) e il massimo tra l'istante di disponibilità dell'attività più recente e l'istante attuale.

8. MAXSLK* – MAXIMUM SLACK : L'obiettivo è quello di massimizzare lo scarto di cui alla precedente e le priorità vengono assegnate in funzione di questo.

9. SASP* – SHORTEST ACTIVITY FROM SHORTEST PROJECT : Viene assegnata un'alta priorità alle attività in funzione della loro durata e della durata dell'eventuale progetto di appartenenza (se si tratta di un contest multi project). Le attività più corte dei progetti più semplici hanno priorità maggiore.

10. LALP* – LONGEST ACTIVITY FROM LONGEST PROJECT : Vale l'opposto di quanto visto per la regola precedente, con priorità elevate assegnata alle attività più lunghe degli eventuali progetti più complessi.

11. RAN – RANDOM : Le priorità alle attività vengono assegnata in modo casuale.

12. EDDF – EARLIEST DUE DATE FIRST : Viene assegnata priorità alta alle attività con data di consegna (o di termine) più prossima.

13. MAXSP – MAXIMUM SCHEDULE PRESSURE : le alte priorità vengono date alle attività già iniziate con tempo rimanente per il completamento molto basso.

14. MINLFT – MINIMUM LATE FINIS TIME : priorità assegnate alle attività con l'obiettivo di minimizzare il ritardo al termine di tutte le operazioni.

15. MINWCS – MINIMUM WORST CASE SLACK : l'obiettivo è quello di minimizzare lo scarto (slack visto per le regole 7 ed 8) nel peggiore dei casi.

16. WACRU – WEIGHTED ACTIVITY CRITICALITY AND RESOURCE UTILIZATION : Le priorità vengono assegnate alle attività in funzione del livello di criticità delle stesse e delle risorse impiegate.

17. TWK LST* – MAXTWK AND EARLIEST LATE START TIME : Regola di priorità a due fasi. Ad un primo livello si basa sulla regola del MAXTWK vista al punto 6 e successivamente attribuisce priorità elevata alle attività più recenti.

18. TWK EST* – MAXTWK AND EARLIEST EARLY START TIME : Altra regola di priorità su due livelli. Il primo livello è come quello della regola precedente, mentre il passo successive consiste nell'attribuire priorità maggiore alle attività più vecchie.

19. MS – MAXIMUM TOTAL SUCCESSORS : Viene assegnata priorità maggiore alle attività che prevedono un numero elevato di attività successive.

20. MCS – MAXIMUM CRITICAL SUCCESSORS : In questo caso le priorità più alte sono assegnate alle attività che devono essere seguite da un elevato numero di attività critiche.

Le regole 1, 2, 3, 4, 7, 8, 12, 13, 14, 19, 20 si basano su elementi informativi riguardanti le attività; le regole 5, 6, 15, 16, 17, 17 combinano elementi informativi di attività e risorse impiegate e le regole 9 e 10 combinano informazioni di attività e progetti coinvolti. Infine le regole prioritarie indicate con un asterisco possono essere utilizzate sia per singoli progetti sia in un contesto multi progetto.

Purtroppo, come detto in precedenza, in qualsiasi contesto reale aziendale risulta molto difficile applicare una di queste regole in maniera diretta. E' evidente che risulta più facile laddove l'attività produttiva è fortemente standardizzata, e prevede cicli lavorativi che si ripetono quasi sempre allo stesso modo.

In ogni caso, le prime due regole elencate, FCFS ed LCFS rappresentano gli approcci tipici di quasi tutti i contesti aziendali. E' probabile e sensato, infatti, che le attività o le lavorazioni vengano eseguite seguendo un ordine cronologico, al netto dell'insorgere di fattori esterni o casuali: quest'ultimi potrebbero alterare questa sequenza e determinare una revisione delle priorità che imponga di eseguire subito l'ultima attività o l'ultimo lavoro arrivato. In quest'ottica, naturalmente, rivestono un ruolo fondamentale l'importanza e l'affidabilità dei clienti per i quali deve essere eseguito il lavoro: esistono dei clienti con un importanza maggiore, addirittura per i quali l'esecuzione di un lavoro rappresenta sempre la priorità maggiore.

CAPITOLO IV

L'ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE DELL'AZIENDA STRATEK

Giunti a questo punto dell'esposizione, si sposta l'attenzione sul funzionamento e sull'organizzazione aziendale. Nel capitolo precedente sono stati introdotti, a livello teorico, quei concetti e quelle tecniche di analisi che possono aiutare Stratek a rendere più efficiente l'organizzazione della propria produzione. Come già accennato, la complessità del contesto in cui opera l'azienda rende particolarmente difficile l'applicazione di rigidi algoritmi di analisi, ma alcuni concetti chiave possono venire in soccorso del product manager nel momento in cui dovrà prendere difficili decisioni.

4.1 PRIMA FASE DELLO STUDIO: RACCOLTA DEI DATI E CONSIDERAZIONI SU DI ESSI

La prima fase dello studio del caso prevede un'osservazione dell'azienda ed una raccolta di dati che permette di individuare quali attività o processi aziendali possono presentare eventuali problematiche.

Coerentemente con quanto visto nella presentazione nel secondo capitolo, sono state monitorate le varie aree aziendali per sei settimane consecutive; è stata presa nota, per ogni giorno delle varie settimane, delle ore lavorative complessive dedicate alle diverse attività dell'azienda, dalla preparazione dei preventivi alla lavorazione delle commesse da parte degli operai in capannone. Inoltre sono state monitorate anche le ore di lavoro delle varie squadre di montaggio, indipendenti da Stratek, anche se l'attenzione di questa analisi non si concentrerà su questo aspetto.

Di seguito vengono inserite le tabelle relative alle prime due settimane durante le quali è

stata monitorata l'attività aziendale: non si ritiene opportuno allegare i dati relativi all'intero periodo di rilevazione in quanto non direttamente necessarie per portare a termine l'analisi successiva.

WEEK 25	LUNEDI	MARTEDI	MERCOLEDI	GIOVEDI	VENERDI	SABATO
PREVENTIVI	3	2	6	7,5	8	4
CONTRATTI	2 - 086		1 - 085 1 - 087 0,5 - 084		1 - 088	
ESECUTIVI	8	2 - 083 3 - 065	2 - 083 1 - 065	1 - 083 1,5 - 073	1,5 - 082 1,5 - 079	
ORDINI	1	1	1 - 081 1 - 084 1 - 085 1 - 087	2	1,5	
TRASPORTI	1	1	1	1,5	1	
ALTRO	4	7	2,5	4,5	3,5	4
MAGAZZINO	4 - 075 4 - 056 32 - 076	40 - 076	40 - 076	16 - 073 24 - 060	16 - 072 24 - 080	8 - 063

Tabella 4.1 : Raccolta ore lavorative per attività della settimana 25 dell'anno

WEEK 26	LUNEDI	MARTEDI	MERCOLEDI	GIOVEDI	VENERDI	SABATO
PREVENTIVI	9,5	9	8,5	10	9,5	2
CONTRATTI	0,25 - 089 0,25 - 090		0,5 - 091	0,5 - 093	1 - 094	
ESECUTIVI	1 - 089 3 - 074		1,5 - 091	3 - 093 2,5 - 090	1,5 - 094 2 - 098	
ORDINI	2	7	7	3	1	
TRASPORTI	4	3	3	3	3	
ALTRO	9	9	6	5,5	9	2
MAGAZZINO	16 - 077 16 - 082	16 - 077 16 - 065	24 - 065 8 - 074	24 - 065 8 - 080	24 - 074 8 - 065	16 - 074

Tabella 4.2 : Raccolta ore lavorative per attività della settimana 26 dell'anno

Vediamo innanzitutto di comprendere il significato ed il contenuto di ogni cella. Come evidenzato, le prime 6 righe della tabella riguardano il lavoro svolto dall'ufficio tecnico: oltre all'iter classico aziendale, preventivi-contratti-esecutivi-ordini, che riassume la stragrande maggioranza dell'operato dell'azienda, si è voluto considerare anche il tempo dedicato all'organizzazione dei trasporti dal magazzino ai cantieri (con le commesse lavorate) e le ore impegnate a gestire gli incontri con i fornitori o le squadre di posatori, le relazioni con gli stakeholder in generale, le telefonate, il tutto aggregato sotto il nome di "altro".

All'interno di alcune celle, accanto alle ore dedicate, compare un numero a 3 cifre: si tratta del numero della commessa di riferimento ed è stata considerata per quelle attività utili per tracciare uno storico completo dei lavori dal momento della firma del contratto al termine della posa (i dati della quale, come già spiegato, non sono stati inseriti in

questa analisi).
Le celle colorate riguardano alcune commesse che inizialmente si era deciso di tenere sotto controllo per evidenziarne lo storico all'interno del sistema di code, osservazione rivelatasi poi non direttamente utile ai fini dell'analisi.

L'ultima attività, staccata volutamente dal resto, riguarda la lavorazione delle commesse in produzione: il numero di ore impiegate è decisamente superiore anche al totale delle ore dedicate a tutte le altre attività in quanto gli operai addetti alle lavorazioni sono 5 contro i soli 3 dipendenti dell'ufficio tecnico. Quindi, la somma delle ore degli operai di ogni giornata dovrebbe essere 40, come si vede nella tabella 3.1; nella seconda settimana di rilevazione presa in esame uno degli operai era in ferie, pertanto ogni giorno il totale delle ore lavorative disponibili era 32.
Appare subito evidente che la lavorazione delle commesse rappresenta il collo di bottiglia dell'attività di Stratek, ovvero quell'attività che in qualche modo è capace di influenzare tutto il processo produttivo vincolandolo ai suoi ritmi [20]. Infatti le ore di lavoro all'interno del magazzino sono sempre tutte quelle disponibili, senza che ci siano mai tempi morti: questo implica che il ritmo di esecuzione delle commesse, e quindi di soddisfazione dei clienti, dipende direttamente dal ritmo di lavoro degli operai in produzione.
Nel momento in cui è emersa questa problematica, si è deciso di concentrare l'analisi su come ottimizzare la lavorazione delle commesse in entrata in quello che può essere considerato un sistema di code, attraverso l'attribuzione delle priorità in funzione di diversi aspetti che vedremo in seguito.

4.2 PRESENTAZIONE DELLA PRODUZIONE DI STRATEK COME SISTEMA DI CODE

4.2.1 Definizione del sistema

Come ampiamente spiegato nel paragrafo 3.3.2, un sistema di code è pienamente descritto quando vengono fornite sufficienti informazioni relative alle tre componenti principali del sistema stesso, ovvero la sorgente di clienti, la coda e il servizio erogato. Inoltre è spesso opportuno fornire ulteriori informazioni in merito alla connessione tra i vari sistemi e alle interazioni tra di essi, già ampiamente considerati nel secondo capitolo.
Vediamo allora nel dettaglio tutto ciò che occorre conoscere del sistema di code di Stratek:

- sorgente dei clienti: i clienti in questo caso sono le commesse, che nascono come contratti ed esecutivi e devono essere lavorate in produzione. Il processo attraverso il quale le commesse arrivano al sistema di code parte dal lavoro degli agenti, che stipulano nuovi contratti con i clienti che si tramutano in esecutivi/specifiche tecniche, contenenti le indicazioni per la lavorazione della materia prima;
- disciplina della coda: una volta che i contratti vengono firmati e si traducono in esecutivi, le commesse sono pronte per accedere al servizio di lavorazione. L'ordine con il quale verranno eseguite dipenderà da una serie di fattori e di caratteristiche della commessa, che vedremo in seguito;
- processo di servizio: avendo individuato nella lavorazione delle commesse l'attività collo di bottiglia, l'attenzione si concentra necessariamente su questa fase. Tuttavia si potrebbe considerare come servizio del sistema anche l'intero ciclo aziendale, dalla creazione del preventivo alla posa finale in cantiere.

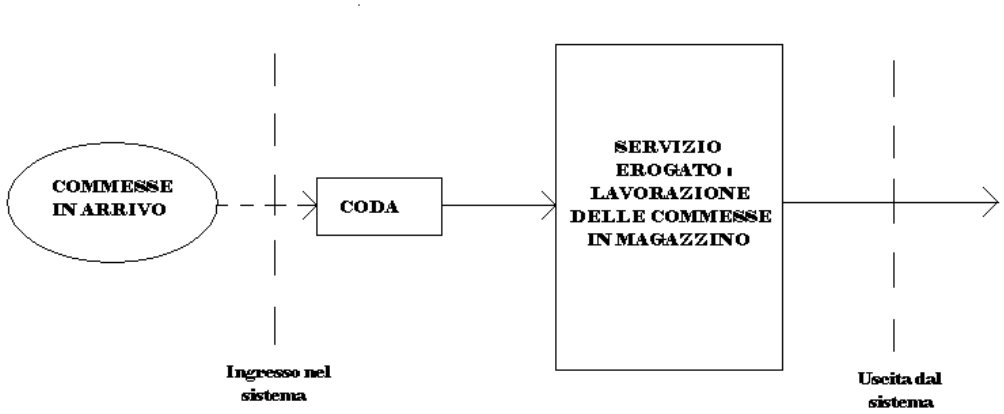

Figura 4.1 : schema del sistema di code di Stratek

Altri due parametri importanti nella descrizione del sistema di code della produzione di Stratek sono la capacità del sistema e la capacità della coda, introdotti nella teoria delle code. Trattandosi di un sistema molto dinamico e poco standardizzato, risulta assai difficile stabilire questi due parametri, anche in funzione del fatto che ci si riferisce ad un'azienda in fase di lancio, soggetta a continue espansioni e modifiche organizzative e strutturali. Tuttavia si può concludere che la capacità della coda è pressoché infinita: questo concetto rappresenta una idealizzazione della realtà, ma risulta una buona approssimazione in questo caso specifico nel quale la capacità reale supera la decina di clienti. La capacità del sistema, invece, può essere stimata come ordine di grandezza in 5 commesse lavorate per ogni settimana.

A questo punto, sulla base delle definizioni viste in letteratura, il codice a 3 cifre con il quale viene classificato questo sistema di code deve essere G / G / 1: non disponendo del tempo e degli strumenti necessari, e non ritenendo indispensabile entrare troppo nel dettaglio, non sono precisabili le distribuzioni di probabilità dei tempi che separano l'arrivo delle commesse consecutive e dei tempi di servizio, che sono pertanto indicate con G (generica). Il numero 1 che completa il codice sta ad indicare la presenza di un unico sportello che eroga il servizio, ovvero il magazzino per le lavorazioni. È vero anche che si può pensare la lavorazione del legno come un insieme di attività differenti,

che come già visto vanno dal taglio all'impregnazione, passando per la levigazione e così via; tuttavia non è possibile considerarle come attività svolte in parallelo, in quanto l'esecuzione di una può impedire quella di un'altra e così via.

4.2.2 Logica di funzionamento del sistema di code

In condizioni normali, ovvero ipotizzando un susseguirsi di commesse di dimensioni, tipologia ed importanza relativamente simili, la regola con la quale attribuire le priorità nella lavorazione delle stesse sarebbe la prima vista nell'elenco al paragrafo 2.4.4: FCFS – FIRST COME FIRST SERVED, che attribuisce priorità maggiore alle commesse in attesa in coda da più tempo. Tuttavia, come già accennato più volte, la realtà di Stratek si trova continuamente a fare i conti con imprevisti, colpi di scena e fenomeni di casualità che inevitabilmente sono in grado di alterare ed interrompere, temporaneamente, quest'ordine. Appare evidente che la stipulazione di un contratto di un certo spessore in termini di fatturato, con un cliente abituale di grande importanza e che richieda una certa urgenza, debba necessariamente ricevere la massima priorità di esecuzione, costringendo l'azienda a bloccare per un intervallo di tempo variabile (in funzione della commessa urgente stessa) le altre commesse in stato di lavorazione.
Esistono poi altri fattori in grado di alterare il normale ordine di esecuzione secondo la regola FCFS, andando a modificare le priorità. Di seguito vengono descritti brevemente, per dare un'idea di come possa manifestarsi la componente di incertezza:

- *Importanza del cliente*: si tratta del fattore più importante, in grado di scombinare completamente la programmazione delle attività di tutta l'azienda. Esistono clienti, come già accennato, talmente influenti che nel momento della stipula di qualsiasi tipo di contratto, diventano per Stratek automaticamente la priorità assoluta. Normalmente i clienti stipulano contratti per lavori di una certa complessità, dimensione e durata. Nella logica di Stratek, da un punto di vista di importanza o "peso specifico", i clienti si possono classificare, in ordine dal più importante al meno importante, in questo modo:
    1. Cliente abituale, lavoro molto importante: si tratta normalmente di imprese edili conosciute, molto forti nel mercato, che garantiscono ottimi numeri in

termini di fatturato ed i quali, anche per motivi di immagine, conviene trattare con un occhio di riguardo. Inoltre va considerato che molto spesso la realizzazione di una struttura di grandi dimensioni prevede delle penali nel caso in cui non vengano rispettati i tempi di consegna, imponendo a Stratek dei vincoli di tempo.

2. Cliente abituale, lavoro poco importante: in questo caso si parla di imprese edili o piccoli progettisti che stipulano contratti per lavori generalmente piccoli in termini di dimensioni, che però si ripresentano con una certa regolarità e costanza. Oppure si tratta di contratti sempre di una certa importanza, che però il cliente stesso non ritiene di urgenza assoluta per una serie di motivi anche non dipendenti da Stratek.
3. Cliente occasionale impresa: nel caso dell'impresa che stipula un contratto per la prima volta nasce una considerazione molto importante. Essa rappresenta un potenziale cliente abituale e l'obiettivo di Stratek è quello di trasformarlo da potenziale abituale ad effettivo abituale. Ecco perché alcune volte un'attenta valutazione delle opportunità porta a dare maggior importanza ad un contratto di questo tipo rispetto ad uno poco importante con un cliente abituale, nella speranza di fidelizzare un nuovo cliente e dar vita ad una proficua collaborazione continuativa.
4. Cliente occasionale privato: si tratta di contratti normalmente di poco conto, per realizzazione di piccole coperture o addirittura semplicemente tettoie e così via.

- *Abitudini e rapporti con l'agente-procacciatore*: anche relativamente al rapporto con gli agenti, il product manager deve fare delle valutazioni. E' evidente che in relazione alla soddisfazione, anche economica, personale, ogni agente prema affinché venga accontentato il prima possibile il cliente con il quale sta stipulando il contratto. Entrando nel dettaglio, se un agente richiede un'urgenza immediata per un contratto, occorre valutare se effettivamente quel contratto rappresenti la priorità assoluta, o se si tratta di una richiesta eccessiva. Inoltre in ottica di crescita aziendale, a volte può essere data importanza maggiore ad un contratto stipulato da

un agente giovane o comunque nuovo per Stratek, con l'obiettivo di favorire un suo rapido inserimento e farlo diventare una risorsa importante per l'azienda.

- *Regolarità contabile del cliente*: in un contesto di pagamenti a 30-60-90 giorni, può capitare che qualche cliente ritardi più del dovuto il pagamento di qualche lavoro passato. A quel punto l'azienda può considerare la possibilità di interrompere eventuali altre realizzazioni in corso per quel cliente fino al momento di avvenuto pagamento di debiti passati. Non si tratta di pignoleria ma di un'azione per tutelarsi, dal momento che un cliente in difficoltà economica potrebbe anche non riprendersi più ed il rischio per Stratek, continuando a realizzare lavori per esso, sarebbe di andare incontro a perdite maggiori. Inoltre quando si tratta di un nuovo cliente, l'azienda potrebbe ritenere opportuno acquisire le informazioni necessarie ad una maggiore conoscenza dello stesso prima di stipulare qualsiasi accordo di collaborazione.

- *Logistica di passaggio da una commessa ad un'altra*: in caso di lavorazioni simili per commesse diverse, come ad esempio l'impregnazione con uno stesso colore, la logica consiglia di eseguirle una dopo l'altra per ottimizzare l'utilizzo di quei macchinari da utilizzare per entrambe. Si tratta, ad ogni modo, di un fattore poco influente, che può essere considerato in mancanza di altri aspetti decisamente più importanti.

- *Eventi climatici*: anche questo aspetto detiene un'importanza decisamente bassa, o meglio fa parte di quei fenomeni di casualità che sono fuori dal controllo umano. Inoltre non ha alcuna ripercussione sulla lavorazione delle commesse in produzione, oggetto d'interesse dell'analisi, ma le sue conseguenze si ripercuotono in fase di posa e montaggio delle strutture.

4.2.3 Condizioni di stazionarietà del sistema di code

Nonostante si tratti di un sistema di code per il quale le distribuzioni di probabilità dei tempi di arrivo e di erogazione di servizio non sono note nei dettagli, le indicazioni espresse nella teoria per il modello M / M / 1 sono utilizzabili anche nel caso che si sta studiando. Infatti, coerentemente con quanto visto in teoria, considerando un unico sportello di servizio, ovvero l'area produzione per la lavorazione delle commesse, si può constatare che:

- una volta formatasi la coda, nessun cliente si scoraggia al punto di abbandonarla;
- l'ordine di lavorazione delle commesse dovrebbe essere quello con la quale si sono presentate, al netto dei fattori di alterazione delle priorità visti sopra (che in realtà rappresentano la stragrande maggioranza dei casi);
- non vi è alcun limite dalla capacità della coda.

Trattandosi di un sistema di code che può essere paragonato ad un classico modello M/M/1 , la condizione per la stazionarietà del sistema è che il tasso di utilizzo ρ, ovvero il rapporto tra il tasso di arrivi dei clienti nel sistema e il tasso di servizio totale disponibile, sia inferiore ad 1 ($\rho < 1$).

In realtà se il tasso di arrivi delle commesse dovesse superare di molto il tasso di lavorazione delle stesse, le lavorazioni in area produzione continuerebbero al ritmo del tasso di esecuzione (5 a settimana). Questo però determinerebbe un allungamento continuo della coda ed un ritardo globale di consegna delle commesse sempre maggiore, con probabile perdita di clienti. È evidente, tuttavia, che una coda molto lunga di commesse è anche un segnale positivo per Stratek, che non ha alcuna intenzione di rinunciare alla soddisfazione di tutti i suoi clienti. Si tratta quindi di contemperare due esigenze: da un lato occorre non perdere clienti e dall'altro cercare di far fronte agli impegni senza eccessivi ritardi. Diventa necessario studiare qualche espediente per far aumentare il tasso di servizio (o meglio il tasso di lavorazione delle commesse), visto che l'ipotesi di perdere alcuni clienti è assolutamente non considerata.

A tale scopo si può aumentare la capacità produttiva ed esistono diverse possibilità in tal senso. La prima, più semplice ed immediata, sarebbe quella di espandere il magazzino delle lavorazioni ed aumentare il personale al suo interno: in realtà in questi tre anni di

vita, Stratek ha già cambiato sede e luogo di produzione diverse volte, assumendo regolarmente nuovo personale. Pertanto le alternative principali per favorire un aumento della capacità produttiva sono due: organizzare, nei periodi relativamente più tranquilli, delle lavorazioni "per" il magazzino, oppure fare ricorso alla esternalizzazione occasionale delle lavorazioni delle commesse.
Per quanto riguarda la creazione di scorte già lavorate si tratta di una soluzione poco agevole, almeno per il momento. Infatti, a causa della difficile prevedibilità della tipologia delle commesse future e di uno storico troppo limitato per effettuare analisi statistiche, risulta complicato effettuare delle previsioni sulla tipologia delle commesse nei diversi periodi dell'anno.
La soluzione della esternalizzazione delle lavorazioni, invece, viene già utilizzata da Stratek che in certi casi di eccessiva saturazione della coda, forte anche dei buoni rapporti con alcuni fornitori esteri, delega direttamente a quest'ultimi la lavorazione della materia prima ordinata, ricevendo quindi i componenti delle strutture in legno già lavorati e pronti per essere montati.

Va ricordato che l'azienda, come accennato in fase di presentazione, si è posta l'obiettivo di realizzare quello che alla direzione piace definire "Progetto Stratek", ovvero una rete di collaborazioni tra imprese appartenenti ai diversi livelli della filiera produttiva. Il conseguimento di questa idea si tramuterebbe nella possibilità di offrire un servizio a 360 gradi, nel quale ogni componente della catena si occupa dell'attività per la quale ha più competenze. Sicuramente questo programma garantirebbe una soluzione eccellente al problema di dover aumentare la capacità produttiva durante i picchi di domanda.
Tuttavia, trattandosi di un progetto ancora in fase embrionale, si è deciso di considerare delle alternative la cui applicazione può essere immediata.

4.3 CREAZIONE DI UNO SCHEMA LOGICO-DECISIONALE A SUPPORTO DEL PROCESSO PRODUTTIVO

Giunti a questo punto, in accordo con il product manager dell'azienda, si è deciso di tradurre in uno schema logico decisionale i concetti e le conclusioni emersi fino ad ora. La creazione di questo grafico nasce dalla necessità di rendere chiaro a tutti i componenti dell'azienda l'iter aziendale nella gestione delle commesse, nella programmazione del lavoro settimanale e nell'attribuzione delle priorità alle diverse attività. Potrà sembrare banale, ma una traduzione grafica del funzionamento aziendale può mettere in luce quali conseguenze potrebbero manifestarsi nel processo decisionale-operativo a seguito di azioni o convinzioni errate.

Come detto in precedenza l'unità di misura temporale di riferimento per Stratek è la settimana: al termine di ogni settimana il product manager fa il punto della situazione ed organizza e pianifica le attività per quella successiva. Pertanto, come si vede nel grafico seguente, si è pensato di considerare il termine della settimana come punto di ingresso nel percorso.

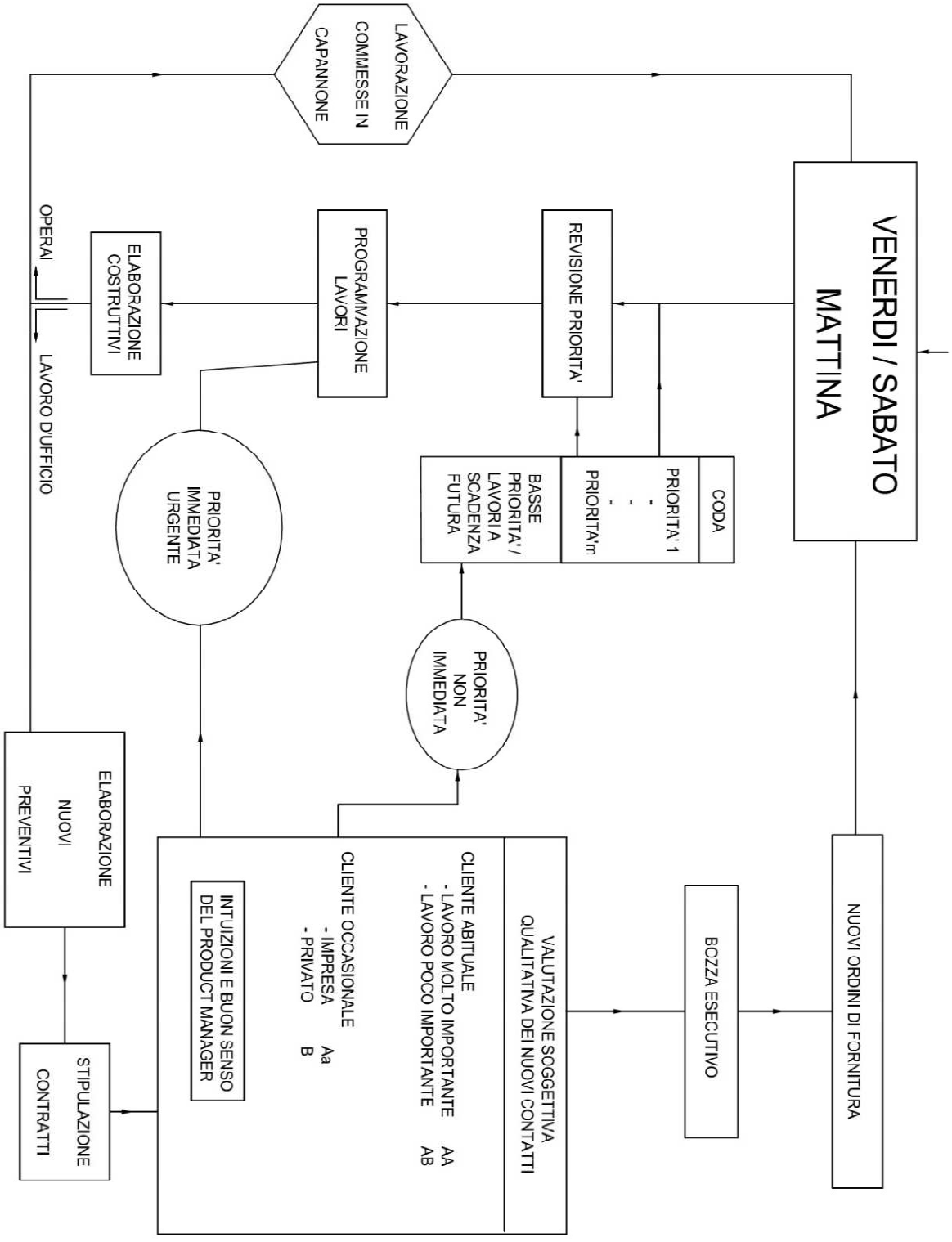

Figura 4.2 : schema logico decisionale della pianificazione delle attività di Stratek

Per prima cosa il product manager effettua una revisione delle priorità delle varie commesse da eseguire, in funzione di quelle ancora in fase di lavorazione dalla settimana appena conclusa e di quelle nuove in ingresso in coda. Si è pensato, come si evince dallo schema, di considerare quest'ultima divisa in due parti: la prima parte comprende le commesse in attesa di essere lavorate nella settimana di riferimento, mentre nella parte bassa della coda sono presenti le commesse relative a contratti con data di consegna più distante, e quindi con una priorità bassa di esecuzione nel breve termine. In funzione dell'importanza dei nuovi contratti, valutata più con buon senso ed esperienza che riferendosi a valutazioni quantitative, le nuove commesse possono essere inserite nella parte con alta priorità per essere lavorate subito, oppure nella parte più bassa della coda qualora si tratti di contratti meno importanti o con una data di consegna meno prossima. In questo secondo caso, evidentemente, non vi sarebbe alcuna revisione delle priorità delle commesse, che verrebbero lavorate nell'ordine con il quale già si presentavano in alto alla coda. Al termine della revisione delle priorità avviene la programmazione vera e propria delle attività e la creazione dei costruttivi (che per comodità identifichiamo con le distinte, di cui si è parlato ne paragrafo 2.2).
A questo punto il percorso si divide in due direzioni, che proseguono in parallelo: da una parte la lavorazione delle commesse e dall'altra il lavoro d'ufficio, che continua secondo il solito iter preventivo-contratto-esecutivo-ordine.

Il punto cruciale si raggiunge dopo la stipula di nuovi contratti, momento nel quale viene effettuata una valutazione soggettiva e qualitativa del nuovo accordo.

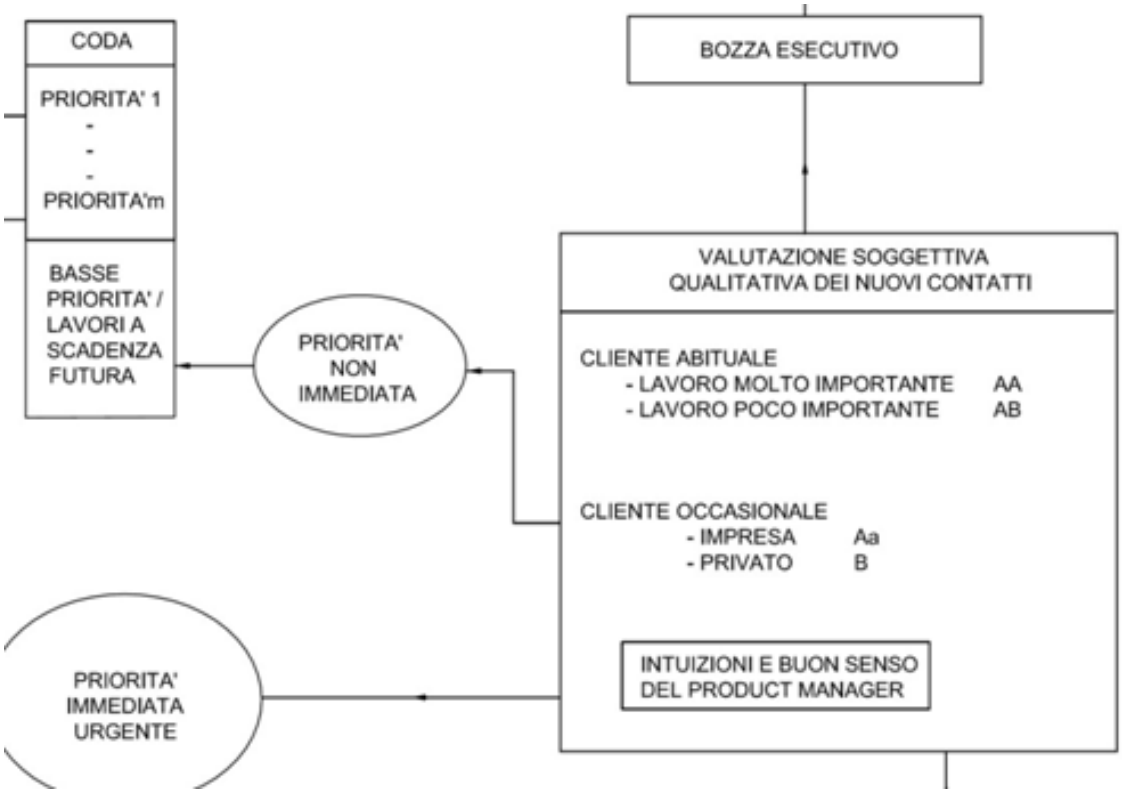

Figura 4.3 : zoom sulla valutazione qualitativa dei nuovi arrivi in coda

La figura 4.3 rappresenta uno zoom relativo a questo punto dello schema logico-decisionale. Sono evidenziate due possibilità a seguito della valutazione dei nuovi arrivi in coda, in funzione del fatto che la commessa appena arrivata in coda sia di priorità immediata o meno: qualora non rappresenti un'urgenza (cliente Aa o B), essa entrerà nella coda e le verrà attribuita una priorità generalmente bassa, o comunque sempre in funzione della data di consegna prevista. Se invece si trattasse di un contratto che, per i motivi già visti, fosse di massima priorità (cliente AA), potrebbe addirittura entrare direttamente nella coda con priorità assoluta, al punto di determinare una sospensione immediata di tutte le altre lavorazioni per terminare quest'ultima. È evidente che questa situazione si può verificare solo se il materiale necessario alla realizzazione della struttura oggetto del contratto è già presente in magazzino, fra le scorte di materia prima ancora da lavorare (delle quali, a differenza del materiale già lavorato, Stratek dispone in piccole quantità). Infatti, l'elevata urgenza della commessa sarebbe in contrasto con il proseguimento del ciclo temporale decisionale della settimana, che prevede la preparazione delle distinte per le nuove commesse giunte in coda e l'ordine del

materiale necessario al venerdì mattina.
A questo punto sono emerse delle considerazioni importanti in merito all'attribuzione delle priorità delle urgenze e della conseguente necessità di affidarsi ad aziende esterne (ad esempio i fornitori) per la lavorazione del materiale durante i picchi di domanda. Potrebbe succedere che più di un agente stipuli un contratto con un cliente, che necessiti di priorità massima di lavorazione della commessa. Stratek, che ha tutte le intenzioni di soddisfare pienamente tutti i suoi clienti, pianifica con i propri fornitori degli ordini di materiale già lavorato, per non rischiare di generare dei ritardi nella consegna delle commesse urgenti o di quelle che sono già presenti in coda con una data di consegna prossima.

Per comprendere questo importante passo, si consideri un esempio.
Verso la fine di una settimana, il product manager pianifica l'attività per la settimana successiva e quindi attribuisce le priorità alle varie commesse. In testa alla coda ci sono delle commesse relative a contratti stipulati qualche tempo prima, che devono essere portate in cantiere e montate entro una quindicina di giorni. Nel frattempo, durante la settimana che volge al termine, due agenti hanno stipulato due contratti che essi hanno definito essere di una certa importanza e rappresentare una grossa opportunità per Stratek; si tratta della realizzazione di due coperture, anch'esse da terminare nello stesso tempo delle altre in alto alla coda. Per poter soddisfare tutte queste richieste Stratek non può contare solo sulla propria capacità produttiva, pertanto organizza la lavorazione delle commesse già pianificate da diverso tempo, direttamente a carico dei fornitori. Naturalmente l'ordine di materiale già lavorato rappresenta un costo per Stratek, che solitamente è superiore al costo che dovrebbe sostenere se lavorasse lo stesso materiale presso la propria struttura. Agli operai del magazzino quindi viene dato ordine di eseguire le commesse relative ai due contratti importanti stipulati di recente, in modo da poter tenere sotto controllo ogni singola fase della lavorazione. Per qualche motivo non dipendente da Stratek, uno o entrambi questi contratti presentano degli inconvenienti o delle imperfezioni che impediscono l'inizio immediato delle lavorazioni e rimandano inevitabilmente la data di consegna prevista. A questo punto Stratek si trova ad aver delegato delle lavorazioni ai fornitori, con un conseguente costo, mentre i propri operai si trovano senza commesse da lavorare.

Per questo motivo il product manager deve valutare attentamente, grazie al suo buon senso ed alla sua esperienza, il grado di urgenza delle varie commesse. A volte, come nell'esempio appena descritto, un'attenta valutazione delle componenti in gioco può evitare una perdita di efficienza di tutto il sistema e l'insorgere di costi evitabili.

Per riassumere il susseguirsi, in ordine temporale, dell'ingresso e dell'uscita dal sistema di code delle commesse e delle operazioni di attribuzione di priorità per ottimizzare la loro lavorazione, è stato creato questo ultimo grafico:

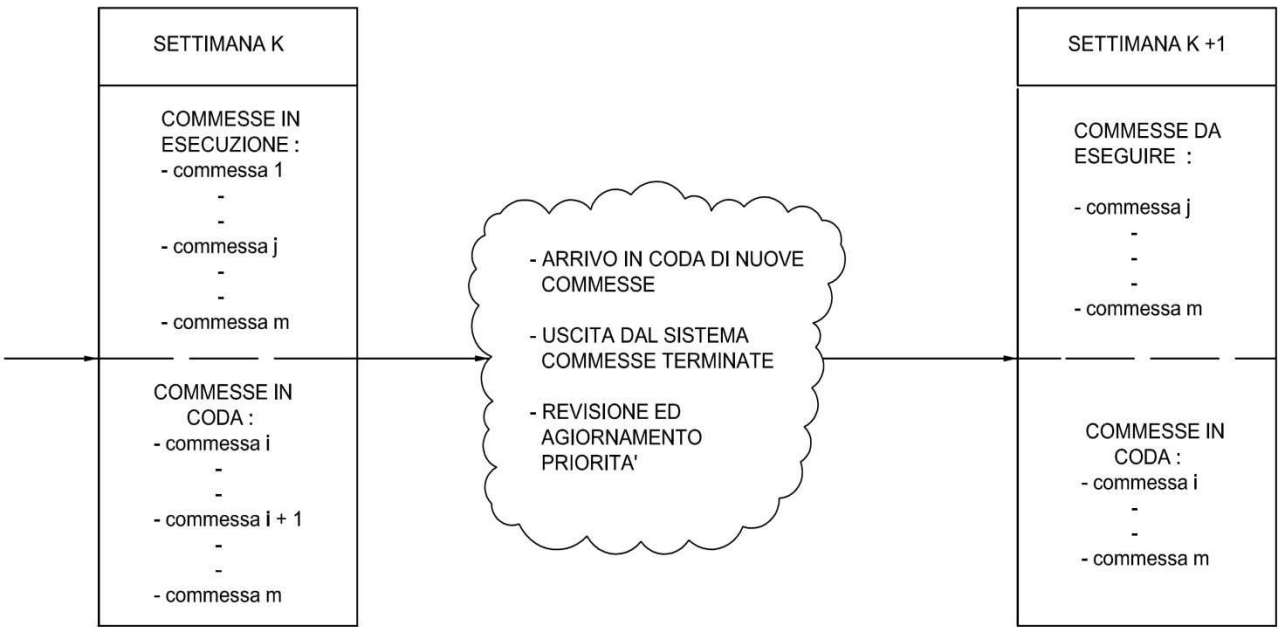

Figura 4.4 : esecuzione delle commesse da una settimana a quella successiva

In conclusione, è possibile considerare il contesto nel quale opera il product manager di Stratek come una situazione intermedia tra ambiente online ed ambiente offline. Al momento della valutazione delle priorità e della programmazione dei lavori settimanali, egli si trova di fronte a delle decisioni prevalentemente offline: infatti, le informazioni relative alle commesse sono sufficienti per pianificare un'accurata programmazione

delle attività nel breve termine. E’ vero anche che le tempistiche di lavorazione e successivo montaggio della struttura non possono essere esattamente note a priori, ma l’esperienza degli addetti ai lavori risulta sufficiente per ottenere una previsione che, al netto dell’insorgere di uno dei fattori di casualità sopra elencati, venga a grandi linee rispettata.

Quando invece deve gestire un’urgenza immediata, il product manager non dispone dei tempi e delle informazioni necessari per valutare attentamente tutte le alternative, trovandosi quindi a decidere in un contesto online. Un’errata valutazione potrebbe tradursi nel mancato sfruttamento di una opportunità, oppure in una perdita di efficienza del sistema come nell’esempio visto in precedenza.

4.4 CONSIDERAZIONI FINALI

Come già specificato, l'applicazione della teoria delle file d'attesa a situazioni reali serve principalmente per mettere in evidenza eventuali inadeguatezze o problematiche che possono emergere da un sistema di code, gli interventi possibili per migliorarle ed eventualmente i valori approssimati che alcune delle variabili di controllo del sistema devono assumere per ottenere dei risultati accettabili.

Come ogni analisi o studio che si rispetti, sono emersi aspetti strutturali ed esecutivi che influenzano l'operato dell'azienda e che in qualche modo hanno condizionato lo studio del caso. Di seguito sono brevemente elencati, con distinzione fra gli aspetti in grado di semplificare l'analisi descrittiva e quelli sfavorevoli che l'hanno complicata.

ASPETTI A FAVORE

- *Semplicità del sistema*: dopo aver identificato che il processo produttivo di lavorazione delle commesse da parte di Stratek può essere ricondotto ad un sistema di code, è emersa la semplicità di quest'ultimo. Si tratta infatti di un sistema in cui il processo di servizio è affidato ad un unico sportello (l'area produzione) e il processo generatore dei clienti è relativamente standardizzato, grazie al lavoro degli agenti. Il modo attraverso il quale le commesse vengono eseguite è l'unico aspetto complesso del sistema, che però è stato abbondantemente trattato e per il quale sono emersi dei contributi importanti.
- *Contatto diretto tra ufficio tecnico e produzione*: la possibilità di tenere monitorata costantemente la lavorazione delle commesse e le scorte di materiale da parte del product manager, rappresenta una garanzia maggiore in termini di efficienza. La dislocazione dell'ufficio tecnico in un'altra sede rispetto al magazzino rappresenterebbe un limite sotto l'aspetto della collaborazione tra le diverse aree aziendali.
- *Programmazione settimanale delle attività*: la definizione di un ciclo temporale settimanale permette al product manager di programmare e monitorare frequentemente l'avanzamento delle attività. Facendo il punto della situazione al

termine di ogni settimana lavorativa, è sempre possibile porre rimedio ad eventuali imprevisti o difficoltà emersi in settimana e ristabilire l'ordine e le priorità per la settimana entrante.

ASPETTI NON FAVOREVOLI

- *Imprevisti e fenomeni di casualità*: si tratta di fattori, come spesso emerso all'interno di questa tesi, in grado di scombinare i piani dell'azienda. Al netto di quest'ultimi la gestione delle attività delle diverse aree aziendali risulterebbe molto più semplice. Fanno parte delle cause che determinano anche i successivi aspetti non favorevoli.
- *Standardizzazione limitata o nulla delle attività*: il sistema produttivo dell'azienda, riferito alla lavorazione delle commesse in produzione, non può essere certamente ricondotto ad una produzione standardizzata come potrebbe essere una catena di montaggio o una fabbrica di produzione di un solo prodotto. Questo a causa della particolarità delle strutture da realizzare, quindi delle commesse da lavorare, e dell'insorgere di fenomeni di casualità. A questo aspetto sono riconducibili la maggior parte delle difficoltà riscontrate in termini di attribuzione delle priorità delle commesse e di gestione delle urgenze.
- *Difficoltà nell'effettuare previsioni dettagliate di domanda*: la giovane età di Stratek, che determina l'assenza di uno storico significativo e la mancanza di risorse umane che si dedicano al suo monitoraggio, rappresenta un freno sotto l'aspetto della stima previsionale dettagliata. A questo va aggiunta la solita elevata incidenza di imprevisti e fattori di casualità che rende la previsione ancora più complicata. Come visto in precedenza una stima di questo tipo potrebbe consentire a Stratek uno stoccaggio di materiale lavorato per far fronte ai picchi di domanda, aumentando quindi la sua capacità produttiva.

L'analisi di questa realtà aziendale non si è posta come scopo l'ottimizzazione di una qualche funzione obiettivo, ma si è rivelata molto utile per il suo carattere descrittivo.
La realizzazione di questo studio ha evidenziato gli aspetti sui quali l'azienda deve

migliorare e le aree aziendali che presentano più problematiche, ipotizzando delle soluzioni per renderle più efficienti.
Il contributo emerso dopo questi mesi di collaborazione con l'azienda può essere riassunto in poche ma significative osservazioni, che assumono connotati più qualitativi che quantitativi:

- La raccolta e l'osservazione dei dati inerenti alle ore lavorative per le diverse attività ha portato all'individuazione dell'attività collo di bottiglia di Stratek, ovvero la lavorazione delle commesse in produzione. A seguito di quanto è emerso è stato ritenuto opportuno concentrare l'analisi sulla suddetta area aziendale, riconoscendo l'attinenza del processo produttivo delle commesse ad essere classificato come un sistema di code e valutando un programma di attribuzione delle priorità con la quale eseguire le varie lavorazioni.

  Successivamente è emersa la problematica relativa all'eventuale difficoltà di eseguire le commesse, e di conseguenza rispettare i tempi di consegna, durante i picchi di domanda. Sono state considerate delle soluzioni per aumentare la capacità produttiva durante i periodi di domanda superiore al tasso di lavorazione in produzione, per non rischiare di non riuscire ad accontentare tutti i propri clienti. Una di queste, ovvero la delega ad aziende esterne (spesso i fornitori) di alcune lavorazioni, viene già praticata da Stratek. E' stata consigliata una possibile alternativa, ovvero lo stoccaggio di materiale già lavorato per far fronte ai possibili picchi di domanda, la cui applicazione rimane al momento difficile a causa di uno scarso storico sul quale effettuare previsioni dettagliate.
- A seguito dell'individuazione dell'area aziendale con maggior criticità, in accordo con il product manager è emersa la necessità di rendere chiaro a tutti i componenti dell'azienda il processo decisionale con il quale vengono gestite le commesse dal momento del loro ingresso nel sistema di code. Dopo alcune valutazioni, è stato creato uno schema logico-decisionale, in grado di schematizzare e rendere ben chiaro il processo attraverso il quale la direzione prende delle decisioni, che in alcuni casi devono essere prese con immediatezza. La volontà del product manager è che tale schema diventi una sorta di linea guida per tutti i componenti dell'azienda, per cercare di ovviare alla necessità di un "coordinatore" sempre

presente.

- Durante l’osservazione dell’azienda e la raccolta di dati per evidenziare le aree con maggior criticità, è stata svolta un’analisi SWOT. A causa dell’assenza di un ufficio marketing, vista la giovane età di Stratek, anche questo aspetto non era mai stato affrontato nel dettaglio. In realtà la considerazione dei propri punti di forza e di debolezza era ovviamente già stata fatta, ma senza mai essere approfondita. Inoltre, per una realtà in fase di lancio come questa, che presenta numeri di crescita così importanti, l’individuazione delle minacce e delle opportunità che un mercato così dinamico nasconde, rappresenta senz’altro una necessità da non sottovalutare.

CONCLUSIONE

Il settore dell'edilizia in legno sta vivendo una fase di continuo sviluppo, in cui gli investimenti sempre più convinti e la maggiore sensibilizzazione nei confronti della bio edilizia ed ecosostenibilità, stanno determinando un'importante sottrazione di quote di mercato all'edilizia tradizionale.
Del resto il legno in edilizia è in netta controtendenza rispetto alla crisi economica e le prospettive sono decisamente positive, grazie anche alla consapevolezza dei vantaggi legati al costruire in legno in termini di qualità, sicurezza sismica ed elevato rapporto qualità-prezzo, aspetti già ampiamente trattati.

In tempi di crisi economica, durante la quale l'accesso al credito risulta un problema per tutti gli addetti ai lavori, l'edilizia in legno offre indubbi vantaggi in termini di costi e tempi di realizzazione. Infatti le stime dei tempi e costi necessari alla costruzione di una struttura in legno sono molto più sicure rispetto a quelle relative all'edilizia tradizionale. Anche le tempistiche necessarie per costruire con il legno sono decisamente inferiori, soprattutto per quanto riguarda la realizzazione della parte grezza delle strutture (le finiture in realtà prevedono tempistiche pressoché uguali a quelle nelle strutture in muratura).

A seguito delle difficoltà di accesso al credito e della domanda sempre calante di beni immobili, la realizzazione di strutture abitative (e non solo) sta subendo un rallentamento. Le imprese edili non costruiscono più senza avere una domanda certa e l'utilizzatore finale non acquista più basandosi solo sul progetto.
L'edilizia in legno, con i suoi tempi di realizzazione decisamente limitati, garantisce dal momento della stipula del contratto una minore esposizione bancaria per il costruttore e indubbi vantaggi economico-finanziari anche per l'utilizzatore finale. Il primo, grazie alla chiusura del mutuo-cantiere a distanza di pochi mesi dalla sua apertura, si ritrova a pagare degli interessi su un periodo molto breve. Il secondo, semplicemente, con la riduzione dei tempi di consegna può usufruire molto prima dell'immobile, ottimizzando il piano di ammortamento del mutuo bancario che solitamente viene stipulato.

Inoltre realizzando solo su domanda, attraverso l'edilizia in legno è possibile ottenere un livello di personalizzazione difficilmente raggiungibile con l'edilizia tradizionale, grazie alla rapidità e semplicità di assemblaggio delle strutture.

In un contesto come quello appena descritto, le prospettive per Stratek appaiono dunque molto incoraggianti. La sua breve vita sicuramente rappresenta un punto di debolezza, sotto certi aspetti, rispetto ad alcuni concorrenti, ma nasconde anche un grosso punto a favore: la mancanza di debiti pregressi. Appare evidente che una situazione contabile e finanziaria che non presenta particolari problemi, quali ad esempio obblighi finanziari, è senza dubbio un vantaggio proprio in questo momento di crisi economica e di difficoltà di accesso al credito.
L'obiettivo di creare una rete di collaborazioni durature ed efficienti nasce dunque dalla volontà di Stratek di far fronte ai problemi ed alle opportunità appena descritti, forte della sua posizione centrale e delle sue spiccate doti organizzative e logistiche. La speranza è di continuare a crescere per poter soddisfare una domanda in continuo aumento, in un mercato così ricco di aspettative in cui i problemi economici e finanziari del nostro Paese troppo spesso fungono da freno per realtà brillanti ed efficienti come quella appena esaminata.

ALLEGATI

Allegato 1

WEEK 27	LUNEDI	MARTEDI	MERCOLEDI	GIOVEDI	VENERDI	SABATO
PREVENTIVI	6	5	6	4	11	1
CONTRATTI		3 - 053		1 - 096 1 - 101		
ESECUTIVI	1 - 097 1 - 065 1 - 096 1,5 - 024	2,5 - 090 1 - 064 1 - 094 2 - 024	3 - 053 2 - 081 0,5 - 015 1,5 - 024	1,5 - 093 2 - 087 3,5 - 024	1 - 073	
ORDINI		1	8	3	3	
TRASPORTI	1		2	2	2	
ALTRO	11	7,5	8	8	11	3
MAGAZZINO	24 - 074 8 - 065	16 - 094 24 - 079	4 - T2 36 - 081	12 - 085 16 - 081 12 - 095		

Allegato 1 : dati inerenti alle ore lavorative dedicate complessivamente alle diverse attività aziendali durante la settimana 27 dell'anno.

Allegato 2

WEEK 28	LUNEDI	MARTEDI	MERCOLEDI	GIOVEDI	VENERDI	SABATO
PREVENTIVI	10	8	6	9	6	1
CONTRATTI	1 - 104	1 - 099 1 - 090	1 - 105A 1 - 109		1 - 090 1 - I2	
ESECUTIVI	2 - 104	2 - 104	1 - 105A 2 - 109	2 - 105A 1 - 109	1 - 105A 3,5 - 090 3,5 - I2	
ORDINI	6	8	13	6	4	
TRASPORTI	4	2		6	4	
ALTRO	4	5	3	3	3	3
MAGAZZINO	10 - 087 2 - T2 20 - 095 8 - 084	6 - SCARICO 17 - 089 17 - 091	6 - 084 17 - 089 17 - 091	4 - 106 14 - 097 7 - 089 7 - 091 8 - CAPANNONE	2 - 089 2 - 091 4 - 120/12 32 - 090	

Allegato 2 : dati inerenti alle ore lavorative dedicate complessivamente alle diverse attività aziendali durante la settimana 28 dell'anno.

Allegato 3

WEEK 29	LUNEDI	MARTEDI	MERCOLEDI	GIOVEDI	VENERDI	SABATO
PREVENTIVI	8	6	2	8	9	2
CONTRATTI		1 - 030 1 - 112	1 - 110 1 - 111 1 - 113 1 - 105B 1 - 100			
ESECUTIVI		2 - 030	1 - 110 1 - 100 3 - 105B 3 - 111 3 - 113	1 - 030 1 - 105B 1 - 110 3 - 113	2 - 110	
ORDINI	11	12	6	3	4	
TRASPORTI	5	2		6	6	
ALTRO	3	3	3	4	6	2
MAGAZZINO	14 - 097 16 - P2	8 - P2 2 - 097 30 - 108	4 - 108 6 - 090 30 - 101	10 - 101 2 - 092 28 - 107	10 - 107 24 - 096 6 - SCARICO	4 - 096

Allegato 3 : dati inerenti alle ore lavorative dedicate complessivamente alle diverse attività aziendali durante la settimana 29 dell'anno.

Allegato 4

WEEK 30	LUNEDI	MARTEDI	MERCOLEDI	GIOVEDI	VENERDI	SABATO
PREVENTIVI	7	6	3	11		
CONTRATTI		1 - A3	1 - 115 1 - 114 1 - 117			
ESECUTIVI	3 - 099	2 - 099	2 - 099 1 - 114	0,5 - 116 1 - 112 1 - 111 1 - 025	1 - 113 5 - 024	
ORDINI	7	7	9	4	4	
TRASPORTI	3	1	3	4	1	
ALTRO	5	1	3	4,5	4	
MAGAZZINO	24 - 053 16 - 094	40 - 053	20 - 018 20 - 053	20 - 018 20 - 104	40 - 104	4 - 104

Allegato 4 : dati inerenti alle ore lavorative dedicate complessivamente alle diverse attività aziendali durante la settimana 30 dell'anno.

BIBLIOGRAFIA E SITI INTERNET CONSULTATI

Bibliografia

1. ROTHKOPF M. H. (1966). Scheduling with random service times. Management Science, 12:703-713.
2. MÖHRING R.H., RADERMACHER F.J. and WEISS G., (1984). Stochastic scheduling problems I: General strategies. *ZOR* – Zeitschrift für Operations Research, 28:193–260.
3. WEISS G., (1990). Approximation results in parallel machines stochastic scheduling. Annals of Operations Research, 26:195–242.
4. WEISS G., (1992). Turnpike optimality of Smith's rule in parallel machines stochastic scheduling. Mathematics of Operations Research, 17:255–270.
5. MÖHRING R.H., SCHULZ A. S. and UETZ M., (1999). Approximation in stochastic scheduling: the power of LP-based priority policies. Journal of the ACM, 46:924–942.
6. CHOU M.C., LIU H., QUEYRANNE M. and SIMCHI-LEVI D., (2005). On the asymptotic optimality of a simple online algorithm for the stochastic single machine weighted completion time problem and its extensions. Operations Research, to appear.
7. MEGOW N., UETZ M. and VREDEVELD T., (2005). Stochastic online scheduling on parallel machines. In G. Persiano and R. Solis-Oba, eds., Lecture Notes in Computer Science, 3351:67-180.
8. LIBERATORE M.J., POLLACK-JOHNSON B., 2003. Factors influencing the usage and selection of project management software. IEEE Transactions on Engineering Management 50 (2), 164–174.
9. MAROTO C., TORMOS P., LOVA A., 1999. The evolution of software quality in project scheduling. In: Weglarz, J. (Ed.), Project Scheduling. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 239–259.
10. MEREDITH J.R., MANTEL S.J., 2009. Project Management, 7th ed. Wiley, New York. Mize, J.H., 1964. A heuristic scheduling model for multi-project organizations. Ph.D. Thesis, Purdue University.

11. TSENG C.-C., 2004. Multiple projects scheduling with multiple modes: a genetic algorithm. In: Proceedings of the 1st ORSTW Conference on Technology and Management, Taipei, pp. 18–28.
12. ASH R., 2002. Serial and multi-project scheduling with and without preemption. In: Proceedings of the Annual Meeting of the Decision Sciences Institute, San Diego, CA.
13. HARTMANN S., KOLISCH R., 2000. Experimental evaluation of state-of-the-art heuristics for the resource-constrained project scheduling problem. European Journal of Operational Research 127 (2), 394–407.
14. KURTULUS I., 1978. An analysis of scheduling rules for multi-project scheduling. Ph.D. Thesis (Business), University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill.
15. LOVA A., TORMOS P., 2001. Analysis of scheduling schemes and heuristic rules performance in resource-constrained multi-project scheduling. Annals of Operations Research 102 (1–4), 263–286.
16. KURTULUS I., DAVIS, E.W., 1982. Multi-project scheduling: categorization of heuristic rules performance. Management Science 28 (2), 161–172.
17. MASON FRANCESCO, 1992-1993. Metodi matematici per la gestione delle aziende.
18. SINOPOLI N., Milano 1992 . Le prospettive dell'impiego del legno nell'edilizia.
19. MARTIN C., 2005. Supply chain management – creare valore con la logistica.
20. KLEINROCK L., New York, 1975. Queueing Systems: Volume I – Theory (Wiley Interscience).
21. Consiglio Nazionale delle Ricerche Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree (CNR-IVALSA), 2009, Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana.
22. PALANTI S., 2013, Durabilità del legno, 11-32.
23. FOLLESA M., LAURIOLA M. P., MOSCHI M., 2011, Durabilità e manutenzione delle strutture di legno.
24. FOLLESA M., MAIONE F., PALANGA G., 2011, Edifici a struttura di legno.
25. DIAVOLI P., 2001, Costruire con il legno.

Siti internet consultati

26. http://www.ivalsa.cnr.it
27. http://www.relisys.it
28. http://www.promolegno.com/le-foreste-europee.htm
29. http://www.promolegno.com
30. http://www.edilportale.com
31. http://www.percorsi-legno.it/
32. http://www.illegnolamellare.it/
33. http://www.sian.it
34. http://www.tecnologicamente.info/studio/il-legno/
35. http://www.progettosofie.it