

Università degli Studi di Padova
Dipartimento di Scienze Statistiche
Corso di Laurea Triennale in
Statistica e Gestione delle Imprese



RELAZIONE FINALE
**Percentuale di difettosità e diagramma di Pareto: analisi della
qualità della produzione nell'azienda CAREL.**

**Rate of defects and Pareto diagram: quality analysis of
production in company CAREL.**

Relatore Prof. Capizzi Giovanna
Dipartimento di Scienze Statistiche

Laureando: Erica Masala
Matricola N 1010460

Anno Accademico 2012/2013

Sommario

INTRODUZIONE.....	5
1.CAREL INDUSTRIES S.P.A.....	7
1.1 STORIA DI CAREL.....	7
1.2 LA MISSION.....	9
2.LA FILOSOFIA LEAN.....	11
2.1 TOYOTA PRODUCTION SYSTEM.....	11
2.2 LEAN E OBIETTIVI.....	11
2.3 I 5 PRINCIPI DEL LEAN THINKING.....	11
2.4 I 7 SPRECHI.....	13
2.5 TRASFORMAZIONE DELL'ORGANIZZAZIONE.....	14
2.6 MIGLIORAMENTO CONTINUO.....	15
3.L'APPLICAZIONE DEL MODELLO PDCA.....	17
3.1 INTRODUZIONE: PDCA (CICLO DI DEMING).....	17
3.2 RIUNIONI DI PDCA DI SECONDO LIVELLO E VISIBLE PLANNING.....	17
3.3 IL PIANO D'AZIONE.....	19
3.3.1 COME VIENE IMPLEMENTATA UN'AZIONE.....	20
4.LA PRODUZIONE IN CAREL.....	25
4.1 ORGANIZZAZIONE DEL PLANT.....	25
4.1.1 DIVISIONE DELLE VALUE STREAM.....	25
4.2 PROCESSO PRODUTTIVO AREA ELETTRONICA.....	25
4.2.1 FLUSSO DELLA PRODUZIONE.....	28
5.INDICATORI DELLA QUALITÀ IN PRODUZIONE.....	31
5.1 DPMO E AGGREGATO OMI.....	31
5.1.1 NORMATIVA IPC-A-610D.....	31
5.1.2 DEFECTS PER MILLION OPPORTUNITIED (DPMO).....	31
5.1.3 OVERALL MANUFACTURING INDEX (OMI).....	33
5.2 NUOVO INDICATORE.....	34
5.2.1 FLUSSO DEI DATI.....	34
5.2.2 PERCENTUALE DI DIFETTOSITÀ.....	35
COSTRUZIONE.....	35
FORMULA.....	38
6.INTRODUZIONE: TECNICHE UTILIZZATE PER LE ANALISI.....	39
6.1 CARTE DI CONTROLLO: BREVE DESCRIZIONE.....	39
6.1.1 CASO SPECIFICO.....	43
DPMO.....	43
PERCENTUALE DI DIFETTOSITÀ.....	45

6.2 INTRODUZIONE ALLE SERIE STORICHE	46
6.2.1 LA PROCEDURA BOX JENKINS	48
6.3 CARTA PER I DEMERITI.....	48
6.4 DIAGRAMMI AD ALBERO	50
6.5 MATRICE S.W.O.T.	51
7.ANALISI DEI DUE INDICATORI	53
7.1 DATI A DISPOSIZIONE	53
7.2 ANALISI ESPLORATIVA	53
7.2.1 PERCENTUALE DI DIFETTOSITÀ.....	53
7.2.2 DEFECTIVE PER MILLION OPPORTUNITIES (DPMO).....	55
7.2.3 AUTOCORRELAZIONE.....	57
7.3 CONCLUSIONI	58
8.CONFRONTO TRA KPI	59
8.1 CONFRONTO GRAFICO.....	59
8.2 CONFRONTO FINALE.....	60
8.2.1 PUNTI DI FORZA E VANTAGGI DEL DPMO	60
8.2.2 PUNTI DI DEBOLEZZA E SVANTAGGI DEL DPMO.....	60
8.2.3 PUNTI DI DEBOLEZZA E SVANTAGGI DELLA PERCENTUALE DI DIFETTOSITÀ.....	62
8.2.4 PUNTI DI FORZA E VANTAGGI DELLA PERCENTUALE DI DIFETTOSITÀ.....	62
9.APPROFONDIMENTI SULLA PERCENTUALE DI DIFETTOSITÀ	65
9.1 ELIMINAZIONE VALORE ANOMALO	65
9.2 CARTA PER I DEMERITI.....	66
9.2.1 FREQUENZA	66
9.2.2 PERDITA	67
9.2.3 CONCLUSIONI.....	69
9.3 PREVISORE OTTIMO A UN PASSO.....	70
9.4 ALBERO DI REGRESSIONE	71
10.ESEMPIO DI AZIONE DI MIGLIORAMENTO: VALUE STREAM MIX.....	75
10.1 FASE1	75
10.2 FASE2	75
10.3 FASE3	76
10.4 FASE4	77
10.5 SITUAZIONE ATTUALE.....	78
10.5.1 CONCLUSIONI.....	80
CONCLUSIONE.....	81
APPENDICE A.	83
BIBLIOGRAFIA.	91

Introduzione

SCOPO DEL PROGETTO

In questa esperienza di stage sono entrata a far parte del centro di competenza Process Improvement, in particolare collaborando con il responsabile della Qualità di Produzione.

La mia attività principale era svolgere delle analisi con i dati raccolti giornalmente dall'attività produttiva, sia in area elettronica che in area meccanica per due scopi: preventivo, sorvegliando il dato giornaliero e la difettosità ad esso associata; correttivo, implementando delle raccolte dati straordinarie.

Per questo motivo ho deciso di centrare il mio progetto di tesi sull'analisi dell'indicatore utilizzato per sorvegliare il numero di difetti, la recente percentuale di difettosità: lo scopo è quello di fornire un'indicazione sull'andamento e sui fattori che più influenzano l'aumento del numero di difetti.

Questo progetto di tesi mira a dimostrare che è necessario prestare particolare attenzione verso alcune combinazioni di variabili critiche, attuando delle azioni per il miglioramento continuo; trasversalmente, studiare la composizione della percentuale di difettosità mi è utile per valutare alcune scelte aziendali riguardo la priorità di risoluzione delle cause di difetto.

Usando come metro di confronto l'indicatore precedentemente utilizzato, il DPMO (Defects Per Million Opportunities), ho valutato la consistenza e l'andamento della percentuale di difettosità così come è costruita.

Dopo aver fatto alcune considerazioni sull'assunzione di indipendenza delle osservazioni, ho modellato la serie di dati con diverse tecniche, sia considerando una diversa incidenza in base alla tipologia di difetto, sia valutando l'eventuale presenza di autocorrelazione; inoltre, con una tecnica statistica tipica dei modelli multivariati, ho valutato quali erano le variabili che incidevano di più sul numero di difetti.

Infine, ho descritto il metodo utilizzato per risolvere o prevenire le inefficienze in termini di qualità, spedizioni e costi, riportando un caso affrontato personalmente nel periodo di stage.

PRESENTAZIONE DELLA TESI

Ho strutturato questo elaborato fondamentalmente in due parti: la prima più teorica, cioè descrittiva dell'azienda, della filosofia aziendale e delle tecniche utilizzate; la seconda più pratica, con l'esposizione delle analisi svolte.

Nel primo capitolo ho descritto la storia di CAREL, soffermandomi sui maggiori passi fatti verso l'affermazione mondiale, e ho riportato i più importanti riconoscimenti che ha ricevuto.

Nel secondo capitolo ho esposto i fondamenti della filosofia *lean*, che ha portato cambiamenti sia nel modo di affrontare l'attività produttiva che nella stessa organizzazione aziendale.

Nel terzo capitolo ho descritto brevemente un'applicazione della *lean*, in particolare parlando del modello PDCA di Deming.

Nel quarto capitolo ho elencato l'insieme dei processi che portano alla formazione del prodotto finito (per la parte che riguarda l'elettronica) e come l'azienda utilizza layout ottimali.

Nel quinto capitolo ho posto una particolare attenzione agli indicatori di qualità, descrivendo le caratteristiche sia del DPMO che della percentuale di difettosità.

Nel sesto capitolo ho esposto le tecniche statistiche utilizzate per le analisi e il modello economico che mi è servito da supporto per valutare tutti gli aspetti dell'argomento.

Nel settimo capitolo ho svolto la vera e propria analisi esplorativa su entrambi gli indicatori oggetto d'interesse, valutando la possibile autocorrelazione dei dati.

Nell'ottavo capitolo ho confrontato il DPMO e la percentuale di difettosità e ho elencato i pro e i contro di entrambi.

Nel nono capitolo ho condotto delle analisi aggiuntive sulla percentuale di difettosità con una fase esplorativa (carte dei demeriti) e con una più critica legata alle variabili in gioco e l'influenza che hanno sulla difettosità (albero di regressione).

Nel decimo capitolo ho riportato un caso esempio di miglioramento del livello di difettosità in un'azienda *lean*, utilizzando delle azioni portate avanti secondo il modello PDCA.

Capitolo 1

CAREL INDUSTRIES S.P.A.

1.1 STORIA DI CAREL

L'azienda CAREL S.p.A nasce nel 1973 in provincia di Padova e ad oggi opera nel mercato della refrigerazione, dell'umidificazione e del condizionamento dell'aria.

Nei suoi primi anni di vita, grazie ad un importante cliente locale, CAREL si occupa esclusivamente della produzione e progettazione di quadri elettrici. Da qui nasce il suo nome C.AR.EL. (*Costruzione ARmadi ELettrici*), poi mutuato in CAREL.

Dopo circa due anni l'azienda amplia la propria produzione introducendo una sezione dedicata all'umidificazione; negli anni Ottanta avvia, per prima in Europa, la progettazione e la produzione di un controllo a microprocessore per condizionatori, destinati, insieme agli umidificatori, a centri di calcolo dove è richiesto un clima scrupolosamente controllato.

Nei primi anni Novanta CAREL inizia a sfruttare a pieno il suo vantaggio tecnologico, spingendo il suo raggio d'azione oltre l'Italia: verso un'ottica mondiale, apre la prima filiale CAREL France nel 1992 (a Lione), operante sui mercati francesi, belga e svizzeri. Dopo questo primo input nasce due anni dopo CAREL Deutschland, con il mercato tedesco, austriaco e svizzero; nel biennio successivo nascono CAREL UK, per il territorio inglese e irlandese, e CAREL Sudamerica, la prima espansione oltreoceano. Nel 2000 viene fondata, con sede ad Hong Kong, CAREL Asia, utile a coprire il mercato del Far East. Nel 2001 nasce CAREL Australia, per il territorio australiano e neozelandese. Nello stesso anno viene aperta una nuova sede produttiva, CAREL USA, importante nodo per il Nord America e il Messico.

Come meta altrettanto importante, nel 2005, nasce CAREL China, con una sede produttiva situata a Suzhou, a 100km da Shanghai, che opera anche per il commercio sul mercato cinese. Negli anni successivi, l'espansione sul territorio europeo continua con la fondazione di CAREL Iberica (per Spagna e Portogallo), CAREL India, CAREL South Africa, CAREL Russia e infine CAREL Korea. Quest'anno è stata costituita CAREL Nordic, che si occupa del mercato HVAC/R in Svezia, Norvegia, Finlandia, Danimarca, Estonia e Islanda.

Le filiali del gruppo CAREL operano direttamente, per l'area geografica di loro competenza, rispondendo funzionalmente e gerarchicamente all'headquarters (sede di Brugine). Inoltre, CAREL

possiede tre filiali virtuali, cioè facenti parte dell'entità giuridica CAREL S.p.A., individuate come CAREL Italia, CAREL Northern & Central Europe, CAREL Southern & Middle East. Oltre a ciò sono in essere rapporti commerciali privilegiati (tipo franchising) con cinque società affiliate: CAREL Thailand, CAREL Korea, CAREL Turkey, CAREL Ireland, CAREL Spol (quest'ultima per il mercato ceco e slovacco); le affiliate vengono coordinate, a seconda dell'area di appartenenza, da una filiale.

Le filiali commerciali svolgono anche un'attività di supporto al cliente e di personalizzazione del software per le applicazioni del settore HVAC/R (*Heating, Ventilation and Air Conditioning Refrigeration*), su richiesta dello stesso cliente; la strategia è quella di presidiare e supportare i mercati mediante una rete di vendita il più possibile diretta a livello globale, grazie a decine di agenti e distributori sparsi in tutto il mondo: l'azienda è ben consolidata a livello internazionale (oltre il 70% delle vendite avviene all'estero).

I principali clienti CAREL sono OEM (*Original Equipment Manufacturers*, costruttori) e grossisti; in quantità minore anche installatori/fornitori e system integrators.

Un fattore fondamentale che ha contribuito alla crescita di CAREL è la continua attività di ricerca e sviluppo; nel 2012 ha investito oltre il 6% del fatturato consolidato in R&D (Research&Development), e attualmente lo staff dedicato è circa il 20% del gruppo.

Nel 2004 nasce il Centro Sperimentale Termodinamico CAREL che si occupa, tra l'altro, della sperimentazione delle tecniche di regolazione delle macchine frigorifere, con particolare attenzione alle nuove tecnologie.

Nel 1994 CAREL ottiene la certificazione ISO 9001 aggiornata attualmente alla ISO 9001:2008

Nel 2006 CAREL è "azienda eccellente" fra le prime cento in Italia, un risultato emerso dal Rapporto "Nostra Eccellenza" di Eurispes, noto istituto che opera nel campo della ricerca politica, economica e sociale. Il riconoscimento si aggiunge alla prestigiosa menzione speciale del premio *F.I.O.R.E.* (Farnell In One RoHS Elected) 2013 per la categoria "Tecnologie per la produzione" RoHS compliant e al *Premio per l'Innovazione* nell'ambito del "Premio Qualità nello Sviluppo", promosso da Rotary Club, Unindustria Padova, CCIAA, Ucid, Ordine dei Dottori Commercialisti.

Nel 2008 CAREL si aggiudica il *Premio Mediobanca* assegnato alle imprese più dinamiche, che si distinguono per elevati tassi di crescita e buona redditività.

Nel 2009 riceve il *Premio Marco Polo* istituito dall'Unioncamere del Veneto come azienda che si è distinta per l'impegno e gli importanti risultati nel settore del commercio estero nel 2008. Nell'ambito del China Awards 2009 a CAREL viene assegnato il premio *Creatore di valore* (Settore elettronica), come azienda che ha realizzato le migliori performance con la Cina nel 2008.

Nel 2011 le viene assegnata una *Menzione Speciale* alla 4° edizione del “Premio Imprese x l’Innovazione (IxI)”, istituito da Confindustria in collaborazione con APQI (Associazione Premio Qualità Italia). È stata valutata positivamente dopo un’accurata analisi delle performance del proprio modello organizzativo e strategico specificatamente orientato alla crescita attraverso l’innovazione; lo stesso anno CAREL viene inserita da Mediobanca nell’elenco delle prime 15 imprese dinamiche italiane.

Nel 2012, CAREL si è aggiudicata il *Premio Amici della ZIP* (Zona Industriale di Padova), per la categoria “innovazione” e ha ricevuto la certificazione ufficiale che attesta la conformità del proprio Sistema di Gestione Ambientale allo standard ISO 14001:2004



1.2 LA MISSION

Ogni azienda per risultare competitiva sul mercato, ha bisogno di definire la propria strategia.

Carel offre soluzioni innovative nell’umidificazione e nei sistemi di controllo per il mercato HVAC/R sforzandosi di anticipare le necessità dei propri clienti, permettendo loro di ottenere risultati di livello superiore attraverso soluzioni personalizzate. Ciò significa migliorare nelle varie applicazioni usando tecnologia all’avanguardia e operando con un approccio globale, al fine di essere riconosciuta leader di mercato.



Capitolo 2

LA FILOSOFIA LEAN

2.1 TOYOTA PRODUCTION SYSTEM

Il Toyota Production System (TPS), è considerato un metodo di organizzazione alternativo alla produzione di massa, ovvero alla catena di montaggio di Henry Ford per una produzione in serie e su larga scala. Prende il nome grazie ad un riscontro e riferimento alla casa Toyota, oggetto di studio dell'ingegnere Taiichi Ohno tra gli anni 1948 e 1975. Il TPS è inoltre uno dei principali precursori della “produzione snella”.

Il termine *lean*, che significa “snello”, è stato applicato per la prima volta negli anni '80 da studiosi americani riferendosi alle metodologie di lavoro osservate proprio nelle fabbriche Toyota in Giappone. In particolare, il termine *lean production* è stato coniato dagli studiosi Womack e Jones nel loro libro “La macchina che ha cambiato il mondo” (*The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*, 1991), in cui i due hanno osservato e analizzato in dettaglio e messo a confronto le più grandi case produttrici di automobili con la Toyota, dimostrando le ragioni di una netta superiorità di questa sulle concorrenti.

2.2 LEAN E OBIETTIVI

Gli obiettivi della trasformazione *lean* sono:

- avere dei processi più razionali e ordinati in modo da supportare la crescita dell'azienda non lavorando di più ma lavorando meglio;
- ottenere un vantaggio competitivo sui concorrenti grazie a prestazioni di assoluta eccellenza nei risultati operativi.

2.3 I 5 PRINCIPI DEL LEAN THINKING

Per ottenere i risultati dati dal *modus operandi* della *lean production*, bisogna applicare costantemente e in tutti gli ambiti i 5 principi fondamentali di un'organizzazione *lean*:

1) DEFINIRE IL VALORE:

il valore può essere definito solo dal punto di vista del cliente finale; bisogna perciò capire quali sono i reali bisogni del cliente così da poter fornire uno specifico prodotto (bene/servizio) in grado di soddisfare le richieste del consumatore.

2) IDENTIFICARE IL FLUSSO DEL VALORE:

le attività produttive, anche se all'apparenza possono risultare tutte indispensabili, si possono dividere in:

- Attività a valore (VA), che generano un valore percepito e riconosciuto dal cliente, perciò disposto a pagare perché queste siano effettuate;
- Attività non a valore ma necessarie (NVA-N), che pur non conferendo valore aggiunto al prodotto, sono necessarie all'azienda;
- Attività non a valore (NVA), cioè sprechi eliminabili immediatamente.

Il punto di arrivo è quello di ridurre il più possibile le attività non a valore, eliminando gli sprechi; la situazione da cui partono tutte le aziende è avere il 95% di attività non a valore e il 5% di attività che generano effettivamente valore aggiunto.

3) FAR SCORRERE IL FLUSSO:

dopo aver definito il valore, mappato il flusso (per famiglia e per l'intera filiera), eliminate le attività NVA, è necessario far scorrere senza interruzioni le restanti attività a valore.

Inizialmente le aziende accumulano le scorte lungo il processo, hanno una forte specializzazione degli operatori e presentano alti *lead time* (cioè il tempo che intercorre dall'ingresso di un prodotto nella linea produttiva alla sua uscita, detto altresì tempo di attraversamento); l'obiettivo è eliminare le scorte del processo, rendere gli operatori polifunzionali e ridurre il *lead time*.

4) IMPLEMENTARE IL SISTEMA *PULL* (TIRARE):

Passate le prime tre fasi è importante produrre ciò che vuole il cliente nel momento in cui lo richiede e nella quantità voluta, limitando al minimo le scorte: nessuna attività deve essere intrapresa senza una specifica richiesta del cliente.

5) RICERCARE LA PERFEZIONE:

Il metodo è puntare sempre al Miglioramento Continuo (*Kaizen*) e imparare a vedere e rimuovere gli sprechi.

2.4 I 7 SPRECHI

Viene definito spreco (MUDA) tutto ciò che non aggiunge valore per il cliente. Molti identificano nel TPS un metodo per eliminare gli sprechi, in realtà l'obiettivo è incidere su tutti e tre i "MU":

- MUDA: spreco;
- MURA: mancato livellamento;
- MURI: sovraccarico delle risorse.

Questi tre fattori danno vita ai 7 sprechi:

1) SOVRAPPRODUZIONE:

è la produzione preventiva o in quantità superiori alla richiesta del cliente; il rischio di questo spreco è la creazione di scorte e/o obsoleti e il possibile ostacolo della produzione di altri prodotti necessari: è basilare produrre ciò che il cliente vuole quando gli è necessario. Questo è lo spreco per eccellenza, perché genera e nasconde gli altri sprechi, limita la flessibilità ai cambiamenti e aumenta il tempo di attraversamento.

2) ATTESA:

termine con cui si designano persone o macchine che aspettano il completamento di altre attività. L'attesa spesso può essere evitata (per esempio se le macchine sono autonome) e soprattutto il tempo può essere impiegato in maniera produttiva: risulta utile perciò bilanciare le attività e i principi di automazione.

3) TRASPORTO:

è il movimento inutile dei materiali tra i vari processi. Possibili rischi provocati dal trasporto sono: il danneggiamento dei materiali durante la manipolazione, il ritardo della produzione, l'impiego non ottimale dei lavoratori e la non corretta gestione del tempo. Minimizzare il trasporto attraverso un lavoro a flusso continuo può ridurre questo spreco.

4) SOVRAPPROCESSO:

è dovuto al superamento dello standard richiesto: spesso, per eccessivo orgoglio dell'operatore, viene fornito al cliente un prodotto con caratteristiche superiori a quelle da lui richieste. La causa principale del sovraprocesso è la mancata definizione di uno standard.

5) SCORTE:

sono una diretta conseguenza della sovrapproduzione: è l'accumulo di prodotti finiti non necessari al cliente nell'immediato futuro. Questo genera l'aumento dei costi operativi (movimentazione, stoccaggio, rischio di obsolescenza) e del *lead time* di produzione. Molto

spesso questo spreco è sintomo di altri problemi nel sistema produttivo; può essere utile definire il livello di scorta strettamente necessario, ridurre la dimensione dei lotti migliorando l'affidabilità dei processi.

6) RILAVORAZIONE:

è la ripetizione o la correzione di un difetto: questa è necessaria solo quando c'è il bisogno di correggere una non conformità. Può essere causata: da metodi, materiali, macchine e manodopera, e richiede altre risorse per prevenire l'interruzione della produzione. Il modo più incisivo per migliorare questo spreco è analizzare e rimuovere le cause del difetto.

Questo è fondamentale per capire l'ottica del "buono al primo colpo", e quindi per comprendere le motivazioni di una particolare attenzione ai livelli di difettosità del processo.

7) MOVIMENTAZIONE:

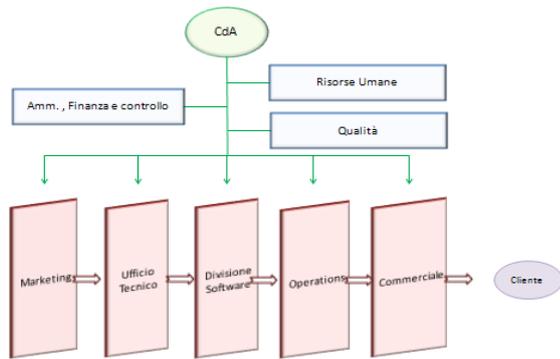
identifica il movimento che non genera valore aggiunto all'interno di un processo: le lavorazioni manuali spesso contengono spostamenti non necessari che sono causati da layout non ottimizzati.

Anche se non fanno parte dei 7 sprechi da combattere ed eliminare, esiste un ottavo elemento che non porta ad una ritorsione sulla produzione o sull'efficienza dell'azienda, ma che costituisce un ostacolo per il miglioramento continuo: le **RISORSE SOTTO-UTILIZZATE** sono, tuttavia, elementi che, pur non portando a dirette ritorsioni sulla produzione o sull'efficienza dell'azienda, possono costituire un ostacolo per il miglioramento continuo. Per sotto-utilizzo delle risorse si intende: non far partecipare tutti i lavoratori alle attività, non richiedere l'opinione altrui e avere un approccio autoritario.

2.5 TRASFORMAZIONE DELL'ORGANIZZAZIONE

L'applicazione dei principi *lean* non può risultare indifferente all'organizzazione generale dell'azienda: anche quest'ultima deve assumere una forma più "snella".

L'azienda era strutturata per funzioni: ad esclusione del Consiglio d'Amministrazione (CdA) e degli organi di staff come: amministrazione, finanza e controllo, risorse umane e qualità; le altre funzioni sono organizzate in maniera "sequenziale"; il passaggio di informazioni avviene solo a lavoro finito, senza un rapporto di collaborazione, con la quasi totale assenza di dialogo tra le parti.

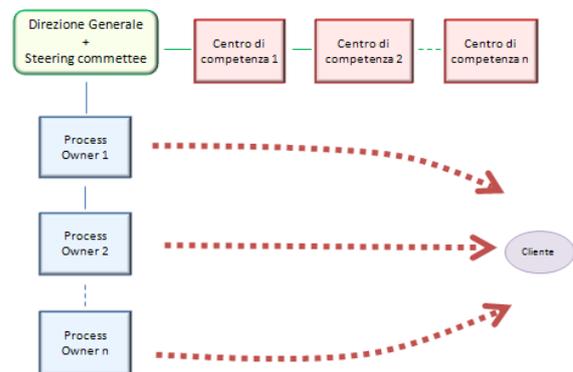


Questo implica una disinformazione generale e la perdita dell'ottica aziendale.

Una struttura per PROCESSI e CENTRI DI COMPETENZA permette ai primi di fluire senza interruzioni verso il cliente e, ai secondi, di interagire mettendo a disposizione le proprie

competenze in qualsiasi stadio del processo produttivo. Questa organizzazione è adatta per un'azienda che vuole essere il più possibile flessibile e tempestiva.

Il valore raggiunge il cliente mediante i processi che sono gestiti dal *Process Owner* (persone responsabili del processo, dotati di una certa esperienza). La crescita è di tipo specialistica/verticale nei centri di competenza e manageriale/orizzontale lungo i processi: entrambi i percorsi hanno la stessa importanza.

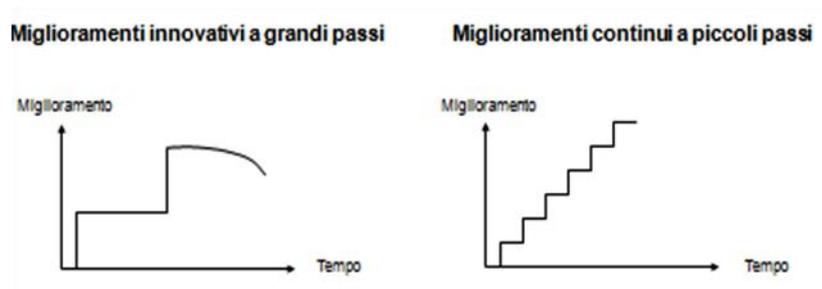


2.6 MIGLIORAMENTO CONTINUO

Il *Kaizen* (*Kai* cambiamento e *zen* verso il meglio) è un termine giapponese che identifica il processo di miglioramento continuo.

La procedura viene caratterizzata da quattro elementi principali:

- Miglioramento a piccoli passi
- Nessun grande investimento
- Coinvolgimento delle persone interessate
- Rapida realizzazione (*just do it*)



In questi quattro punti è sottinteso come i cambiamenti guidati da una forte innovazione non siano la soluzione giusta perché molto spesso sono irreversibili, necessitano di lunga pianificazione e richiedono grandi investimenti (fattori che in assenza di una successiva innovazione possono portare ad un calo del beneficio ottenuto). Il miglioramento a piccoli passi è, invece, di rapida attuazione, ha bisogno di un'intensa collaborazione tra le parti, richiede un piccolo o nessun investimento e, soprattutto, porta al graduale avvicinamento all'obiettivo finale, riducendo il rischio del mancato raggiungimento.

Capitolo 3

L'APPLICAZIONE DEL MODELLO PDCA

3.1 INTRODUZIONE: PDCA (CICLO DI DEMING)

Il ciclo di Deming prende il nome da W. Edwards Deming, studioso americano a cui venne affidato l'incarico di valutare la produzione di Toyota per introdurre degli strumenti atti ad assicurare un progressivo miglioramento della qualità.

Secondo Deming qualsiasi processo può essere visto come un ciclo a quattro momenti: Plan, Do, Check, Act. Non un percorso con un inizio e una fine, ma più una sorta di spirale nella quale alla fase Act segue una fase Plan di livello superiore.

Le norme UNI EN ISO 9001 e ISO 9004 portano un chiaro riferimento al PDCA: “[...]Inoltre a tutti i processi può essere applicato il modello conosciuto come “Plan-Do-Check-Act” che si può brevemente descrivere come segue:

- *Plan*: stabilire gli obiettivi e i processi necessari per fornire risultati in accordo con i requisiti del cliente e con le politiche dell'organizzazione;
- *Do*: dare attuazione ai processi;
- *Check*: monitorare e misurare i processi ed i prodotti a fronte delle politiche, degli obiettivi e dei requisiti relativi ai prodotti e riportarne i risultati;
- *Act*: adottare azioni per migliorare in modo continuo le prestazioni dei processi.[...]”

3.2 RIUNIONI DI PDCA DI SECONDO LIVELLO E VISIBLE PLANNING

In azienda vengono implementate riunioni dette “di PDCA” a vari livelli, definite in base alle persone coinvolte e alla frequenza:

- *FIRE FIGHTING*: è l'intervento immediato degli operatori ad un fermo linea dovuto ad un problema che impatta sul *Quality, Cost e Delivery* (QCD), con eventuale supporto dei Centri di Competenza;
- *PRIMO LIVELLO*: è un incontro a frequenza giornaliera svolto dal *Value Stream Leader* (VSL) e dal *Team Leader* (TL, responsabile di linea) in cui si discute l'andamento delle linee ed eventuali azioni da portare alla riunione di PDCA di secondo livello;

- **SECONDO LIVELLO:** sono coinvolti, oltre al Value Stream Leader (VSL), i *Change Agents*, incaricati di condurre l'azienda verso il miglioramento continuo e esperti dei concetti guida *lean* da seguire, e i rappresentanti dei Centri di Competenza (CDC), divisi in Qualità, Tempi e Metodi, TPM (*Total Productive Maintenance*), Test e Ingegneria di Produzione. La frequenza è settimanale e si discute dell'andamento dell'intera *Value Stream* (VS) e dell'avanzamento delle azioni di miglioramento.
- **TERZO LIVELLO:** ha frequenza mensile e sono presenti il *Plant Manager*, i *Value Stream Leader*, il responsabile della Qualità e i responsabili dei CDC. L'oggetto della riunione è l'andamento delle VS, in particolare dal lato dei piani di miglioramento: viene valutato l'avanzamento delle azioni programmate ed eventuali aggiunte mirate al raggiungimento degli obiettivi. Le decisioni prese in questa riunione saranno poi concretizzate negli incontri di PDCA di secondo livello.

In questo periodo di stage ho avuto l'occasione di partecipare in maniera regolare alle riunioni di PDCA di secondo livello.

L'incontro viene svolto nell'area produttiva davanti a un *visible planning*, cioè a una lavagna mobile che, come dice il nome stesso, rende visibili le principali informazioni sulle linee; è comprensivo di grafici, una tabella contenente le azioni per il miglioramento continuo dei processi e una matrice per la segnalazione degli sprechi che vede ai due assi "importanza" e "difficoltà", in modo da poter decidere a quale dare la priorità di risoluzione.

I grafici sono di vario tipo. I primi che vengono considerati illustrano, sinteticamente, i risultati delle analisi sull'andamento della *Value Stream* (VS) con i principali indicatori della produzione per *Quality, Cost, Delivery*:

- *Percentuale di difettosità:* è la quota di schede difettose (cioè non buone al primo colpo) su quelle prodotte. È calcolata come il dato ottenibile con frequenza giornaliera (descritta nel capitolo 5) ma, puntando ad un obiettivo medio annuale, è composto da dati cumulati dal primo giorno dell'anno;
- *Rendimento:* è calcolato come tempo standard su tempo effettivo. Per standard si intende il tempo previsto per completare gli Ordini Di Lavoro (ODL) giornalieri in termini di tempo di ciclo, cioè quanto passa tra l'inizio della lavorazione in linea del prodotto e l'inizio del successivo. Per effettivo si intende il tempo realmente necessario per completare gli ODL.
- *Tasso di rispetto degli ODL:* questo indicatore è il risultato del rapporto tra ODL realizzati e ODL previsti. Tra quelli realizzati sono presenti gli ordini completati nella giornata

lavorativa; tra quelli previsti ci sono gli ODL da completare giornalmente facendo fronte ad un programma settimanale.

Più specifici per le esigenze di *Value Stream* sono i grafici dei processi che risultano essere più difettosi, quindi più critici: se è presente qualche valore anomalo, o semplicemente abbastanza elevato da mettere in allarme il lato *Quality*, si discute del fenomeno nel momento in cui si è verificato e sulle sue possibili cause, in modo da poter pianificare delle azioni correttive, o anche solo documentarsi se può esistere una causa eliminabile.



La maggiore attività del PDCA di secondo livello si basa sulla pianificazione di azioni di miglioramento a scopo correttivo ma anche preventivo. Per far questo un gruppo di persone si prende l’incarico di pianificare, attuare, controllare e consolidare un cambiamento. Questo può essere rivolto a un processo, al layout della linea, alle competenze degli operatori, al prodotto, ma anche al singolo componente, e così via. Il tutto viene poi monitorato da una tabella presente sul *visible planning* che riporta tutte le informazioni ed gli aggiornamenti.

Le azioni che sono necessarie ma che non è possibile attuare subito, per esempio per evitare di aprire troppe attività senza essere in grado di chiuderle tempestivamente, vengono scritte su un post-it e affisse ad una tabella chiamata “matrice importanza-difficoltà”: gli assi hanno un dominio che va da uno a cinque e i quadrati che si formano dall’intersezione esprimono rispettivamente quanto l’azione è urgente e quanto è complesso metterla in atto, partendo dalle più importanti e meno difficili.

3.3 IL PIANO D’AZIONE

MIGLIORAMENTO CONTINUO - PIANO D'AZIONE									VERSIONE
Nr. PDCA	Tipo SPRECO	Data	Spreco	Cause dello spreco	Azioni per rimuovere le cause dello spreco	Owner	Data fine PDCA	Stato	Dettaglio stato
								⊕	

Come già spiegato in precedenza, il **piano d'azione** è uno strumento utile a mettere in evidenza quali azioni sono programmate per eliminare gli sprechi che si sono verificati nella *Value Stream*.

In dettaglio è presente:

- “Tipo di spreco”: è il riconoscimento di quale tra i 7 sprechi si è verificato e necessita di un'azione correttiva;
- “Spreco”: è una breve descrizione di quale è il problema;
- “Causa dello spreco” : è la prima identificazione della causa del problema, sotto intendendo che si ha già un'idea di come e dove andare ad agire;
- “Azioni per rimuovere la causa dello spreco”: è l'elenco delle azioni che sono necessarie per risolvere il problema; ci può essere una traccia nel momento della segnalazione dello spreco ma possono anche essere aggiunte azioni che emergono solo quando è in corso la correzione;
- “*Owner*”: è la persona incaricata di dirigere e attuare il piano di miglioramento, sempre però con l'aiuto del *Value Stream Leader*;
- “Data fine PDCA”: è una stima della data di chiusura dell'azione, che può essere anche aggiornata nel caso il tempo previsto non sia sufficiente;
- “Stato”: è l'avanzamento del ciclo di Deming, che viene segnalato colorando lo spicchio corrispondente alla fase appena conclusa. Nel momento in cui il cerchio è completato, l'azione si può considerare chiusa;
- “Dettaglio stato”: è aggiornato continuamente fino alla chiusura, per segnalare in maniera dettagliata in quale fase si trova l'azione, in termini di passi ultimati.

3.3.1 COME VIENE IMPLEMENTATA UN'AZIONE

Durante questa esperienza di stage, nelle riunioni di PDCA di secondo livello, mi è stato affidato il compito di sorvegliare la percentuale di difettosità e di segnalare, in caso, le anomalie con opportuni grafici e dettagli, comprendendo, già con la sola conoscenza, l'eventuale causa del problema. Così abbiamo deciso di descrivere e implementare un sistema per portare a termine un'azione nel migliore dei modi quando la causa dello spreco non è conosciuta.

Fase I: il primo campanello d'allarme deriva dalla **percentuale di difettosità**. Il fatto che il valore sia al di sotto dell'obiettivo fissato per la VS non è un buon motivo per non allertarsi o

implementare azioni, sia per un'ottica di miglioramento continuo, sia in base allo storico, che può indicare se è presente o meno una tendenza crescente dell'indicatore.

Fase2: a questo punto, per andare ad indagare sulle possibili cause, l'azienda si serve del **diagramma di Pareto**, che prende il nome dal suo ideatore Vilfredo Pareto, uno dei maggiori economisti italiani.

Questo grafico si basa sul *principio di Pareto*; è ispirato dalla cosiddetta "legge 80/20" che è sintetizzabile nell'affermazione: <<la maggior parte degli effetti è dovuta a un numero ristretto di cause>> (considerando grandi numeri). In termini di qualità

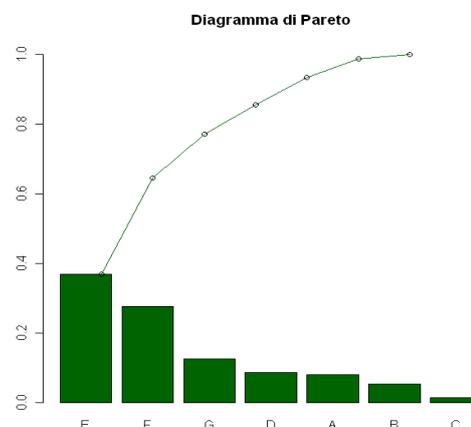
questa teoria si potrebbe esprimere dicendo che il 20% dei tipi possibili di guasto in un processo produttivo genera l'80% delle difettosità totali.

Il diagramma di Pareto è un grafico che mostra qual è il peso sul totale delle tipologie di un certo fenomeno. È composto da barre ordinate in maniera decrescente, rappresentative di valori calcolati come frequenza assoluta della tipologia sul totale delle frequenze, e da una curva concava, che rappresenta le frequenze relative cumulate (*curva di Lorenz*).

Per la qualità è utile conoscere quali sono i processi che hanno generato i difetti e, in particolare, capire se ne è presente uno preponderante. Per questo motivo viene fatto un focus sui processi che generano l'80% dei difetti e, una volta individuati, viene deciso su quale agire; questo perché si è consapevoli che l'azione apporterà un miglioramento maggiore di quello che si otterrebbe focalizzandosi su un qualsiasi altro processo.

Di quelli che sono stati selezionati ne viene scelto uno che non sempre, e non per forza, deve essere il primo in graduatoria: dovendo svolgere più di un'azione è molto probabile che non tutte siano mirate al primo processo che genera difetti.

Fase3: nel momento in cui si decide quale processo è protagonista di un'azione di miglioramento, si scende in profondità nell'analisi. Per prima cosa è necessario uno studio per capire qual è il **codice più difettoso** e di conseguenza trovare **quale linea** verrà coinvolta; in caso affidandosi al diagramma di Pareto.



Fase4: come in ogni analisi, il punto di partenza è il dato. La raccolta effettuata dalle linee giornalmente segnala solo il processo difettoso: il ragionamento *lean* è di rendere tutto più tempestivo e meno macchinoso. È utile integrare il sistema quando si vuole conoscere anche la collocazione sul circuito stampato del difetto oppure il tipo specifico (per esempio nel caso della saldatura se è scarsa, mancante, o se è un corto circuito, ecc.). Per questo si implementa una **raccolta dati straordinaria** nella linea per cui si è deciso di eliminare uno spreco, personalizzata per la voce *Quality* del QCD.

Quindi, nel caso della qualità, questa raccolta sarà sempre ideata a partire dal disegno del circuito stampato e dai suoi componenti, così come è definito nello schema elettrico del prodotto. È l'azione poi che determina qual è il sistema e il livello di dettaglio per ottenere un'informazione che sia il più utile possibile per capire qual è il motivo per cui vengono generati tanti difetti.

Con questa fase si è concluso il PLAN del Ciclo di Deming.

Fase5: dopo aver individuato la vera causa che fa sì che il processo generi un numero ripetitivo e non casuale di difetti, la fase esplorativa è terminata. L'azione successiva è: la **soluzione dei CDC** che, in base all'ambito e alla difficoltà, si prendono in carico di apportare le modifiche necessarie per diminuire e/o eliminare le difettosità di quella scheda causate da quel processo. Utile per le fasi successive è fare una stima di quante difettosità di quel prodotto saranno eliminate per poterla, poi confrontare con il dato realizzato. Con questa fase viene completata la stesura dell'azione nel piano di miglioramento.

Fase6: per valutare se effettivamente i cambiamenti hanno apportato dei miglioramenti alla percentuale di difettosità, è necessaria una **rivalutazione a posteriori rispetto l'azione implementata** in cui si analizza se la difettosità di quella linea e di quel prodotto è calata quanto ci si aspettava.

Per definire "quanto ci si aspettava", bisogna fare il confronto tra il valore stimato nella fase precedente e quello che si è realizzato effettivamente; per questo è importante continuare per altro tempo a tenere sotto controllo il dato.

Fase7: la linea guida della pianificazione di un'azione per il miglioramento continuo è quella di rendere la difettosità un evento non condizionato da fonti di variabilità diverse da quella naturale. A questo proposito è importante valutare la **variazione del diagramma di Pareto**. L'obiettivo cui si

mira è che tutti i processi che generano difetti pesino in modo analogo sulla percentuale di difettosità: in un'ottica di 10 processi, tutti hanno un'incidenza sul totale dello 0,1.

Perciò, il fine ultimo del portare a termine un'azione, è quello di abbassare il peso di quel processo, in modo da puntare ad una difettosità equidistribuita tra le cause. È questo il motivo per cui è sufficiente valutare se la barra del diagramma di Pareto corrispondente al processo preso in causa si è abbassata. Può così dirsi conclusa anche la fase *Check*.

Capitolo 4

LA PRODUZIONE IN CAREL

CAREL produce principalmente tre tipi di prodotto: schede elettroniche, umidificatori e valvole.

In particolare i miei studi si concentrano sulla parte elettronica, quindi dell'assemblaggio di prodotti contenenti dei circuiti stampati.

Ecco quale può essere una breve descrizione dei processi da portare a termine per la produzione di schede elettroniche: alcuni di questi sono automatici, come tutta la parte legata ai componenti SMD e alla saldatura dei componenti PTH; altri sono manuali come: l'assemblaggio finale e il montaggio dei componenti PTH.

4.1 ORGANIZZAZIONE DEL PLANT

4.1.1 DIVISIONE DELLE VALUE STREAM

La produzione elettronica in CAREL è suddivisa in tre macro aree di competenza chiamate *Value Stream*, utili: sia per poter assegnare la responsabilità di un settore a una persona, il *Value Stream Leader* (VSL); sia per poter specializzare le linee e i relativi *setup* ad alcuni prodotti migliorando i tempi di ciclo e quindi l'efficienza.

Le tre *Value Stream* sono divise in base all'utilizzo finale del prodotto e sono:

- Parametrici: prodotti per la refrigerazione con una tecnologia che permette di impostare i parametri desiderati;
- Programmabili: tutti quei prodotti che offrono una programmazione personalizzata fatta da CAREL o dal cliente stesso;
- Miscellanea (Mix) : tutti i prodotti non appartenenti alle prime due categorie.

4.2 PROCESSO PRODUTTIVO AREA ELETTRONICA

Descrivo brevemente quali sono i processi necessari per passare dalla materia prima al prodotto finito e ottenere la scheda elettronica completa:

- Deposizione pasta serigrafica: sui circuiti stampati viene posta una pasta saldante (o un adesivo) per mezzo di un telaio appositamente forato aventi spessori di lamina diversi a

seconda della lavorazione e macchina serigrafica a centraggio automatico.

- Programmazione: i microprocessori sono programmati su un'apposita stazione di programmazione; se diversamente previsto, i microprocessori sono programmati solamente nella fase test "*In Circuit*".
- Assemblaggio e saldatura SMD: vengono montati da una macchina del tipo "*Pick and Place*" che posiziona automaticamente, a seconda del prodotto da produrre, i componenti elettronici SMT (*Surface Mount Technology*) sui circuiti stampati; questi, poi, vengono passati in un forno specifico per ottenere la rifusione della pasta saldante (o polimerizzazione dell'adesivo).
- Test ottico (punto di controllo): viene fatta un'ispezione ottica a cura dell'operatore o un controllo automatico attraverso una macchina AOI del semilavorato SMD. Le schede, prima delle altre lavorazioni, vengono posizionate in appositi *racks* ed identificate. Se l'esito del controllo ottico è positivo il semilavorato passa alle fasi successive; altrimenti viene valutata la possibilità di una rilavorazione con un'ulteriore ispezione che, in caso di esito negativo, porta alla creazione di uno scarto per non conformità.
- Prelievo e assemblaggio componenti PTH: nelle linee, o meglio, ad ogni cella ad U che permette il fluire del processo produttivo, vengono montati manualmente, secondo le specifiche di montaggio, componenti di tipo tradizionale PTH ("*Pin Trough Hole*") che sono stati, se necessario, tagliati e pre-formati da linee ausiliarie dotate delle attrezzature necessarie.
- Saldatura PTH: i componenti PTH vengono saldati tramite la saldatrice a onda. Le temperature (di preriscaldamento e di crogiolo) e la velocità di trascinamento dei carrelli sono parametri noti forniti dalle specifiche di lavorazione e monitorati costantemente.
- Controllo visivo e *Touch-up* (punto di controllo): dopo il processo di saldatura, l'operatore effettua un controllo visivo. Le schede che presentano anomalie (corto circuito, saldature mancanti, componenti mancanti, montaggi non corretti, ecc.) vengono riparati in linea, se possibile. Se il controllo ottico ha un riscontro positivo, si procede alla fase successiva; altrimenti si valuta la possibilità di una rilavorazione o eventualmente si dichiara una non conformità.

Il "*Touch-up*", invece, è una fase in cui si rifiniscono le imperfezioni derivate dalle fasi precedenti (come i pin dei componenti troppo lunghi che non permettono alla plastica di chiudersi correttamente). Questo tipo di processo non è presente in tutte le linee, ma solo in quelle che prevedono la movimentazione manuale tra la saldatura e il test.

- Test in circuit (punto di controllo): è un test elettrico automatico dei componenti montati e saldati sul circuito stampato. Consiste nel fare entrare in contatto dei chiodi che trasmettono *input* al circuito stampato; in base alla risposta, la macchina è in grado di capire se è presente qualche anomalia.

Se il test non risulta positivo, gli operatori possono valutare una rilavorazione altrimenti si registrerà una non conformità e il circuito stampato e i suoi componenti risulteranno degli scarti.

L'avvenuto collaudo è identificato con l'applicazione di un'apposita etichetta identificativa di controllo o altri segni.

- Resinatura: è un processo in cui viene depositata sul circuito stampato una resina che serve di protezione. Attualmente, a parte qualche eccezione, è una procedura automatica: le schede sono immerse nella resina abbastanza da far depositare un sottile strato, protettivo per il prodotto ma non dannoso per il funzionamento. In alcuni casi, per ottenere una maggiore precisione ed evitare i punti critici, la resinatura è manuale.

Questa fase è successiva al test *in circuit* perché, una volta che la scheda ha la resina depositata, non è possibile ripararla se non danneggiando lo strato protettivo

- Burn-In: (previsto solo per alcune linee della VS programmabili) è un ciclo di invecchiamento normalmente di circa 48 ore nominali alla temperatura di 70° che si svolge in una cella termica appositamente attrezzata e controllata. Il funzionamento è monitorato tramite un sistema di rilevazione e registrazione dati che permette di individuare eventuali sbalzi di temperatura anomali e/o interruzioni dell'alimentazione di rete. Questo viene effettuato per i componenti PTH e solo in poche linee.

- Test funzionale (punto di controllo): è un test automatico che verifica il funzionamento del prodotto assemblato. L'operatore esegue questo test secondo delle specifiche prestabilite per quel prodotto. Nel caso di errori, si registra una non conformità. Se invece il risultato del test è positivo, viene sempre applicata un'etichetta identificativa o altri segni.

- Assemblaggio finale ed etichettatura: nel caso dei prodotti finiti sono previsti, in genere, delle fasi di assemblaggio di uno o più semilavorati con particolari plastici o meccanici.

A completamento delle fasi di assemblaggio e ad esito positivo di tutti i punti di controllo elencati sopra, viene applicata l'etichetta identificativa del prodotto riportante: codice, revisione (hardware/software), data di produzione e numero di serie del prodotto finito.

- Packaging & Labelling: tutti i prodotti finiti vengono imballati secondo quanto previsto dalle specifiche richiamate nel ciclo di lavoro. Successivamente i prodotti vengono

posizionati in opportune zone, in attesa di essere prelevate dal personale di magazzino.

- **Immagazzinamento:** il prodotto finito già imballato viene appositamente stoccato presso i Magazzini CAREL alle opportune coordinate di magazzino suggerite dal sistema.

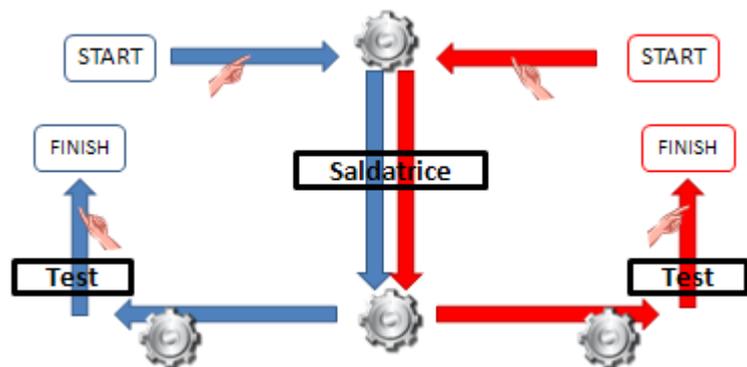
4.2.1 FLUSSO DELLA PRODUZIONE

Le linee per il montaggio componenti SMD sono una per ogni *Value Stream* per favorire la comunanza di codici e quindi per ridurre la varietà di *set up* da cambiare. I processi coinvolti, come già anticipato, sono: la serigrafia, il posizionamento con la macchina *Pick&Place*, cioè che assembla i componenti SMD rapidamente e scrupolosamente grazie alla sua automatizzazione, il forno e, per alcuni, l'ispezione ottica. Una volta completato il processo le schede vengono spagate e quindi poste singolarmente su dei *racks* per essere portate alle linee successive.

Esistono tre tipi di *layout* per le linee del montaggio componenti PTH di produzione elettronica:

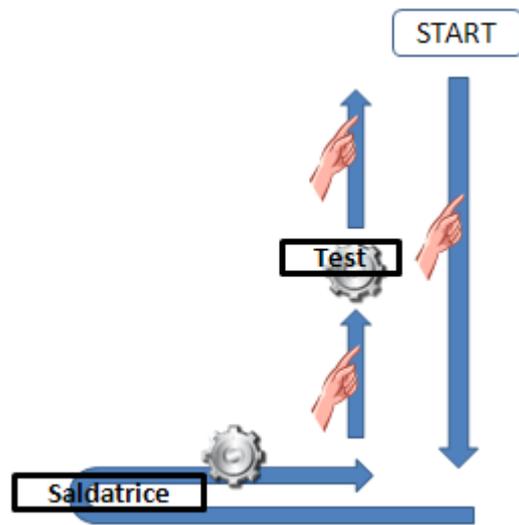
- Flusso a W: la caratteristica di questo *layout* è l'utilizzo della saldatrice in comune tra due linee. Di fatto questa struttura è in grado di permettere il *one piece flow*, cioè: in ogni fase del processo produttivo è presente solo una scheda e non di più, così da evitare tempi di attesa e scorte. Il livello di automazione è molto alto perché, dopo la fase di assemblaggio e il posizionamento del circuito stampato sul carrello, l'operatore non entra più in contatto con la scheda fino all'esito del test *in circuit* dopo il quale, se positivo, si conclude il prodotto con il test funzionale e l'imballaggio.

Avere una struttura a W permette di prevenire il rischio di difettosità o, peggio, di scarti dovuti alla movimentazione del circuito stampato da un punto ad un altro del processo produttivo; inoltre, limita il bisogno di operatori in linea, minimizzando la manodopera.



Questo tipo di struttura è presente in tutte le linee di montaggio PTH Parametrici (per alcune però con l'aggiunta di una fase di resinatura, che può essere manuale o automatica) e in alcune linee della *Value Stream* Programmabili, con la differenza che: non esiste un collegamento diretto tra la saldatura e il test, ma è presente una movimentazione manuale.

- Flusso a U: per quasi tutte le linee di montaggio componenti PTH appartenenti alla *Value Stream Mix* esiste un flusso continuo a “U”. La prima sostanziale differenza con il tipo di percorso che fanno le schede della VS Parametrici è che: la saldatrice risulta ancora in comune, ma non più per due linee, ma per l’intera *Value Stream*. Esiste, infatti, un nastro trasportatore sempre in movimento e una saldatrice finale. Si posiziona il carrello con i circuiti stampati sul nastro, i quali percorrono la strada fino alla saldatrice e, dopo essere stati saldati, tornano indietro fino a fermarsi alla linea produttiva di partenza. Questo ovviamente porta a pensare che per cercare di seguire il concetto di *one piece flow* anche per questo layout sia necessario considerare un “pezzo” una serie di circuiti stampati, per esempio predisponendo un carrello di sei unità.



Le schede, dopo essere state saldate, vengono rifinite, vengono cioè apportate alcune migliorie il minimo indispensabili per consentire, per esempio, l’assemblaggio della plastica o il passaggio del test.

Dopo il test i circuiti stampati, se necessario, vengono rilavorati e, dopo quello funzionale, imballati.

- Banchetti di lavoro: per alcune delle linee Programmabili e Mix l’unico processo presente è quello di assemblaggio. Questo perché non è necessario saldare altri componenti (per esempio: viene solo montato un display e il prodotto è pronto per essere imballato).

Infine, esiste una linea ausiliaria che svolge il processo di preformatura.

Di fatto, i componenti presenti nelle linee PTH possono essere: sia già pronti per essere assemblati grazie a dei fornitori esterni, sia forniti sotto forma di bobina, per consentire una personalizzazione della preformatura.

A questo punto gli alimentatori dei *set up* prelevano i componenti: per rifornire le linee con sistema a *kanban*, cioè quelle che hanno le cassetine di componenti sempre a disposizione e ricaricate per evitare la mancanza di materia prima; oppure per preparare delle cassette che contengano tutto il necessario per poter assemblare il prodotto dell’ODL.

Capitolo 5

INDICATORI DELLA QUALITA' IN PRODUZIONE

5.1 DPMO E AGGREGATO OMI

5.1.1 *NORMATIVA IPC-A-610D*

La IPC (*Association Connecting Electronics Industries*) è un' associazione il cui scopo è quello di uniformare i requisiti di assemblaggio e di produzione nel campo dell'elettronica per apparecchiature e assiemi. È stata fondata nel 1957 come Istituto per circuiti stampati (*Institute for Printed Circuits*). Il suo nome poi fu cambiato in: "Istituto per circuiti di interconnessione e packaging elettronico" (*Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits*) per evidenziare l'evoluzione rispetto all'interesse delle sole schede da assemblare e gli assiemi elettronici. Nel 1995 questa associazione ha adottato dei principi di normalizzazione come principi guida: gli "IPC Standards and Publications". Queste norme sono state create per soddisfare l'interesse di tutte le aziende ed eliminare possibili incomprensioni tra produttori e acquirenti facilitando l'intercambiabilità e il miglioramento dei prodotti, ottenuti col minimo ritardo e aventi le caratteristiche desiderate. Nel 1999 l'organizzazione ha cambiato formalmente il suo nome in IPC con lo slogan di associazione che collega le industrie di elettronica, facendosi riconoscere poi a livello mondiale per aver pubblicato gli standard di accettabilità usati in tutto il settore.

Gli standard IPC sono utilizzati quindi dal settore dell'elettronica. La IPC-A-610, adottata da CAREL, stabilisce i criteri di accettabilità degli assemblaggi elettronici (*Acceptability of Electronic Assemblies*).

5.1.2 *DEFECTS PER MILLION OPPORTUNITIES (DPMO)*

La normativa IPC-7912A si pone come obiettivo di definire un metodo standard per categorizzare i difetti relativi alla produzione di schede a circuito stampato (PBAs, *electronic Printed Board Assemblies*). Questo documento mira a fornire delle consistenti metodologie per il calcolo degli indici di difettosità, ma con l'intento unico di poter comparare più aziende, accomunandole in un unico linguaggio (applicabile alla normativa IPC-A-610, adottata dall'azienda come standard per la produzione).

Il DPMO (*Defects Per Million Opportunities index*) è definito come il totale del numero dei difetti del prodotto finito sul totale delle opportunità per quel prodotto, moltiplicato per 10^6 :

$$DPMO = \frac{\text{Component Defect } (d)}{\text{Opportunities } (o)} * 10^6$$

L'indice si diversifica secondo le quattro tipologie di difetti:

- *Component* (DPMO_C)
- *Placement* (DPMO_P)
- *Termination* (DPMO_T)
- *Assembly* (DPMO_A)

Il **DPMO_C** misura la difettosità dei componenti dove, con il termine “componente”, si intende un dispositivo che può essere assemblato su una scheda con circuito stampato (PWB, *Printed Wire Board*), più il circuito stesso. La saldatura, fatta dallo stagno tra i pin del componente e altri simili materiali di assemblaggio, non deve essere incluso nel calcolo.

Il totale delle opportunità per il DPMO_C è contato come uno, vale a dire che se ha più pin il riferimento è sempre uno perché è unico il componente. Le difettosità includono sia quelle visibili sia quelle non visibili (fisiche/elettriche); ogni volta che sullo stesso componente c'è più di un difetto ne verrà contato solo uno (per linearità col calcolo delle opportunità).

Il **DPMO_P** considera le difettosità legate al vero e proprio posizionamento dei componenti, dove il “posizionamento” è basato sulla lista dei materiali necessari B.O.M. (*Bill Of Materials*). Ogni componente ha una sola opportunità. Poiché il circuito stampato non ha un posizionamento, dato che i componenti sono posti su questo, il numero di opportunità sarà uno in meno rispetto a quello dei componenti (DPMO_P= DPMO_C-1). Si ha una difettosità legata al posizionamento quando un componente non è nella posizione stabilita dalla normativa IPC: può esserne presente solo una per componente.

Il **DPMO_T** si riferisce alle “terminazioni”, cioè a quei fori, del circuito stampato, dentro il quale un componente viene collegato elettricamente. Nel calcolo delle opportunità si va a includere il numero di saldature che devono essere eseguite affinché tutti gli elementi siano correttamente collegati al circuito stampato. Un difetto sulle terminazioni si verifica quando vengono violati i requisiti della

normativa IPC, ovvero quando una saldatura sul circuito stampato è povera o non presente; di fronte a una terminazione con più di una imperfezione, verrà contata solo una difettosità.

Il **DPMO_A** prende in considerazione tutte quelle difettosità che non rientrano nelle categorie componente, posizionamento o terminazioni.

Ho citato questa categoria solo per conoscenza, perché l'azienda aveva ritenuto esaustivi già le prime tre tipologie di difetti.

5.1.3 OVERALL MANUFACTURING INDEX (OMI)

L'OMI (*Overall Manufacturing Index*), suggerito sempre dalla normativa IPC, è utilizzato per confrontare uno o più assemblaggi tra prodotti nello stabilimento; questo indice considera le tre percentuali di difettosità ma allo stesso tempo tiene conto delle diverse opportunità di difetto.

La sua costruzione parte dalla definizione dei tre tassi di accettazione osservati (1 meno il tasso di rifiuto):

$$p_C = 1 - \frac{d_C}{o_C} \qquad p_P = 1 - \frac{d_P}{o_P} \qquad p_T = 1 - \frac{d_T}{o_T}$$

Una legge del calcolo delle probabilità afferma che per eventi indipendenti la probabilità congiunta è data dal prodotto delle probabilità, perciò moltiplicando tra loro questi coefficienti si ottiene la probabilità di successo in termini di difetti per opportunità.

L'indice ci è necessario, tuttavia, per sorvegliare la difettosità, perciò noi considereremo il complementare di questa formula (1 meno il prodotto dei coefficienti).

$$OMI = [1 - (p_C)(p_P)(p_T)] * 10^6$$

5.2 NUOVO INDICATORE

5.2.1 FLUSSO DEI DATI

Per comprendere al meglio come è stato possibile realizzare la nuova raccolta dati, è necessario descrivere il flusso dei dati.

Le linee di produzione elettronica in CAREL producono a flusso continuo secondo la metodologia “*one piece flow*”, puntando all’ottimizzazione in termini di tempi di attesa e di livello di scorte tra una fase e l’altra.

Come già descritto, dopo la fase di assemblaggio e il passaggio del circuito stampato nella saldatrice a onda, viene portato a termine il primo test: in caso di esito positivo, la scheda può passare al test funzionale e quindi essere pronta per l’imballaggio; se l’esito è negativo, si valuta se rilavorare il prodotto o se considerarlo uno scarto perché irrecuperabile.

Dopo l’eventuale riparazione della difettosità, il circuito stampato affronta un ulteriore test, che a risposta positiva porta al passaggio alla fase successiva; in caso contrario, diventa una non conformità, quindi uno scarto.

Al momento non è previsto uno standard per quanto riguarda i possibili tentativi di riparazione: non sempre rilavorare la scheda difettosa è un modo per non avere una perdita, perché nella valutazione contano anche la perdita di opportunità per non aver assemblato un altro circuito stampato o il costo dell’operatore di linea.

Dopo questa breve descrizione, è importante definire al meglio in quale fase vengono raccolti i dati. Il primo test è ciò che determina se il mio prodotto è un FPY (*First Pass Yield*, buono al primo colpo) o se contiene delle difettosità. Di fatto, quando il circuito stampato con i componenti SMD e PTH saldati arriva al test, può avere tre esiti: *pass*, se non presenta difettosità; *fail*, se la scheda non soddisfa tutte le caratteristiche necessarie per considerare il prodotto conforme; *false fail*, o falsa diagnosi, che non è un vero e proprio esito, ma è la situazione in cui i chiodi del test, per errore o per semplici problemi di pulizia della scheda, rilevano una difettosità che in realtà non è presente, perciò un passaggio ulteriore senza effettive lavorazioni porta all’esito positivo.

Il circuito stampato che passa il test perché non difettoso, considerando tale anche il caso di falsa diagnosi, è definito conforme. Tutto ciò che non è “buono al primo colpo”, è considerato una difettosità.

5.2.2 PERCENTUALE DI DIFETTOSITÀ

Costruzione

Definisco quali sono le classificazioni dei circuiti stampati utili a definire poi una percentuale di difettosità:

- **Completed:** tutti i circuiti stampati che hanno passato il test e quindi sono considerati pronti per la vendita; all'interno sono presenti sia i FPY che quelle schede che sono state rilavorate e che hanno quindi superato il test *in circuit* e funzionale. Di questi esiste un sottogruppo, chiamato **completed esploso** che è quello poi usato per la percentuale di difettosità: prende la quantità di prodotti finiti solo nel momento in cui sono pronti per l'imballo, moltiplicando questo valore per il numero di circuiti stampati presenti all'interno. Nell'ipotesi di un ordine di lavoro di 50 pezzi, se il prodotto ha al suo interno una scheda il *completed* è 50, se ne ha tre è 150.

- **Defective2 (Defective reworked):** in questa categoria rientrano tutte le schede che ricevono come esito al primo test un *fail* ma che sono rilavorabili dagli operatori.

Per ricavare questo dato non esiste una raccolta automatica come quella dei *completed*: ogni giorno gli operatori compilano un documento chiamato rapporto giornaliero di produzione dove segnano la tipologia di difetto (utile poi per le analisi che usufruiscono del diagramma di Pareto).

In questo documento, ogni volta che viene riparato un circuito stampato che riesce a superare il test, gli operatori segnano che la scheda è difettosa mettendo una barretta in corrispondenza della famiglia del prodotto e della tipologia di difetto: terminazioni PTH e SMD sono rispettivamente saldatura e serigrafia; posizionamento PTH e SMD sono assemblaggio e montaggio automatico componenti SMD.

La colonna apposita per i componenti guasti o rotti è utile a tenere traccia di quelle difettosità che sono causate da un componente non utilizzabile.

Le false diagnosi, indicazione di una difettosità quando in realtà non è presente, vengono a loro volta monitorate costantemente, perché costituiscono anch'esse una forma di spreco dato che generano un'attesa pari al tempo di esecuzione del test.

Alla fine dell'ultimo turno di produzione tutti questi dati vengono registrati grazie al tool CAREL JOB, un sistema in real-time di raccolta dati di produzione. Lo scopo di questo applicativo è di tenere sotto controllo l'andamento del personale di produzione e delle lavorazioni che esso segue. Per facilitare le operazioni di inserimento, la maggior parte dei comandi vengono eseguiti tramite codici a barre opportunamente preparati.

Di questi, entreranno a far parte della percentuale di difettosità solo i difetti generati dai processi di saldatura PTH, serigrafia SMD, assemblaggio PTH e montaggio componenti SMD.

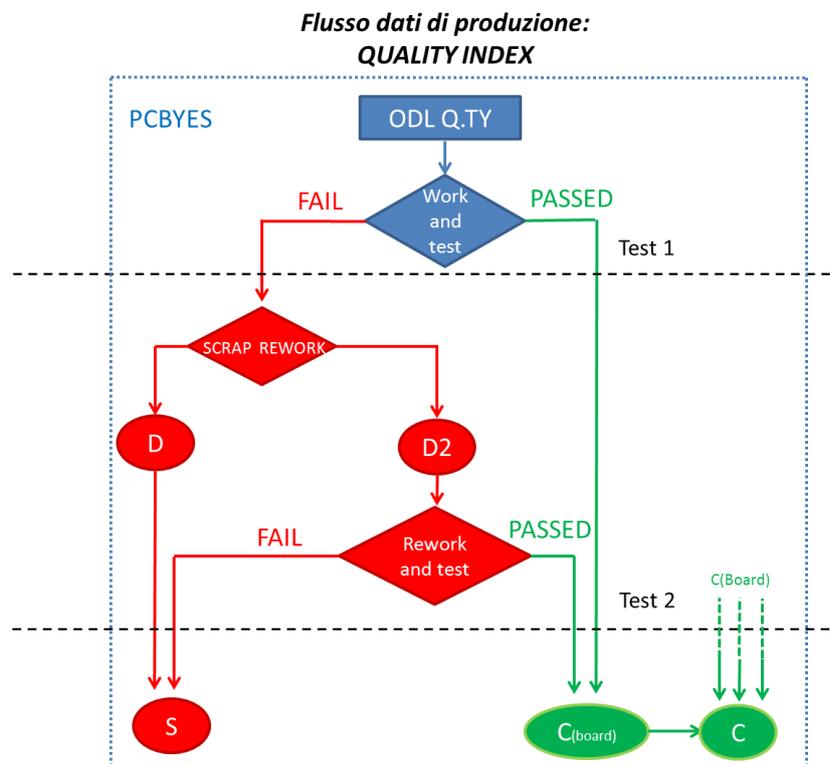
CAREL								
DATA:			LINEA:		OPERATORE:			
Famiglia Prodotto	Totale (PEZZI VERSATI)	Codice a barre	TERMINAZIONI		POSIZIONAMENTO		COMPONENTI PTH o SMD (GUASTI / ROTTI)	FALSE DIAGNOSI (MISURA COMP. O CONTATTAZIONE)
			PTH	SMD	PTH	SMD		
A								
B								
ALTRO -----								
NOTE								

Figura 5.1: Rapporto giornaliero di produzione

- **Defective (True Defective):** sono quei difetti che generano automaticamente uno scarto, dato che non possono essere riparabili; si verificano subito dopo il test o dopo una rilavorazione non andata a buon fine.
- **Scraps:** sono tutti i circuiti stampati con almeno un componente assemblato che vengono scartati perché non conformi e non rilavorabili. Oltre a quelli considerati tra i *defective*, quindi quelli che hanno seguito il normale processo produttivo ma non sono passati al test, entrano a far parte di questa classificazione anche le schede che sono diventate degli scarti per altri motivi, quali la distruzione per progettazione, la rottura accidentale in altre fasi diverse dalla rilavorazione e qualsiasi altra causa che ha danneggiato definitivamente il circuito stampato.

Per la raccolta di questo dato durante le ore di produzione gli operatori conservano la scheda non conforme in un'apposita cassetta rossa e al termine della giornata, o al termine del lancio, inseriscono i dati sempre in CAREL JOB.

Questo schema rappresenta il flusso dei dati (*defective*, *defective2*, *scrap* e *completed*) nella fase di test e di rilavorazione del circuito stampato (PCBYES).



Per *defective*, *defective2* e *scrap* poi esiste un'altra distinzione categoriale legata alla causa della difettosità:

- Interna: della linea
- Fornitore interno: delle linee che hanno fornito un semilavorato difettoso a quelle responsabili dell'esito del test
- Esterna: da fornitori al di fuori di CAREL.

Per calcolare l'indicatore per Value Stream, dei *defective* e *defective2* considero solamente la causa interna o fornitore interno, perché sono le uniche due categorie che rappresentano la reale qualità della produzione in CAREL.

È importante fare il punto sull'interazione tra le linee che portano poi al prodotto finito, perché avere i processi a flusso può portare ad avere una duplicazione dei dati.

Il prodotto è considerato "completato" nel momento in cui conclude il processo produttivo nelle linee di montaggio componenti PTH. In base all'ampiezza del controllo ci sono diversi valori da prendere: per una percentuale di difettosità per linea considero i *completed* al termine della

produzione in linea; se voglio ottenere un dato per *Value Stream*, considero solo il *completed* registrato nelle linee finali, evitando i passaggi intermedi dei semilavorati.

Formula

La formula del nuovo KPI (*Key Performance Indicator*) definito come percentuale di difettosità è:

$$(1) \quad \% \text{ DEFECTIVENESS} = \frac{\text{defective} + \text{defective2}}{\text{completed esploso} + \text{scraps}} \times 100$$

Il rapporto di questi due espressioni fornisce un'informazione in termini di “schede su schede”, nel senso che mette a confronto i semilavorati contenenti un circuito stampato difettosi e il totale della produzione.

In questo modo si ottiene la percentuale di prodotti che non passa il test al primo colpo. L'importanza di sorvegliare questo valore è data dall'obiettivo di assicurare un prodotto di qualità e minimizzare gli sprechi, in termini di rilavorazione.

Per ottenere la percentuale di *First Pass Yield* basta calcolare il complementare di questo valore.

Il risultato della formula viene confrontato con una percentuale obiettivo; questa è medio annua ed è così costruita:

- a partire dai dati degli ultimi tre mesi dell'anno precedente si crea un diagramma di Pareto dei processi difettosi;
- si considerano i processi che cumulano l'80% dei difetti;
- si riduce di una percentuale obiettivo il numero di difetti appartenenti alla precedente categoria;
- si ricalcola la percentuale di difettosità con questi nuovi valori.

La percentuale obiettivo è un punto di riferimento per la qualità di tutto l'anno, dato che aiuta a capire com'è l'andamento della produzione in confronto alle aspettative. È importante fare una scelta sì sfidante, ma non al di sopra delle proprie capacità; per questo, il punto di partenza per la costruzione dell'obiettivo è l'anno precedente.

Capitolo 6

INTRODUZIONE: TECNICHE UTILIZZATE PER LE ANALISI

6.1 LE CARTE DI CONTROLLO: BREVE DESCRIZIONE

Il confronto tra l'indice DPMO e la percentuale di difettosità è utile per evidenziare quali sono i punti di forza e di debolezza di entrambi confrontandoli sulla stessa scala e nello stesso periodo.

Per svolgere questa analisi ho utilizzato delle *carte di controllo*, che sono un'utile metodologia per rappresentare l'andamento della qualità di un prodotto in diversi istanti temporali, in particolare sorvegliando il livello di variabilità che si verifica: più è alta, più il mio processo è imprevedibile. Ciò che si cerca è un processo standard, cioè che osservi la stabilità nei tre parametri della distribuzione dei dati: posizione, variabilità e forma.

Le cause della mancata stabilità di questi tre parametri si possono suddividere in:

- Comuni: sono quelle dovute alla pura casualità degli eventi e quindi la normale presenza della componente erratica tipica delle distribuzioni; solitamente non sono fonte di preoccupazione perché evidenziano la stabilità nel tempo del processo: è un lieve disturbo controllato, frutto della routine, senza una causa assegnabile ma prevedibile.
- Speciali: sono quelle dovute ad eventi non prevedibili e frutto di agenti scatenanti; se non già identificati, diventano oggetto di indagine. La presenza di fattori alteranti diversi dalla normale casualità porta alla conseguenza più grave che è lo scostamento della media: in un istante temporale τ la media non risulta più quella in controllo μ_0 ma diventa μ_1 , se non arriva ad alterare anche variabilità e forma. Questa causa necessita di un immediato intervento correttivo, perché essendo inusuale, la risoluzione porterebbe alla stabilità del processo.

Esistono due macro classi di carte:

- Carte di controllo con memoria, cioè che considerano l'osservazione al tempo t influenzata da quelle al tempo $t-k$;
- Carte di controllo senza memoria, cioè che assumono che l'osservazione al tempo t sia indipendente dalle altre.

Al loro interno si possono suddividere in:

- per variabili;
- per attributi.

Per sorvegliare se il dato risulta in controllo oppure no, vengono poste sul grafico delle rette chiamate LIMITI DI CONTROLLO, che sono scelte in modo tale che se il processo è *in controllo*,

quasi tutti i valori campionari cadranno al loro interno e nessun intervento correttivo sul processo sarà necessario; se un punto invece cade al di fuori di tali limiti, questo dovrà essere interpretato come evidenza del fatto che il processo è *fuori controllo* (OC) e quindi si renderanno necessarie azioni correttive o un'indagine sul processo per individuare ed eliminare le cause che hanno portato all'insorgere di quei fattori specifici (come nel caso dell'osservazione per $t=10$). Il fatto però che un valore sia esterno ai limiti non è sempre allarmante perché potrebbe essersi verificato un falso allarme (o rischio del produttore), cioè una situazione in cui giudico il mio



Grafico 5.2: carta di controllo Shewhart

processo fuori controllo quando in realtà non lo è; allo stesso modo se la statistica è sempre all'interno dei limiti ma presenta una tendenza (assenza di casualità), potrebbe esserci stato un cambiamento nella media del processo e quindi anche senza una vera e propria segnalazione è necessario indagare.

I limiti poi possono essere di due tipi:

- LCL e UCL sono detti limiti di controllo (rispettivamente *Lower e Upper Control Limit*) e sono di tipo stocastico, cioè determinati da una serie di calcoli statistici basati sul rischio di segnalare dei falsi allarmi. Sono posti per svolgere una verifica d'ipotesi che accetta o rifiuta l'ipotesi nulla tale che $\mu_0 = \mu_t$ per ogni istante temporale t ;
- LSL e USL sono detti limiti di specifica (rispettivamente *Lower e Upper Specifical Limit*) e sono di tipo deterministico, cioè stabiliti dal cliente o dalla conformità del materiale, definendo qual è la variabilità che si è disposti ad accettare.

Determino ora qual è l'ampiezza di questi limiti, perché è fondamentale per verificare la stabilità del processo che sto sorvegliando.

Per LSL e USL l'ampiezza non è variabile perché i due vengono posti in base alle esigenze: i modi per stabilirli sono vari, tra cui esigenze del cliente, qualità minima della materia prima, minimo e massimo raggiungibili in termini di capacità del processo, ecc.

I limiti LCL e UCL, invece, hanno una struttura ben diversa. Prima di definirli è necessario capire cosa mi aspetto, cioè determinare quanto efficiente deve essere la carta di controllo.

Definisco α la probabilità di falso allarme (FA), altresì detto "errore di I tipo". Sapendo che w è la statistica test, calcolata sui dati osservati, e H_0 (l'ipotesi nulla) è il valore che voglio che assuma (funge da punto medio e limite di controllo centrale), definisco:

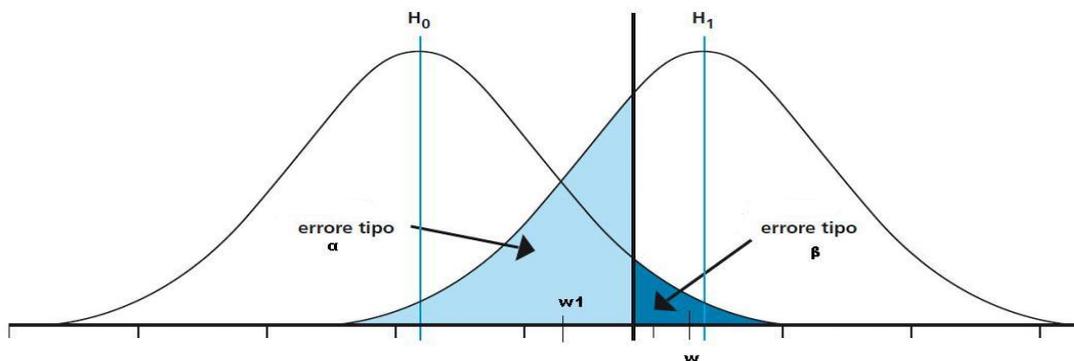
$$\alpha = Pr\{w \notin (LCL, UCL) | H_0\}$$

Questa può essere definita anche come "rischio del produttore", dato che vengono rifiutate unità in realtà conformi.

Esiste poi un altro valore β , "errore di II tipo", dove H_1 (l'ipotesi alternativa) è il valore della nuova media del processo, non in controllo. È esprimibile in questo modo:

$$\beta = Pr\{w \in (LCL, UCL) | H_1\}$$

ed è detto anche "rischio del cliente", perché vengono accettate come conformi delle unità che in realtà non lo sono. Questo evento si può verificare quando la variazione tra H_1 e H_0 è talmente piccola che ci si trova in questa situazione:



Con la lettera w indico il primo caso, cioè l'errore di I tipo, in cui la statistica test cade nella zona di rifiuto della distribuzione sotto H_0 ; con la lettera w_1 identifico il caso dell'errore di II tipo in cui la statistica test cade sì all'interno della zona di accettazione della normale sotto H_0 ma in realtà potrebbe far parte anche di una nuova distribuzione sotto H_1 .

Direttamente collegato poi è l'ultimo fattore, dato da $1 - \beta$, che è definito "potenza del test", perché è la capacità dei limiti di riconoscere un'osservazione in controllo quando lo è veramente.

Sulla base di questi valori, ma soprattutto su quello di α , definisco la RL (*Run Length*), cioè il primo istante in cui la mia statistica test esce dai limiti di controllo. È espresso come:

$$RL_0 = \inf\{t: w_t \notin (LCL, UCL) | H_0\} = \alpha \rightarrow \text{campioni estratti fino ad un falso allarme}$$

$$RL_1 = \inf\{t: w_t \notin (LCL, UCL) | H_1\} = 1 - \beta \rightarrow \text{campioni estratti fino ad un vero allarme}$$

La RL si distribuisce in questo modo: $RL \sim Geom(\alpha)$, dove la distribuzione geometrica è quella che esprime il numero di prove di Bernoulli richieste fino al primo "successo", cioè il verificarsi di un OC.

Allo stesso modo, l'ARL (*Average Run Length*) è il numero medio di punti che devono essere osservati prima che un'osservazione cada al di fuori dei limiti di controllo, per le carte di tipo Shewhart calcolato così:

$$ARL_0 = E[RL_0] = \frac{1}{\alpha} \rightarrow \text{numero medio di campioni tra falsi allarmi}$$

$$ARL_1 = E[RL_1] = \frac{1}{1-\beta} \rightarrow \text{tempo medio di attesa fino ad un vero allarme.}$$

Posso dire che una carta di controllo è *efficiente* quando:

$$\begin{cases} \min ARL_1 \\ \text{s.a. } ARL_0 = C \end{cases}$$

La forza di questa efficienza è data proprio dal valore C , che indica il numero consecutivo di possibili veri allarmi prima che se ne verifichi uno falso: più questo numero è alto, più sono sicura che la segnalazione avvenga solo se reale.

Determinato qual è il valore dell' ARL_0 che voglio ottenere, è possibile definire il parametro che esprime i limiti esatti :

$$\alpha = \varphi(-L) + 1 - \varphi(L)$$

Per esempio, utilizzando un $\alpha=0.002$, avrò un $ARL_0 = 370$ con il valore $L=3$.

La struttura per tutti i limiti di controllo è:

$$UCL_W = \mu_W + L \sqrt{\text{Var}(w)}$$

$$LC_W = \mu_W$$

$$LCL_W = \mu_W - L \sqrt{\text{Var}(w)}$$

6.1.2 CASO SPECIFICO

L'azienda CAREL ha bisogno di sorvegliare la difettosità dei suoi prodotti; per questo motivo quelle da considerare in questo caso sono le *carte per attributi*, basate sul conteggio delle unità difettose anziché su caratteristiche misurabili.

I due indicatori, come già anticipato, hanno conformazioni differenti e perciò avranno bisogno anche di carte diverse.

DPMO

Il DPMO misura il numero di difetti sulle opportunità di difetto. Per associare una distribuzione a questi dati si può dire che $DPMO \sim Poi(\lambda_0 n_t)$, dove il parametro è ignoto e perciò stimato.

La carta utilizzata per questi dati è la **carta u** (di tipo Shewart) che esprime il numero medio di difetti per campioni di ampiezza variabile.

La statistica test di riferimento è:

$$w_t = \frac{D_t}{n_t}$$

E i limiti sono:

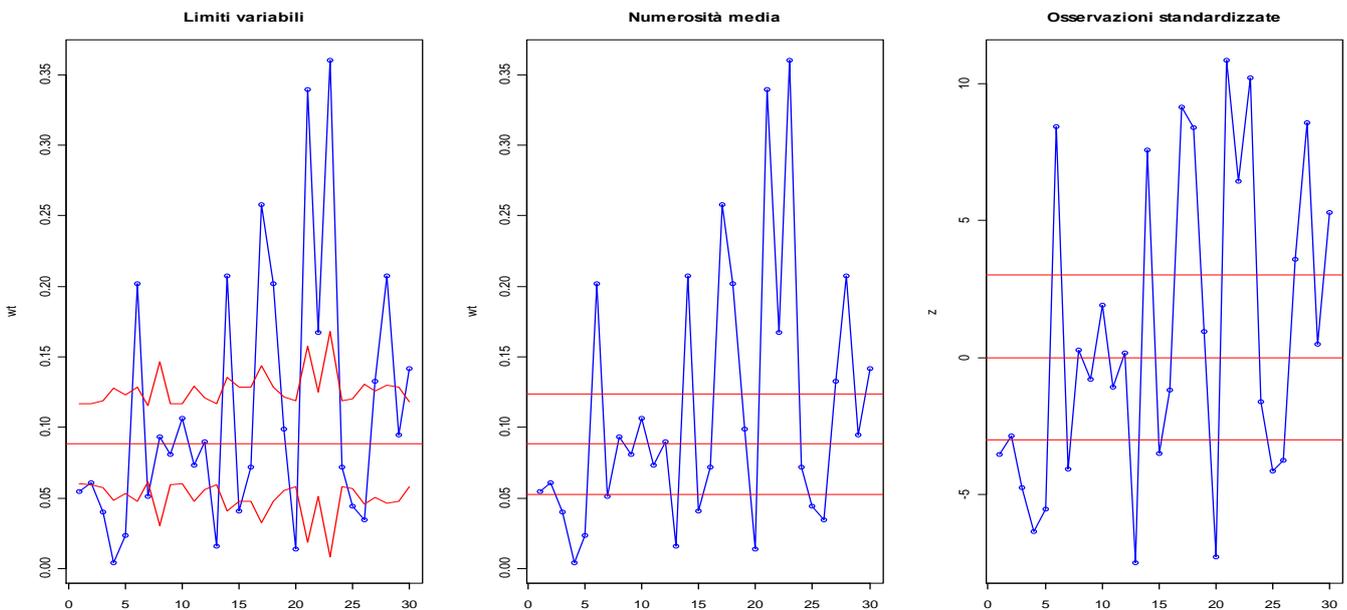
$$LCL = u_0 - L \sqrt{\frac{u_0}{n_t}}$$

$$LC = u_0$$

$$UCL = u_0 + L \sqrt{\frac{u_0}{n_t}}$$

In questo caso, l'ampiezza variabile è dovuta al numero diverso di opportunità su cui è rapportato il numero di difetti, dato che sono calcolate in base alla quantità e al tipo di famiglia del prodotto.

I metodi per risolvere questo problema sono principalmente tre:



- 1) Limiti ad ampiezza variabile: la statistica test e i limiti rimangono con la stessa conformazione, perciò graficamente ogni osservazione al tempo t avrà un limite di controllo basato sulla propria numerosità campionaria;
- 2) Limiti basati sulla numerosità media: per ovviare al problema del numero diverso di opportunità, viene calcolato un n medio che compaia al denominatore dei limiti di controllo;
- 3) Osservazioni standardizzate: la variazione di numerosità campionaria incide non più sui limiti ma direttamente sulla statistica test; le osservazioni vengono standardizzate, cioè al numero di difetti per unità si sottrae la media e il tutto si divide per lo scarto quadratico

medio. I limiti di controllo, a questo punto, saranno i quantili di una normale, quindi (LCL,UCL)=(-3,3).

$$Z_t = \frac{u_t - \bar{u}}{\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_t}}}$$

Tra i tre metodi quello che preferisco è il terzo, osservazioni standardizzate, perché riesce a tenere conto della diversa numerosità campionaria e allo stesso modo risulta immediato e di facile lettura anche a un occhio meno esperto; in ogni caso avrei potuto scegliere uno qualsiasi tra questi.

I limiti fissati ad un livello 3σ sono in questo caso fuorvianti: l'assunzione di incorrelazione tra i dati, sottostante alle carte di tipo Shewhart tradizionali, potrebbe essere scorretta; pertanto, nei capitoli successivi, ho ritenuto necessario studiare l'andamento dell'indicatore valutando un possibile fenomeno di autocorrelazione.

Non conoscendo il vero parametro della distribuzione, devo stimarlo, calcolando il numero medio di difetti che mi servirà per determinare i limiti della carta:

$$\bar{u} = \frac{D_1 + D_2 + \dots + D_t}{n_1 + n_2 + \dots + n_t}$$

Percentuale di difettosità

La percentuale di difettosità, il nuovo indicatore di cui ho parlato nel capitolo 5, misura il numero di schede difettose sul numero di schede prodotte. La variabile è sempre qualitativa per cui la carta per attributi da utilizzare è la **carta p** (di tipo Shewhart), che sorveglia la porzione di unità difettose al tempo t.

La statistica test di riferimento è:

$$w_t = \frac{UD_t}{n}$$

E i limiti di controllo sono espressi in questo modo:

$$LCL = p_0 - L \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$$

$$LC = p_0$$

$$UCL = p_0 + L \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$$

Come nella carta u per i DPMO, anche per la percentuale di difettosità la numerosità campionaria non è fissa: infatti è data dal totale di schede prodotte, che non è di certo uguale in ogni istante temporale t .

Uso il terzo metodo per gestire questa diversità. Le osservazioni quindi vengono standardizzate in questo modo:

$$Z_t = \frac{p_t - \bar{p}}{\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_t}}}$$

Con limiti a 3σ pari a $(LCL, UCL) = (-3, 3)$. Il valore medio della porzione di difetti è

$$\bar{p} = \sum_{i=1}^m \frac{UD_i}{n_i}$$

6.2 INTRODUZIONE ALLE SERIE STORICHE

Una serie storica è una successione di osservazioni su una variabile numerica fatte sequenzialmente nel tempo.

Le serie storiche possono essere di tipo:

- Deterministico: i valori della variabile possono essere esattamente determinati da valori precedenti;

- Stocastico: i valori della variabile possono essere determinati solo parzialmente dalle osservazioni passate, il resto è aleatorio; la forza dell'analisi sta nel valutare come ridurre la parte erratica, sapendo che è impossibile eliminarla.

Il processo generatore dei dati è del tipo $Y_t = f(t) + u_t$, dove il valore del fenomeno al tempo t risulta composto da una parte deterministica, $f(t)$, detta parte sistematica, e una parte stocastica $u(t)$. Esistono due approcci:

- Classico: l'attenzione dell'analisi è focalizzata su $f(t)$, con la valutazione della presenza di componenti quale Trend (T_t), Ciclo (C_t) e/o Stagionalità (S_t), considerando la parte stocastica $u(t)$ distribuita come un *White Noise*, cioè che ha valori in ogni istante temporale del tutto privi di correlazione;
- Moderno: si concentra sulla parte stocastica $u(t)$ del processo generatore dei dati che non assume più distribuito come un processo WN ma a componenti correlate.

La maggior parte delle serie storiche vengono studiate con l'approccio moderno.

Un processo stocastico è caratterizzato dalle relazioni tra le variabili casuali che lo compongono. Per la completa descrizione occorrerebbe specificare la distribuzione di probabilità congiunta $(Y_{t1}, Y_{t2}, \dots, Y_{tn})$ di ogni insieme di istanti t ed ogni valore di n . Ciò è molto complesso e si preferisce descrivere il processo stocastico sulla base dei primi due momenti. Perciò:

- media $\mu_t = E[Y_t]$
- varianza $\sigma_t^2 = var(Y_t)$
- autocovarianza $\gamma_{t,s} = E[(Y_t - \mu_t)(Y_s - \mu_s)]$
- autocorrelazione (ACF) $\rho_{t,s} = \frac{\gamma_{t,s}}{\sigma_t \sigma_s}$

L'autocovarianza è la covarianza tra due variabili casuali del medesimo processo stocastico spaziate tra loro di uno sfasamento temporale pari a $k = |t_2 - t_1|$; di fatto la varianza si può interpretare come autocovarianza con $k=0$, $t=s$. Per interpretare meglio l'autocovarianza è opportuno normalizzare, ottenendo la funzione di autocorrelazione (ACF), che esprime lo stesso concetto ma è un numero puro, cioè esente da unità di misura.

La funzione di autocorrelazione globale (ACF) rappresenta la relazione che c'è tra l'osservazione al tempo t e tutte le precedenti. Esiste un'altra misura, chiamata funzione di autocorrelazione parziale (PACF) che misura la correlazione tra Y_t e Y_{t-k} al netto dell'influenza delle variabili intermedie.

6.2.1 LA PROCEDURA BOX-JENKINS

La procedura Box-Jenkins serve a costruire, a partire dall'osservazione dei dati, un modello ARMA(p,q) atto ad approssimare il processo generatore della serie osservata.

Può essere sintetizzata in quattro passi:

- 1) *Analisi preliminari*: si verifica che non siano presenti outliers e si analizza la stazionarietà della serie; nel caso in cui non fosse stazionaria in media o in varianza, si può procedere con opportune trasformazioni, come l'uso dell'operatore differenza o l'uso della trasformata logaritmica di Box-Cox.
- 2) *Identificazione*: grazie allo studio sulle autocorrelazioni globali e parziali (rispettivamente ACF e PACF), si può capire qual è il modello generatore dei dati; un'alternativa possono essere dei metodi di identificazione automatici.
- 3) *Stima di parametri*: una volta identificato il modello, i parametri possono essere stimati grazie al metodo dei momenti, ai minimi quadrati o alla stima di massima verosimiglianza.
- 4) *Diagnostica*: per valutare la bontà del modello è necessario controllare la significatività dei parametri, la stazionarietà e invertibilità del processo, la parsimonia per evitare sovra parametrizzazione, e non ultimo effettuare l'analisi dei residui; per questa, si valuta l'incorrelazione dei residui, soprattutto ai primi ritardi e se ne ha una conferma con il test di Ljung-Box, che per valori di $\alpha > 0,05$ rifiuta l'ipotesi di significatività della correlazione.

6.3 CARTA PER I DEMERITI

Se un prodotto è particolarmente complesso i difetti possono essere classificati in tipologie o classi di difetto, in quanto non tutte le difettosità hanno lo stesso peso nella valutazione della qualità complessiva del prodotto finito, né la presenza di alcune classi di difetto porta necessariamente a classificare l'oggetto non conforme.

Per questo motivo è possibile classificare, in quante categorie è necessario, i tipi di difetto, assegnando loro un peso in base all'importanza che assumono per una determinata caratteristica: utilizzando la frequenza, avrà peso maggiore la difettosità che si presenta più frequentemente;

utilizzando il concetto di che tipo di perdita viene arrecata all'azienda, sarà assegnata una ponderazione più alta al difetto che genera maggiore perdita.

Siano dati $c_{iA}, c_{iB}, c_{iC}, c_{iD}$ rispettivamente il numero di difetto della classe A, B, C e D osservati nella i -esima unità e si ipotizzi che ciascuna classe di difetto si manifesti indipendentemente dalle altre e sia ben descritta da un modello di Poisson. Assegno i pesi rispettivamente 100, 40, 10 e 1 in base alla gravità della variabile prescelta. È definito il numero di *demeriti* delle unità ispezionate in questo modo:

$$d_i = 100c_{iA} + 40c_{iB} + 10c_{iC} + c_{iD}$$

Supponendo che ogni unità statistica non abbia lo stessa numerosità campionaria, il numero di demeriti è così descritto:

$$u_i = \frac{\sum d_i}{n}$$

Poiché u è una combinazione lineare di variabili casuali di Poisson, la statistica u_i può essere rappresentata da una carta di controllo con i seguenti parametri:

$$UCL = \bar{u} + 3\hat{\sigma}_u$$

$$LC = \bar{u}$$

$$LCL = \bar{u} - 3\hat{\sigma}_u$$

Dove

$$\bar{u} = 100\bar{u}_A + 40\bar{u}_B + 10\bar{u}_C + \bar{u}_D$$

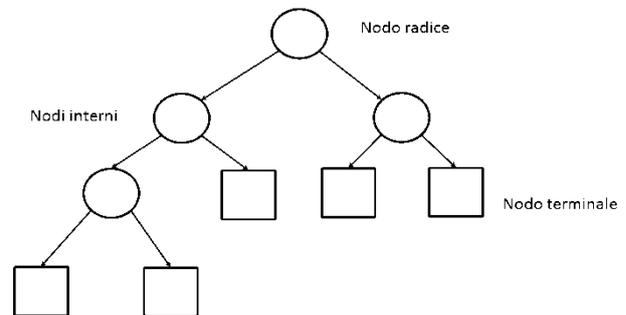
e

$$\hat{\sigma}_u = \sqrt{\frac{100^2\bar{u}_A + 40^2\bar{u}_B + 10^2\bar{u}_C + \bar{u}_D}{n}}$$

6.4 DIAGRAMMI AD ALBERO

La regressione ad albero è una tecnica esplorativa non parametrica utilizzata per mettere in evidenza la struttura intrinseca dei dati e per risolvere problemi di classificazione in presenza congiunta di variabili qualitative e quantitative.

In generale, considerato un collettivo di N individui su cui si osservano M variabili esplicative ed una variabile risposta, si vuole individuare una partizione della popolazione in esame in gruppi omogenei al loro interno e quanto più differenziati dagli altri mediante una successione di partizioni dicotomiche di tipo gerarchico.



Un diagramma ad albero è un processo ricorsivo di segmentazione binaria che, ad ogni passo, taglia (o segmenta) un nodo interno (nodo padre) in due nodi (nodi figli) a loro volta interni o terminali.

La composizione è data da tre elementi:

- Una radice (root): nodo di partenza dell'albero;
- Una regola di divisione (split): stabilisce il criterio in base al quale si creano nuove diramazioni;
- Foglie (leaf): nodo terminale dell'albero.

I vantaggi di questa tecnica sono:

- Si può modellare le variabili risposta qualitative con più di una categoria;
- È più facile da interpretare in presenza di variabili esplicative continue e categoriali;
- Coglie vari effetti di interazione tra i predittori;
- Evidenzia eventuali comportamenti non additivi.

L'idea generale è che la partizione dello spazio delle variabili deve essere tale che ciascuna regione della divisione sia il più omogenea possibile, cioè che sia minima l'impurità del nodo.

6.5 MATRICE S.W.O.T.

Per fare l'analisi tra i due indicatori mi sono servita di un metodo chiamato Matrice S.W.O.T.: è una tecnica usata in campo economico per sintetizzare tutti gli aspetti di una decisione da prendere.

La matrice è formata da quattro nuclei:

- **STRENGTHS** (punti di forza);
- **WEAKNESSES** (punti di debolezza);
- **OPPORTUNITIES** (vantaggi)
- **THREATS** (svantaggi)

La struttura permette di valutare, sia per i motivi legati all'organizzazione che all'esterno, al meglio una decisione da prendere senza tralasciare nessun aspetto, che esso sia negativo o positivo.

Capitolo 7

ANALISI DEI DUE INDICATORI

7.1 DATI A DISPOSIZIONE

In CAREL il passaggio dall'indicatore DPMO alla percentuale di difettosità è avvenuto circa all'inizio del 2012. Per questo motivo, i dati rilevano aspetti negativi e positivi: ho la possibilità di avere un periodo contemporaneo dato che il DPMO è servito come controllo della correttezza e della coerenza del nuovo indicatore; allo stesso modo, il passaggio ha portato a una minore tempestività data la costrizione all'inserimento manuale delle osservazioni. Per quanto ora il valore della percentuale di difettosità sia giornaliero, per questa analisi utilizzerò dei dati settimanali per poter applicare il confronto.

Per indicare l'istante temporale uso questa simbologia:

il primo dei due numeri esprime il numero della settimana, nel senso di settimane trascorse dall'inizio dell'anno in questione; il secondo mostra le ultime due cifre dell'anno di riferimento della raccolta del dato.

SETTIMANA ANNO
25/11

Per il DPMO ho dei dati che partono dalla settimana 13/11 fino alla 8/13; per la percentuale di difettosità le osservazioni cominciano la 1/12 e terminano sempre la 8/13.

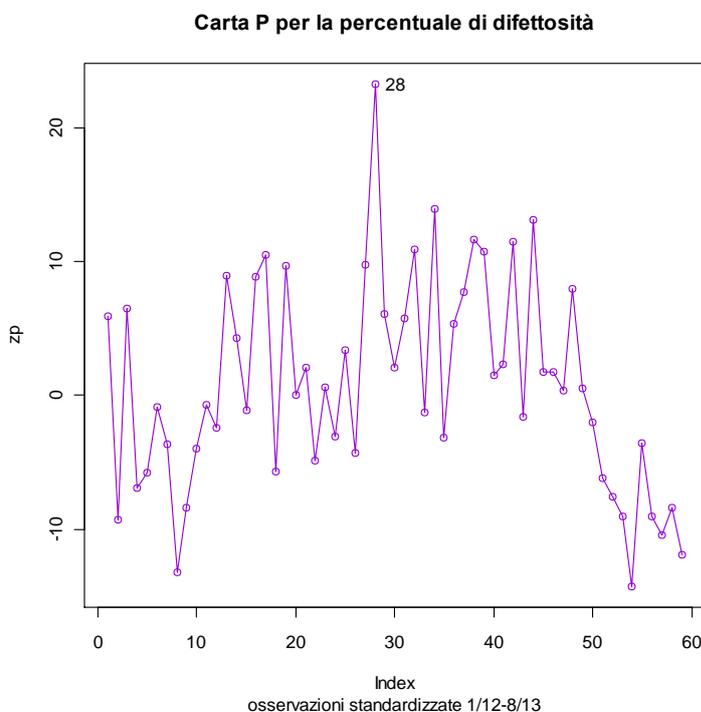
I dati raccolti, in ogni caso, appartengono solamente a una delle tre *Value Stream*, la Parametrici, perché è la più ricca a livello di osservazioni; essendo quella che viene presa di riferimento in occasione di cambiamenti sperimentali, è l'unica che può conservare uno storico così indietro nel tempo e completo.

7.2 ANALISI ESPLORATIVA

7.2.1 PERCENTUALE DI DIFETTOSITÀ

Come già anticipato, per lo studio del nuovo indicatore, utilizzo una carta di controllo per attributi chiamata carta p, che sorveglia la porzione di unità difettose.

Ogni osservazione è un valore della percentuale di difettosità calcolata come rapporto tra il numero di difetti e le unità completate, come da formula (1). La numerosità campionaria è data, appunto, dalle schede completate e gli scarti; è, quindi, di per sé variabile.



La prima cosa che emerge guardando questo grafico è che la percentuale di difettosità non presenta un andamento casuale: guardando nel lungo periodo, sembra che la parte iniziale e la parte finale della serie (entrambe corrispondenti all'inizio dell'anno) presentino una porzione minore di schede difettose rispetto alla parte centrale (quasi come ci fosse una componente ciclica). Valutando il breve periodo, l'osservazione al tempo t ha andamenti simili al quella al tempo $t-1$ o $t-2$, sintomo di un fenomeno di *clusterizzazione*. Con il termine *cluster* si intende: un gruppo di unità similari o vicine tra loro dal punto di vista di omogeneità tra i membri. In pratica ammettere la presenza di questo aspetto sottintende il rifiuto dell'ipotesi d'indipendenza tra le osservazioni: il numero di schede difettose del giorno t dipende da quello del giorno $t-k$.

Proprio per questi motivi nel grafico non mi sembra idoneo mostrare i limiti di controllo standard. L'ipotesi su cui si fonda l'attendibilità della carta di controllo utilizzata è che le osservazioni presenti siano incorrelate tra loro: l'andamento della spezzata lo mette in dubbio; la percentuale di statistiche fuori controllo se i limiti fossero fissati a 3σ sarebbe del 71,2%.

Indagherò successivamente al confronto tra i due indicatori, se esiste effettivamente autocorrelazione e qual è il modello che si può adattare.

Al di là di queste osservazioni, è interessante valutare le origini del punto massimo della serie, quel valore alla settimana 28.

Per capire quale potrebbe essere stato il motivo di una percentuale di difettosità così alta ho cercato il dato nello storico, valutando se quell' *outlier* è derivante da una causa comune o da una causa speciale.

<i>data type</i>	<i>week</i>	<i>day</i>	<i>quantity</i>	<i>reason</i>	<i>process family</i>	<i>pcbflag</i>
DEFECTIVE	28	11/07/2012	20%	FORNIT INTERNO	n	Y

Dall'indagine è emerso che nella settimana 28 ci sono state 20% di difettosità sul totale della settimana che hanno coinvolto un circuito stampato divenute poi scarto (dato che si tratta di un *defective*) per un errore nel processo **n** (montaggio dei componenti SMD). Da come è identificata però la causa si capisce che ci si è accorti dell'errore solo nel momento in cui queste schede sono arrivate nella linea di montaggio dei componenti PTH.

Il valore così alto non deve stupire: le difettosità create da processi antecedenti a quelli finali sono molto numerose perché ci si accorge degli errori più spesso a posteriori che nel momento in cui si creano.

7.2.2 DEFECTIVE PER MILLION OPPORTUNITIES (DPMO)

Per sorvegliare il numero di difetti per opportunità, utilizzo la carta di controllo per attributi chiamata carta u, proprio come è stata descritta nel capitolo 6.

Per calcolare questa statistica test, ho bisogno di fare una precisazione.

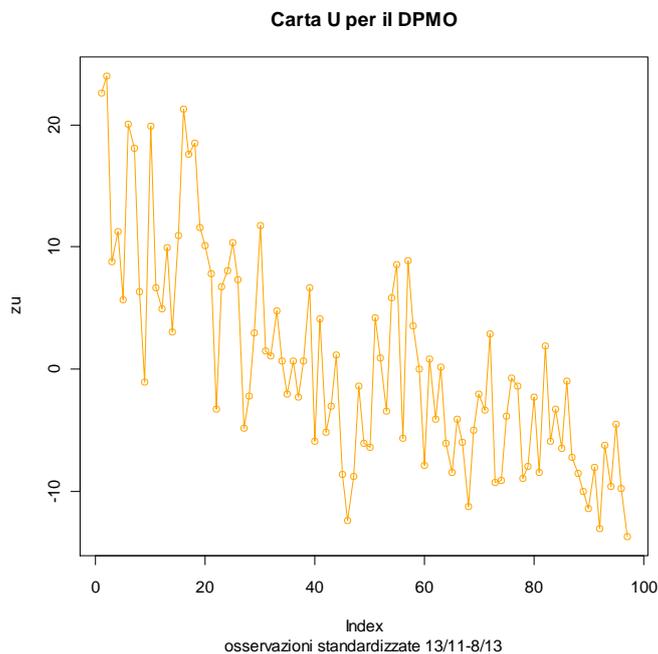
Nel capitolo 5 ho specificato come l'azienda abbia ritenuto più rappresentativo utilizzare un KPI chiamato OMI, che aggrega in modo non lineare le varie tipologie di difetto.

Per riuscire successivamente a confrontare i due indicatori, invece, definirò il numero di difetti come la somma tra le tre tipologie di difetto (terminazioni, componenti e posizionamento) e il numero di opportunità come la somma tra queste:

$$\begin{cases} D = D_t + D_c + D_p \\ O = O_t + O_c + O_p \end{cases} \rightarrow DPMO = \frac{D}{O} * 10^6$$

La composizione è molto simile a quella della percentuale perché considera tutte le difettosità ugualmente incidenti e perciò ne utilizza semplicemente la somma.

Considero tutto l'arco temporale a mia disposizione, e questa è la carta di controllo che ne risulta:



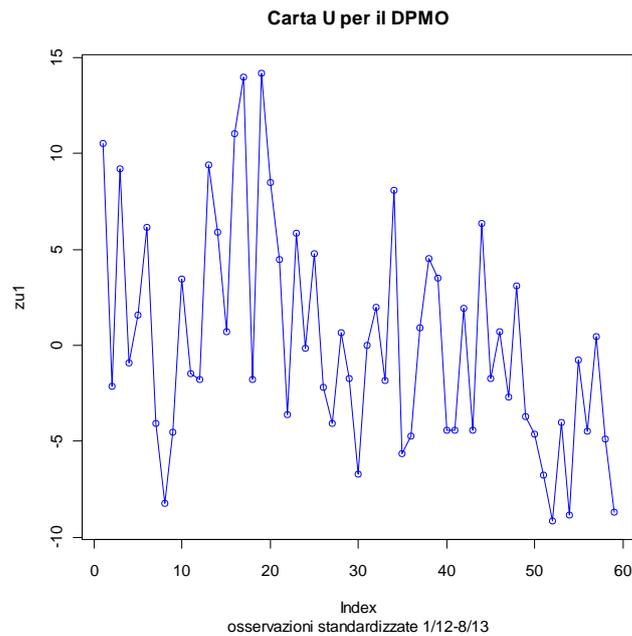
Ciò che salta subito all'occhio è la presenza di una forte tendenza: all'inizio del periodo osservato, quindi per i dati meno recenti, il valore del DPMO è particolarmente alto e cala pesantemente alla fine della serie. Se di primo acchito questo può sembrare un riscontro positivo, in realtà mostra come ci sia dipendenza nel lungo periodo tra le osservazioni al tempo t e al tempo $t-k$. Nel breve periodo la situazione non cambia: come per la percentuale di difettosità osservazioni vicine nel tempo hanno andamenti simili, ad indicare che è presente una clusterizzazione dei dati.

Anche in questo caso, e forse in maniera più evidente, la supposta autocorrelazione tra i dati non mi permette di considerare attendibili i limiti di controllo standard, visto che a 3σ la percentuale di valori fuori controllo è del 75,3%. Se non avessi ipotizzato la non indipendenza delle osservazioni avrei giudicato la variabilità dell'indicatore estremamente elevata.

L'importanza di questa analisi sta nel mettere a confronto i due indicatori sottolineandone le criticità e i pregi di entrambi.

Per questo motivo rendo confrontabili i due valori: per la scala di misurazione dei dati non ci sono problemi dato che ho utilizzato dei dati standardizzati; l'unico fattore discordante è l'arco temporale preso in considerazione.

Circoscrivo, quindi, i dati per l'indicatore DPMO al periodo dal 1/12 al 8/13 e valuto il grafico che ne risulta:



La tendenza riscontrata nel periodo completo è ancora presente anche se in un arco temporale più ridotto non è così accentuata: nel primo periodo il valore del DPMO è più alto rispetto alle osservazioni finali, per quanto ogni dato dovrebbe essere indipendente dagli altri.

Ovviamente, non avendo fatto alcuna alterazione dei dati, ma avendo preso solo un periodo ridotto, il fenomeno della clusterizzazione nel breve periodo è rimasta.

7.2.3 AUTOCORRELAZIONE

Alcune carte di controllo (come nel caso delle Shewhart) partono dall'assunzione che tutte le statistiche test w_t siano indipendenti, quindi incorrelate tra loro; altre, invece, tengono conto del fenomeno di autocorrelazione aggiustando i limiti di controllo adeguatamente. Le carte p e u utilizzate fino ad ora sono del primo tipo.

Analizzando il grafico di entrambi gli indicatori si possono notare una forma di tendenza decrescente e dei cambi di livello, ad indicare che ci possa essere autocorrelazione tra i dati e/o che ci sia stato un istante temporale in cui è avvenuto un cambio della media del processo da μ_0 a μ_1 . Essendo questa una fase per lo più esplorativa, anche se ho notato entrambi i fenomeni, approfondisco solo l'ipotetica autocorrelazione dei dati sia della percentuale di difettosità che del DPMO (utilizzerò i risultati nei capitoli successivi).

In entrambi i casi ho svolto tutti i passi della procedura Box-Jenkins, i cui risultati sono presenti in appendice A:

- ho fatto un'analisi esplorativa valutando il grafico delle serie storiche e le ACF e PACF; dato che l'andamento non mi permetteva di accettare la stabilità in media, ho usato la differenziazione prima di procedere alla stima;
- i grafici delle autocorrelazioni mi hanno suggerito di provare ad adattare un IMA(1,1), ottenendo le stime con il metodo della massima verosimiglianza;
- per vedere se il modello è adattato bene ho fatto un controllo diagnostico dei residui e ho accettato l'ipotesi del test di Ljung-Box che fossero distribuiti come dei White Noise.

7.3 CONCLUSIONI

La presenza di autocorrelazione dei dati mette in evidenza alcuni aspetti: il fatto che gli indicatori presi al tempo t siano influenzati dai valori precedenti, mostra come la variabilità della difettosità sia condizionata da fenomeni diversi dalla casualità; se avessi avuto la possibilità di risalire allo storico degli eventi verificatosi nei periodi con osservazioni clusterizzate, probabilmente avrei trovato un fermo macchina, o un periodo di nuove assunzioni, o simili.

Allo stesso modo, condurre un'analisi sulla percentuale di difettosità senza avere prima valutato la presenza di autocorrelazione tra i dati potrebbe portare a dati meno attendibili (per la composizione della carta).

L'azienda è abituata a vedere i dati relativi alla difettosità sotto forma di grafico, ma solo con l'utilizzo dei dati puri ordinati temporalmente; perciò, per la fase di esplorazione e confronto, ho deciso di scoprire solamente se esisteva autocorrelazione ma utilizzare per le indagini successive i dati originari.

Capitolo 8

CONFRONTO TRA KPI

Dopo aver analizzato i due indicatori, è tutto pronto per fare un vero e proprio confronto diretto e capire quali sono i punti di forza e i punti di debolezza di entrambi.

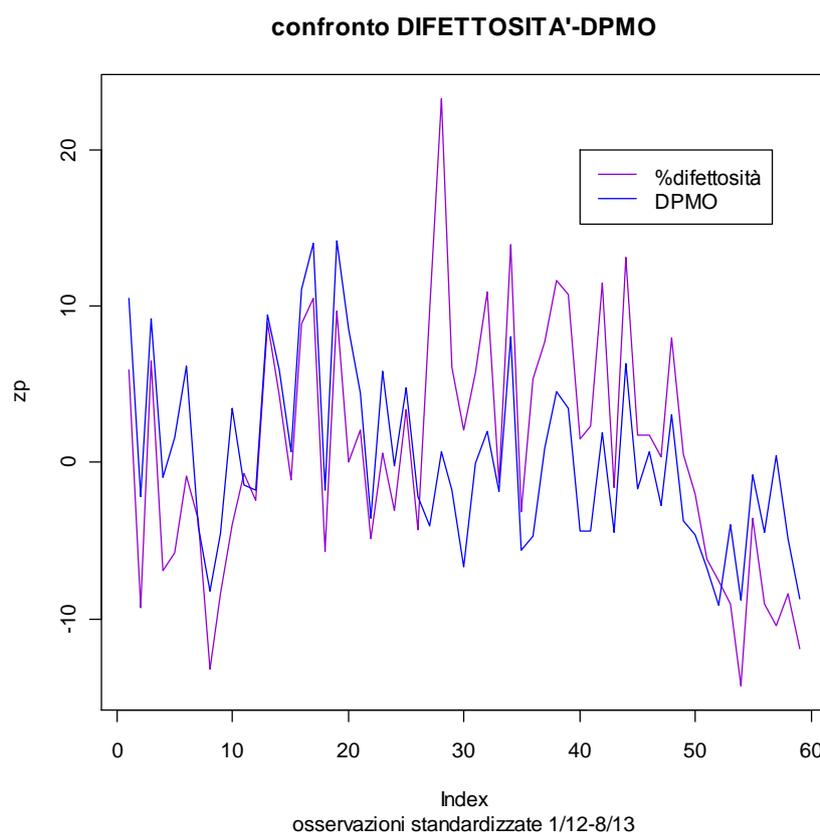
Mi può essere molto utile fare intanto un confronto grafico, sovrapponendo la carta di controllo del DPMO con quella della percentuale di difettosità.

8.1 CONFRONTO GRAFICO

Osservando il grafico, si può vedere come in certi periodi il DPMO abbia un livello più alto rispetto alla percentuale di difettosità. Non è difficile immaginare che in quelle settimane ci siano stati più di un difetto per

circuito stampato e quindi l'indicatore sia riuscito a cogliere anche questa informazione che la percentuale di difettosità non è in grado di percepire. Il fatto che l'elenco di processi che causano difettosità non sia completo si può notare: i momenti in cui la percentuale di difettosità supera il DPMO sono quelli in cui si verificano tipologie di difetti considerati solo dal primo; questo è per l'azienda un fattore molto importante perché dà la

possibilità di tenere sotto controllo tutto ciò che succede in produzione senza tralasciare alcun aspetto. In alcuni momenti la percentuale è superiore all'indicatore basato sulle opportunità, che non è per forza una migliore rappresentazione: possono esserci stati difetti derivati da processi che



il DPMO non considera, ma può anche essere che per ogni scheda ci sia stato solo un difetto e che la percentuale di difettosità abbia considerato pari i circuiti stampati con un difetto e quelli con più di dieci.

Inoltre dal grafico si può notare come in periodi che hanno un DPMO alto ci sia invece una sottostima della percentuale di difettosità; questo è dovuto al modo di raccogliere il dato, che non tiene conto se ci sono più difetti sulla stessa scheda, ma considera solo se è conforme o no.

8.2 CONFRONTO FINALE

Valuto ora tutti gli aspetti di questo indicatore, che siano essi di tipo statistico, o che siano legati al beneficio per l'azienda.

8.2.1 PUNTI DI FORZA E VANTAGGI DEL DPMO

L'indicatore che sorveglia il numero di difetti per milioni di parti ha, come suo primo e grande punto di forza, quello di presentare un dato molto preciso e coerente con il vero andamento del processo: infatti è possibile risalire a quanti difetti ha un circuito stampato al suo interno, potendo capire anche in che parte della scheda si è verificato. È molto utile perché, in caso di problemi sistematici, non è necessaria nessuna indagine aggiuntiva.

I prodotti CAREL sono molto complessi, ricchi di componenti e lavorazioni che possono portare a difettosità; avere un indicatore che tenga conto di questo usando le opportunità come pesi rende merito al prodotto e non lo penalizza.

L'indicatore è suggerito dalla norma IPC per valutare la qualità dei processi che riguardano i circuiti stampati. Proprio per questo motivo molte aziende del settore adottano il DPMO, esponendo un dato in ordine di PPM (*Part Per Million*) e potendo confrontare e dimostrare un livello di qualità che sia comparabile con quello delle altre.

8.2.2 PUNTI DI DEBOLEZZA E SVANTAGGI DEL DPMO

Nei grandi punti di forza del DPMO, come la capacità di cogliere ogni dettaglio sulla difettosità del processo, si celano anche i suoi punti di debolezza. Il fatto che per ogni scheda sia necessario riportare il numero esatto di difettosità implica che di supporto ci debba essere un *database* che

riporti in modo preciso tutte le opportunità di difetto presenti sul circuito stampato, e non solo per famiglia, ma per ogni codice che viene prodotto.

Questo causa una forma di rigidità verso il cambiamento, dato che l'introduzione di un prodotto nuovo porterebbe al dispendioso calcolo delle opportunità presenti: la complessità dei prodotti CAREL non agevola un conteggio così minuzioso delle possibilità di difetto; essere flessibili verso il cambiamento è una linea guida che l'azienda ha deciso di seguire per essere sempre all'avanguardia e per non rimanere statica di fronte ai progressi del mercato e della tecnologia.

Guardando alla vera e propria raccolta è difficile segnare, e poi inserire nel database, i dati di giornata in maniera tempestiva e precisa. Durante il completamento dell'ordine di lavoro, agli operatori era stato chiesto di segnare sul rapporto giornaliero di produzione il numero di difetti trovati sul circuito stampato, distinti per tipologia di difetto (terminazioni, componenti e posizionamento). Il fatto che fosse effettuato durante il turno alimentava il rischio di non segnare correttamente: sorvegliare la qualità in azienda è molto importante ma deve relazionarsi con la capacità di rispettare gli accordi presi con i clienti in termini di consegna, quindi, efficienza nella produzione. Dopo aver segnato i dati, ogni chiusura di ordine di lavoro, doveva essere inserita nel sistema CAREL JOB per poter poi essere elaborata. Finché il carico di lavoro per cliente era composto da centinaia di pezzi, caricare i dati nel software, incideva in maniera irrisoria sul rendimento della linea. Le esigenze del mercato e il periodo di crisi hanno fatto sì che anche la produzione si adattasse ad un cambio *set up* molto rapido per lotti meno numerosi: in questo modo caricare la quantità di difetti ad ogni fine ordine di lavoro era molto più frequente e quindi gravava di più sul tempo della produzione.

Tutto ciò ha portato a eliminare il sistema di inserimento dalle linee e ad affidare il lavoro a un responsabile in grado di rendere il dato disponibile solo a scadenza settimanale: è logico che in caso di difettosità sistematiche non può che esserci un'azione correttiva e non preventiva, organizzata fino a una settimana di distanza dalla presentazione del problema.

Volendo elencare gli svantaggi del DPMO, cioè quei fattori che limitano i benefici dell'azienda verso l'esterno, emergono due fattori: un dato di difficile lettura e una visione limitata della realtà aziendale.

Per quanto la CAREL debba confrontarsi con aziende del suo settore in termini di concorrenza o di clientela, non si può di certo pretendere che tutti gli *stakeholders* sappiano interpretare gli indicatori nel giusto modo. Esprimere una porzione di difettosità come parti per milioni non è detto che risulti chiaro a tutti coloro che hanno bisogno di venire a conoscenza di questo dato, perché ci vuole una certa dimestichezza nell'interpretazione.

Ciò che però ha inciso di più sulla scelta di cambiare tipo di indicatore è stata la visione limitata del DPMO: segnalando solamente i difetti derivati da componenti, terminazioni e posizionamento si perde l'informazione di tutte le altre cause di spreco.

In una realtà *lean*, in cui non esistono più dei processi consequenziali, ma c'è un flusso su cui i centri di competenza operano come ausiliari, l'azienda ha ritenuto necessario adattare soprattutto l'area produttiva. Considerare solamente tre delle cause di difetto non permette di sorvegliare tutta la situazione aziendale. Le cause di difettosità sono molteplici: si va da quelle riscontrate in linea, come la rottura accidentale del circuito stampato; a quelle provocate con la movimentazione, o con l'accettazione di materiale non conforme. Tener conto anche di questo dato può essere molto utile all'azienda perché in queste categorie extra DPMO rientrano i difetti per cause speciali, che solitamente quando accadono creano molte difettosità in un solo colpo.

8.2.3 PUNTI DI DEBOLEZZA E SVANTAGGI DELLA PERCENTUALE DI DIFETTOSITÀ

Decidere di non considerare la quantità di difetti per circuito stampato ma rendere questa variabile dicotomica in termini di conforme o non conforme implica una perdita considerevole di informazioni. Dal punto di vista statistico se è presente più di una difettosità è difficile decidere con sicurezza se il processo è in controllo o meno; dal punto di vista aziendale, che un circuito stampato presenti una o più difettosità influisce sulla "qualità" in diverso modo: avere uno o cinque corti circuiti da rilavorare incide diversamente sia in termini di tempo che come bontà del prodotto finito. L'intesa tra CAREL e le aziende che operano nel settore elettronico può essere difficile se queste ultime adottano indicatori standard suggeriti dalla normativa IPC; è necessario perciò far capire agli interessati in che modo è costruita la percentuale di difettosità e quali sono i valori presi in considerazione.

Molto spesso però il motivo per cui le aziende esterne chiedono il dato sulla qualità della produzione è per fare paragoni nel settore o all'interno del segmento di mercato. Nel caso in cui l'azienda richiedente non accetti il nuovo indicatore è molto difficile per CAREL riuscire a convertire il dato perché sia confrontabile con l'OMI a causa delle modalità di raccolta dati.

8.2.4 PUNTI DI FORZA E VANTAGGI DELLA PERCENTUALE DI DIFETTOSITÀ

L'aspetto principale che ha portato al cambiamento nel calcolo e nella raccolta dei dati è la visione dell'azienda globale, e non divisa per funzioni. Proprio per questo motivo: avere a disposizione un

indicatore che non è in grado di cogliere tutte le tipologie di difetto, ma solo tre, non soddisfaceva l'azienda.

Con la percentuale non è più possibile tener conto di quante difettosità ci sono per circuito stampato ma c'è l'opportunità di sapere qual è il tipo verificatosi.

Per questo è stato utilizzato come supporto il diagramma di Pareto, cioè un grafico che mostra le frequenze cumulate dei tipi di difettosità (che ho mostrato in dettaglio nel capitolo 3): lo scopo è quello di valutare una percentuale che esprima qual è l'andamento generale del processo e che entri nel dettaglio solo in caso di necessità. Nel ridurre la difettosità di un processo si agisce sempre con l'obiettivo di abbassare il valore complessivo; con il DPMO non c'era questo tipo di interazione tra le tipologie e spesso poteva capitare di migliorare un processo e peggiorarne un altro di riflesso. Considerare questa scomposizione dell'indicatore è servita sia per il miglioramento continuo che per evitare che il cambiamento fosse drastico: il punto di collegamento sta nella comunanza tra i tipi di difetto DPMO e la scomposizione con il diagramma di Pareto della percentuale di difettosità.

In confronto al vecchio indicatore, il nuovo KPI è più rapido da calcolare e più versatile. Essendo un rapporto schede su schede, perde tutta quella complessità legata all'assegnazione delle opportunità per codice; il calcolo può essere effettuato rapidamente e non necessita di quel database da cui si ricavava il DPMO.

In questo modo la percentuale di difettosità si presenta molto versatile per cambiamenti nel caso di introduzione di nuovi codici perché è escluso il calcolo delle opportunità, dato che il denominatore della formula è formato solo dalle schede prodotte.

Grazie anche a nuovi sistemi che sono sempre più automatici e tempestivi, il dato sul numero di difetti per scheda viene raggruppato per codice e segnato in un rapporto giornaliero di produzione: a fine giornata o turno, e non più a fine ordine di lavoro, gli operatori caricano il numero di difetti in CAREL JOB così da poterlo fare fino a un massimo di due volte al giorno e avere subito tutto pronto e a disposizione anche con frequenza giornaliera. I dati durante la notte girano nel sistema e sono disponibili il mattino seguente per essere confrontati e esaminati dai *Value Stream Leader* e tutte le persone che ne hanno interesse. In questo modo, nel caso di una situazione allarmante, l'azione correttiva può essere pianificata non più tardi del giorno lavorativo seguente (anziché il limite di una settimana del DPMO).

Il valore risultante dalla percentuale di difettosità è comprensibile in maniera intuitiva da persone competenti e non. Descriverlo come un rapporto tra i circuiti stampati che hanno subito una rilavorazione e quelli prodotti nel periodo temporale prestabilito permette di fare anche delle rapide stime, essendo la percentuale il metodo di sintesi più utilizzato in azienda.

Capitolo 9

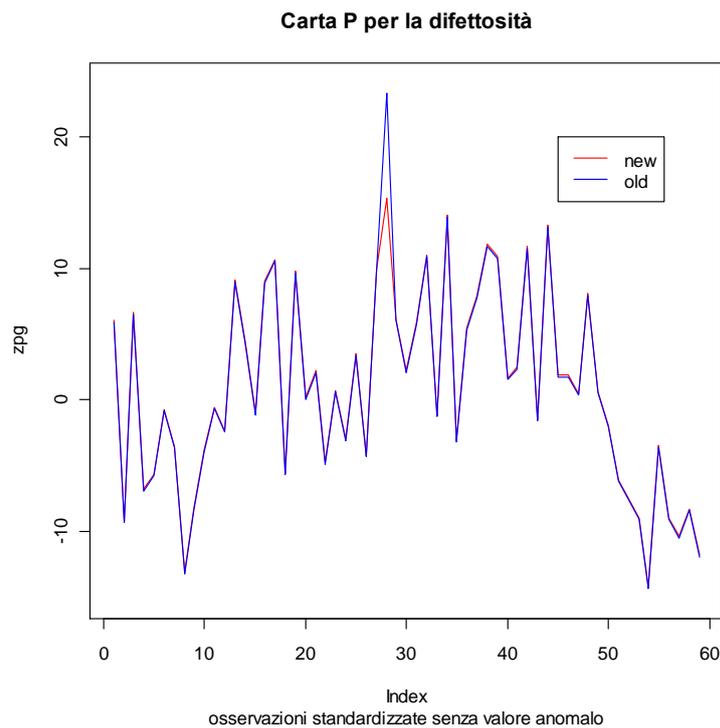
APPROFONDIMENTI SULLA PERCENTUALE DI DIFETTOSITÀ

9.1 ELIMINAZIONE VALORE ANOMALO

Come prima parte dell'analisi, è interessante capire quanto influisce il valore anomalo verificatosi la settimana 28/12 sulla struttura della carta di controllo.

Per questo motivo, con un nuovo *dataset* senza la presenza di quel numero (nel capitolo 7 identificati nel 20% dei pezzi), provo a disegnare un'ulteriore carta di controllo e vedere se la differenza tra le due è significativa.

Grazie al fatto che i dati sono standardizzati e quindi confrontabili, sovrappongo i due grafici e vedo quali sono le differenze:



Come è facile notare, non esistono differenze sostanziali tra le due carte: il valore all'osservazione 28/12 è diminuito (come ci si poteva aspettare), ma questo non ha cambiato la situazione.

La sovrapposizione non è perfetta, quindi qualcosa è migliorato ma non ho potuto riscontrare nulla di significativo.

9.2 CARTA PER I DEMERITI

La carta di controllo per i demeriti è un tipo particolare di carta u che considera i difetti con diverso peso in base al criterio che si decide di adottare.

Affronto nuovamente lo studio sulla percentuale di difettosità utilizzando dei pesi per i difetti in base a due caratteristiche: frequenza e perdita.

9.2.1 FREQUENZA

Come dice il termine, i pesi assegnati in base alla frequenza si fondano sul concetto che se una difettosità è sistematica è più grave perché non si è ancora stati in grado di attenuarne la comparsa; se un difetto invece si presenta solo sporadicamente non avrà molto peso perché trattasi quasi di una casualità. Per questo motivo sono stati pesati i processi (qui nominati dalla **a** alla **s** per riservatezza) con quattro valori posti in ordine decrescente come è la loro gravità:

CLASSE	PESO	CLASSIFICAZIONE	PROCESSI
A	100	Molto frequenti	l
B	40	Frequenti	a, k, n, q
C	10	Rari	p, o, s, j
D	1	Molto rari	g, c, m, i, b, d, r, h

Il confronto diretto tra la nuova carta e la percentuale di difettosità originaria è ben rappresentato dal grafico 9.1

In linea generale non esiste una diminuzione della variabilità dell'indicatore, ma si mantiene sostanzialmente allo stesso livello della carta di partenza: la serie storica è guidata dalla presenza o meno dei processi della classe A e B.

Molti picchi positivi sono non solo confermati ma addirittura ancora più significativi nella carta dei demeriti che nella carta p, ad indicare che spesso la causa del livello dell'indicatore alto è la presenza di processi

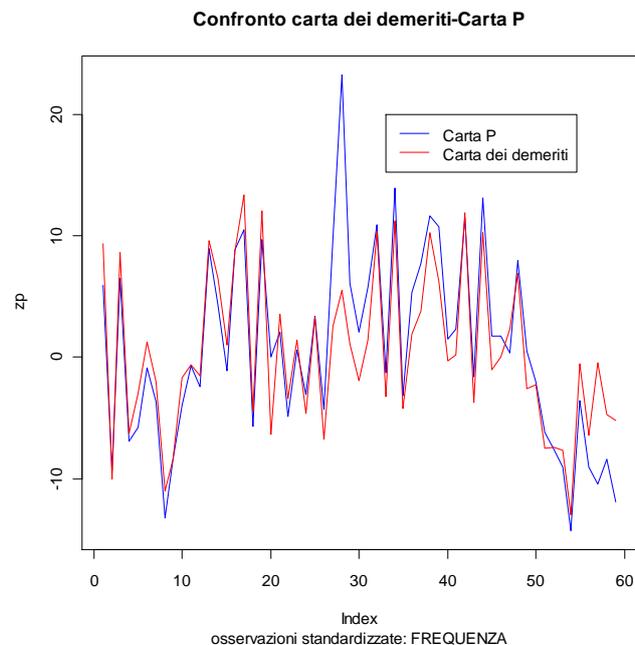


Grafico 9.1: carta dei demeriti: FREQUENZA

persistentemente difettosi.

In alcuni casi si può vedere come la percentuale di difettosità registri un picco che non viene riconosciuto anche nell'altra carta: probabilmente un valore originario così alto è stato causato da un processo la cui frequenza è limitata. Il chiaro esempio di questo fenomeno si può vedere all'osservazione 28: il fatto che il valore sia decisamente minore rispetto a quello della carta p indica che in quella occasione si sono verificate difettosità solitamente rare.

Ciò che mi ha spinto a pensare a un sistema di ponderazione basato sulla frequenza dei processi causa di difettosità è la politica legata ai piani di miglioramento.

Come ottica aziendale, i processi che meritano di essere sorvegliati sono quelli che producono più difettosità perché in questo modo, una volta migliorati, la riduzione sulla percentuale totale sarà più significativa. Osservando il grafico della carta dei demeriti basata sulla frequenza non si può che appoggiare questa teoria: a parte qualche raro esempio, non esistono brusche variazioni della variabilità tali da farmi pensare che siano i processi meno frequenti (ma più incisivi se si verificano) a guidare l'andamento.

Osservare questa carta piuttosto che quella originale non è molto differente se non per il fatto che quella dei demeriti può essere considerata una specie di "filtro" per le elevate quantità dei difetti causati dai processi più rari.

9.2.2 *PERDITA*

Un altro campo secondo me degno di essere esplorato è la classificazione delle difettosità in base alla perdita che provocano all'azienda. In particolare per "perdita" intendo un difetto che ha inciso o sull'efficienza della produzione, quindi sui tempi eventualmente dedicati alla rilavorazione, o sul lato puramente economico del valore dello scarto del circuito stampato; classificare la perdita più o meno grave è frutto della combinazione tra tempo stimato per la decisione di scartare o rilavorare, la complessità della riparazione della scheda e il rischio di produrre uno scarto all'inizio o alla fine del tentativo.

Per questo motivo la situazione potrebbe essere completamente ribaltata, dato che non per forza il processo più difettoso è quello che provoca una maggiore perdita in azienda.

Questa è la tabella che riassume come sono pesati i processi:

CLASSE	PESO	CLASSIFICAZIONE	PROCESSI
A	100	Seria perdita	k, j
B	40	Moderata perdita	d, a, q, n, p
C	10	Lieve perdita	l, s, g, m, i, h
D	1	Scarsa perdita	o, c, b, r

Affronto nuovamente il confronto tra la carta p per la percentuale di difettosità originaria e la carta per i demeriti costruita pesando per la gravità della perdita.

La situazione è ben diversa da quella che si è verificata nella carta con la frequenza come variabile discriminante: l'andamento della serie storica nel grafico 9.2 è meno soggetto alla variabilità e coglie meno i picchi, presenti invece nella carta p. Questo mi può suggerire che siano i processi che causano difetti di lieve o scarsa perdita a prevalere sugli altri.

In qualche occasione, come all'osservazione 28 e 39 il picco verificatosi nella carta della percentuale di difettosità originaria è confermato,

ad indicare che in quelle occasioni il processo difettoso che ha causato molti difetti era tra quelli di seria e moderata perdita. Al contrario se guardo alla fine della serie, in particolare all'osservazione 58, la carta dei demeriti segnala un picco che la carta p non ha colto: in quel punto ci sono state difettosità tutte classificate di seria o moderata perdita.

Ho deciso di studiare come sarebbe stato l'andamento della carta con dei pesi legati alla perdita subita perché la difficoltà sta nel tenere sotto sorveglianza proprio questo aspetto, essendo difficile creare un indicatore che sia rappresentativo.

Di fatto, anche guardando la carta dei demeriti, avere difetti che provocano una grossa perdita non è frequente ma quando si verificano incidono significativamente. Fare un esempio non è difficile: dalla linea addetta alla preformatura e prelievo viene preparato tutto il necessario per assemblare un prodotto. La linea finale utilizza il circuito stampato con già i componenti SMD assemblati dalle altre linee e dopo aver completato il processo si accorge che c'è stato una fornitura interna iniziale

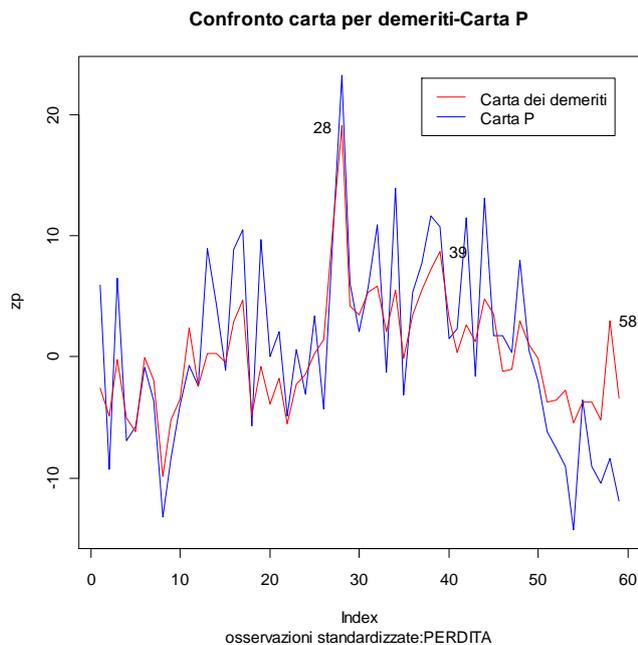


Grafico 9.2: carta dei demeriti: PERDITA

scorretta. In quel momento tutto il lancio, che può essere formato da quantità irrisorie ma anche da molti pezzi, diventa scarto. Capita una volta ogni tanto, ma in quel caso incide pesantemente.

9.2.3 CONCLUSIONI

Come si è visto con le analisi sulle singole ponderazioni, ciò che è cruciale per vedere se la carta di controllo varia è la frequenza delle difettosità. Provo a spiegare la cosa utilizzando questa tabella:

		<i>Frequenza</i>			
		Molto frequente	frequente	raro	molto raro
<i>Perdita</i>	seria perdita		k	j	
	moderata perdita		a-n-q	p	d
	lieve perdita	l		s	g-i-m-h
	scarsa perdita			o	b-c-r

Al di là della carta basata sulla frequenza dei difetti, è molto interessante capire l'interazione tra questi due fattori nella carta dei demeriti basata sulle perdite. La tabella è costruita in modo da classificare i processi che generano difetti contemporaneamente per frequenza e perdita: più i processi sono presenti sulla diagonale, più la carta dei demeriti sarà simile alla carta p dato che la perdita è proporzionale alla frequenza. Guardando nel dettaglio, quelli che assumono queste caratteristiche sono solo sette.

Valutando anche il resto della tabella, è chiaro che più ci allontaniamo dalla diagonale, più le carte sono differenti. Se i processi sono al di sotto, la variabilità è meno ampia perché la perdita subita non è supportata dalla frequenza idonea; il caso del processo **l** è il più chiaro: anche se è il più frequente, provocando una lieve perdita non avrà un peso tale da incidere sulla carta. Se i processi sono al di sopra della diagonale hanno una perdita maggiore di quella prevista per quel livello di

frequenza: per quanto sia raro vedere una difettosità del processo j , se si presenta provoca una seria perdita.

Perciò è importante valutare sia le singole carte che l'interazione per capire su queste variabili come sono classificati i processi che caratterizzano la carta di controllo.

9.3 PREVISORE OTTIMO A UN PASSO

Nella fase in cui ho analizzato il DPMO e la percentuale di difettosità ho dichiarato di non poter mettere i limiti di controllo sulle carte perché ho notato la presenza di autocorrelazione tra i dati; è necessario o aggiustare le informazioni a disposizione o aggiustare i limiti.

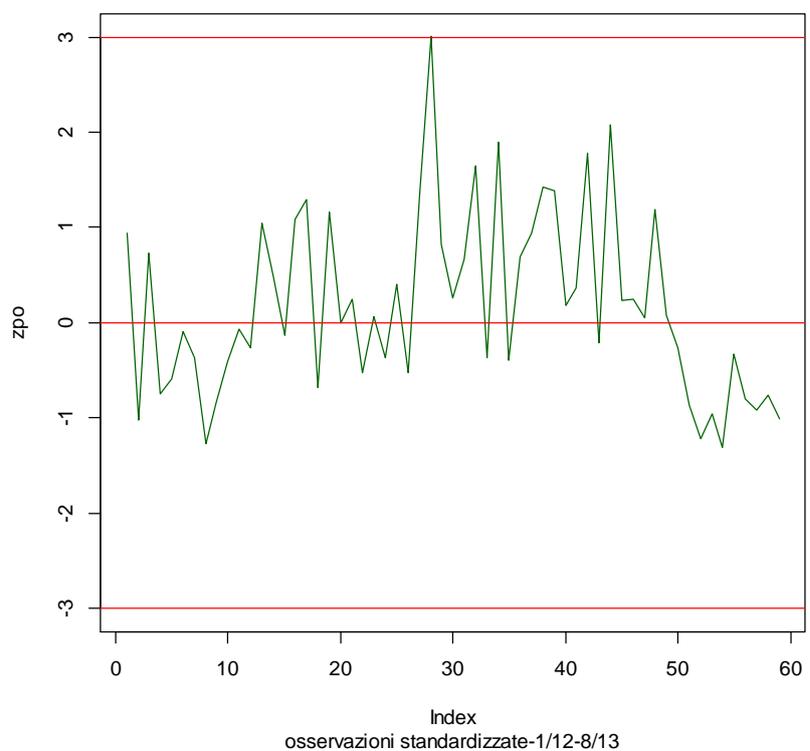
Per fare questo utilizzo la carta EWMA direttamente sui dati originali autocorrelati che è idonea nel caso in cui il processo generatore dei dati sia un IMA(1,1),

Dopo aver trovato la costante di lisciamento ottimale λ , calcolata come il minimo della somma dei quadrati degli errori di previsione a un passo, ho usato la somma di questi calcolati sul λ ottimale (divisi per n) per trovare il valore della varianza σ .

I nuovi limiti non sono diversi da quelli di tipo Shewart, ma hanno la particolarità di avere σ calcolato condizionatamente alla presenza di autocorrelazioni tra le osservazioni.

Per questioni di riservatezza, non ho potuto mettere i limiti reali della percentuale di difettosità ma ho standardizzato le osservazioni, come avevo già fatto per le altre carte di controllo, utilizzando come statistiche test il rapporto tra la differenza tra l'osservazione e la media di queste e la deviazione standard trovata con il previsore ottimo.

Percentuale di difettosità-limiti aggiustati per autocorrelazione



Guardando questa carta, a parte la tendenza della serie a essere sempre leggermente sopra la linea centrale, non dichiaro che l'indicatore è fuori controllo se non per l'osservazione 28, di cui ho già parlato e spiegato il motivo della straordinarietà del valore.

Pare doveroso confermare quindi che non avrei potuto dichiarare subito l'indice fuori controllo senza prima integrare le analisi con uno studio sull'autocorrelazione dei dati: corretti i limiti per dati che non sono indipendenti tra loro, la percentuale di difettosità risulta in controllo.

Che tra le osservazioni al tempo t e quelle al tempo $t-k$ ci sia autocorrelazione non mi stupisce così tanto. Al di là dell'informazione colta anche solo in fase esplorativa, si può immaginare che per l'azienda sia difficile considerare e produrre ogni giorno come se fosse a sé stante: se una settimana si verifica un problema magari ad una saldatrice verso fine turno, è difficile che la cosa sia totalmente risolta la settimana successiva.

Allo stesso tempo anche la tecnologia che avanza e la continua ricerca dell'automazione permette di abbassare la percentuale di difettosità con l'andare del tempo: se ci si accorge che un componente su un circuito stampato provoca molti difetti per come è preformato dal fornitore, prima di notare il problema e riuscire a risolverlo potrebbe passare anche più di qualche settimana.

È proprio per questo che l'azienda è in direzione del miglioramento continuo; cercare continuamente miglie e permette di abbassare l'entità della percentuale di difettosità non solo a scopo correttivo (solo se si verifica il problema) ma anche preventivo, cercando di capire se si può migliorare senza aspettare prima un fuori controllo.

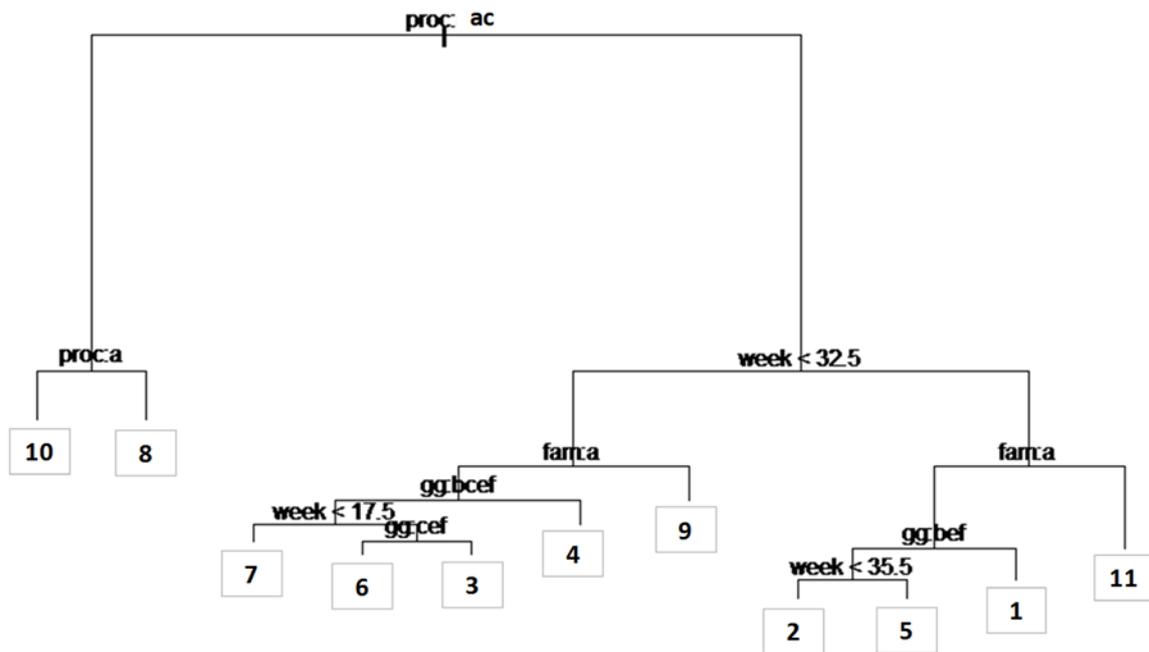
9.4 ALBERO DI REGRESSIONE

Dopo aver condotto analisi per lo più esplorative sulla percentuale di difettosità, è utile anche cercare di capire quali potrebbero essere le variabili che incidono di più su questo valore. Il dato questa volta non è più settimanale ma è giornaliero, ed è dal 1 giugno 2012 al 1 Marzo 2013.

Per fare tutto questo mi posso servire di un *albero di regressione*, che è una tecnica statistica che mi permette di dividere in modo binario sempre più le osservazioni a disposizione in dei nodi interni fino ad arrivare a dei nodi finali (spiegato già nel capitolo 6).

La variabile che ho deciso di studiare è il numero di difetti e ho ipotizzato che potesse essere spiegato dal processo che l'ha causato, dalla famiglia del prodotto (sono state divise in due gruppi in base ad altre analisi di associazione e similarità), dalla settimana dell'anno, dal giorno della settimana.

L'albero risultante è questo:



	Processo			Famiglia		Settimane				Giorno della settimana					
	a	l	c	α	β	23-39	40-3	4-6	7-9	1	2	3	4	5	6
1		x		x				x	x	x		x	x		
2		x		x				x			x			x	x
3		x		x			x				x				
4		x		x		x	x			x			x		
5		x		x					x		x			x	x
6		x		x			x					x		x	x
7		x		x		x					x	x		x	x
8			x												
9		x			x	x	x								
10	x														
11		x			x			x	x						

Nei nodi terminali, cioè quelli numerati, ci sono il numero medio di difetti delle osservazioni catalogate secondo le caratteristiche del ramo: per questioni di riservatezza non mi è stato possibile inserire i valori reali ma descriverò comunque alcune caratteristiche. Il numero di riferimento non è casuale, ma è un ordinamento dei valori, dove 1 è il numero maggiore di difetti e 11 è il numero minore. La classificazione nei nodi interni non è sempre corrispondente al vero valore: le settimane sono in ordine cronologico, dove la 23 reale è considerata la 1 del grafico e la 9 reale è la 38 sempre dell'analisi.

Per cercare di sintetizzare le informazioni, ho costruito la tabella che permette di capire, per ogni valore corrispondente al numero di difetti, quali sono le variabili influenti. Per esempio, se considero il numero medio di difetti nominato 4, dico che ha la caratteristica di avere osservazioni omogenee tra loro perché causate dal processo **I**, appartenenti a un prodotto della famiglia α , generati nelle settimane tra la 23 e la 39 del 2012 e nei giorni lunedì e giovedì.

Se ci fosse la volontà di riuscire a leggere in maniera globale l'albero di regressione, la tabella potrebbe essere un buon aiuto. Per questa analisi però mi interessa valutare solo alcuni aspetti.

Quello che si può cogliere immediatamente, è che la prima variabile che secondo lo studio spiega di più l'entità del numero di difetti è il processo che li ha generati; in precedenza ne ho evidenziati circa 20 che possono causare difettosità, ma secondo lo studio si possono definire solo tre categorie: il processo **a, I, c**, dove quest'ultima classe contiene tutti i processi diversi dai primi due. Ho appena dimostrato quindi che i due processi più critici sono **a** ed **I**, gli altri sono equivalenti sulla possibile variazione del numero di difetti. Quel processo che però si distingue in maniera significativa dagli altri è **I**, che è variabile in base ad un numero considerevole di casistiche.

Le famiglie di prodotti, secondo analisi preliminari fatte sempre con gli alberi di regressione, si possono dividere in due gruppi, α e β , dove i primi sono quelli che giornalmente hanno più completati dei secondi. Fatta eccezione dei nodi 8 e 10, dove è ininfluente di quale si tratta, per gli altri si può capire che ci sono un numero alto di difetti solo per le famiglie α .

Guardando la parte sulle settimane dell'anno, non riesco a cogliere una particolare tendenza, se non il fatto che il maggior numero medio di difetti si è verificato nelle settimane dalla 4 alla 9.

Considerando la variabile che mi indica quale giorno è all'interno della settimana, posso notare che a parte qualche interferenza del mercoledì, esiste sempre un'associazione tra lunedì e giovedì e tra martedì, venerdì e sabato.

Se guardo il nodo 1, che è il più critico, trovo all'interno solo 18 osservazioni, che sono però tra loro particolarmente simili: appartengono tutte alla stessa sottofamiglia di α , particolare perché fa parte di alcune azioni di miglioramento implementate proprio su questi prodotti per migliorarne la qualità e la capacità di produrre circuiti stampati "buoni al primo colpo"; scorrendo tra questi dati, si può perfino ritrovare una data particolare in cui sono state fatte delle misure straordinarie a scopo esplorativo ma che hanno provocato dei rallentamenti e alterazioni della produzione. Fare un approfondimento del genere mi permette di capire se il numero di difetti elevato è un problema sistematico che si protrae nel tempo ed è incontrollato o se è in un arco temporale limitato e già

oggetto di un'azione correttiva: il numero 1 è circa il 15% in più del numero 2, perciò è importante essere consapevole della composizione del nodo.

Un'altra particolarità che può essere segnalata è per i nodi 5 e 2, 3 e 6: come numero di difetti, sono circa uno il doppio dell'altro (ricordo che più il numero è piccolo, più è alto il valore), anche se la loro differenza è nel primo caso legata solo al riferimento settimanale e la seconda al giorno della settimana.

Le perfette antitesi sono determinate dalle due variabili non temporali: famiglia e processo.

Se un'osservazione appartiene alla famiglia α o β cambia in maniera considerevole: basti pensare al nodo 11, che è il minimo numero di difetti e a meno del giorno della settimana ha in comune le variabili con il numero 1, il massimo della difettosità. Il tipo di processo, invece, è determinante fin dall'inizio: per i difetti che sono stati generati dal processo **I**, la maggior parte dei nodi finali sono quelli con i valori più alti; per tutti gli altri, con un abbondante numero di osservazioni al loro interno, i nodi appartengono alla fascia più bassa come numero di difetti.

Pensare che la non omogeneità delle osservazioni sia determinata per lo più da delle variabili che descrivono la conformità del prodotto o la tipologia di difetto indica che il numero di difetti generati è strettamente legato anche alla complessità dell'assemblaggio del circuito stampato. Questo aspetto è coerente e rispecchia una situazione in cui la complessità, la frequenza e la difficoltà del processo produttivo sono i principali fattori che determinano quante sono le schede difettose. Considerando l'arco temporale ampio (la settimana) e quello più stretto (il giorno), posso confermare un po' la teoria dell'autocorrelazione: il numero della settimana soprattutto influisce sul numero di difetti finali, ad indicare una rilevanza temporale.

Capitolo 10

ESEMPIO DI AZIONE DI MIGLIORAMENTO: VALUE STREAM MIX

Il motivo per cui l'azienda ha deciso di sorvegliare la difettosità del proprio flusso di processi può essere spiegato in due modi: primo per garantire al cliente la qualità del prodotto e la possibilità di conoscere l'azienda a cui si affida; secondo per valutare l'efficienza dei processi e quindi puntare ad un prodotto "buono al primo colpo" che riduca gli sprechi, sia in termini economici, sia in termini di ottimizzazione del tempo di lavorazione.

Dopo le analisi effettuate sull'indicatore è necessario spendere alcune parole sulle azioni che vengono fatte per cercare di tenere sotto controllo questo dato. Come già anticipato nel capitolo 3, esistono più riunioni per valutare se le cause di difettosità sono sistematiche e quindi è necessario implementare un'azione di miglioramento. Lo strumento più utilizzato in particolare dal lato Quality del QCD è il diagramma di Pareto, che permette di ottenere il primo approfondimento della percentuale di difettosità, evidenziandone i dettagli a partire dai processi.

Non è necessario che il livello della percentuale di difettosità sia al di fuori del target che è stato fissato per attuare delle azioni: nell'ottica del miglioramento continuo qualsiasi problema che risulti sistematico merita di essere risolto per poter poi prevenire in futuro altre difettosità.

10.1 FASE1

Nella settimana 8 di quest'anno, alla riunione di PDCA di secondo livello della Value Stream Mix, si è discusso della percentuale di difettosità che, per quanto risultasse in target, iniziava a presentare una tendenza crescente; per questo motivo è stato necessario pianificare delle azioni di miglioramento per agire mirati sui processi più difettosi e puntare ad abbassare questo valore.

10.2 FASE2

Il primo mezzo per sviscerare la percentuale di difettosità è il diagramma di Pareto per capire quali sono i processi che incidono di più sull'indicatore.

Dalle prime analisi è emersa questa situazione: solo con i primi due processi, **l** e **a**, è stata raggiunta la quota dell'80% dei difetti, gli altri hanno un'incidenza decisamente minore. Proprio per questo motivo la scelta del processo su cui agire è stata tra **l** e **a**.

Dato che erano già in atto molte azioni per il processo I perchè produceva più difetti degli altri, si è deciso questa volta di avviare un piano di miglioramento per il processo a, in modo da incidere su entrambe le cause dell'aumento della percentuale di difettosità.

10.3 FASE3

Per puntare ad abbassare il numero dei difetti legati al processo a della VS Mix si è cercato di capire se c'erano delle linee che generavano più difettosità delle altre; per questo motivo è stato utile costruire un

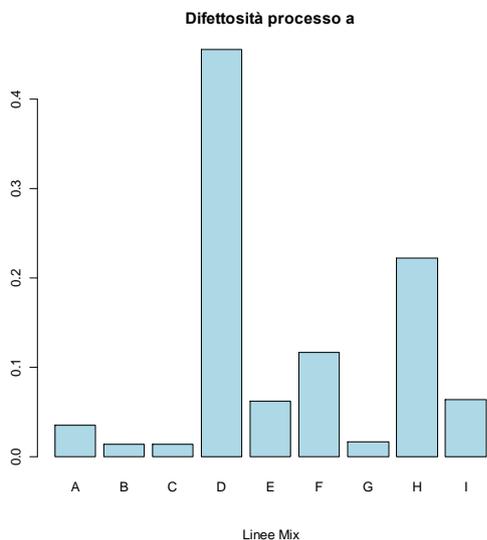
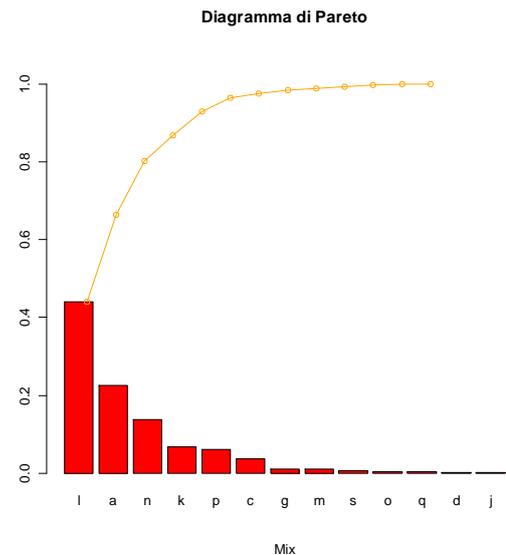


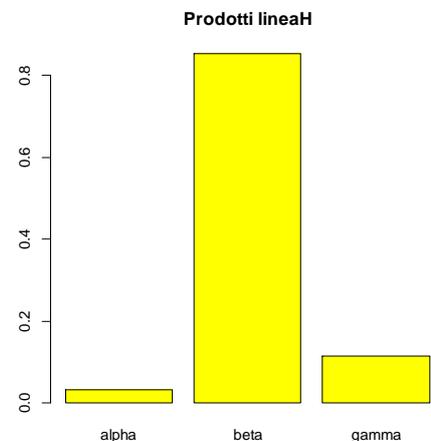
grafico a barre per capire se i difetti erano distribuiti in maniera omogenea o meno.

Dall'analisi è risultato che esistono due linee in particolare che contribuiscono più delle altre: la lineaD e la lineaH.

Seguendo il normale decorso della procedura, l'azione di miglioramento avrebbe dovuto concentrarsi sulla linea che manifesta maggiori difetti. D'altro canto ogni piano è sempre pensato ad ampio spettro per permettere all'azienda di crescere a

tuttotondo evitando il rischio di migliorare un processo e danneggiarne un altro. Per questo motivo tra le due, è stata scelta la lineaH, perché la lineaD era già impegnata in altre azioni che puntavano al miglioramento del processo I: sovraccaricare la linea o apportare dei cambiamenti troppo significativi potrebbe essere controproducente e limitare il miglioramento previsto.

Dopo aver scelto quale era la linea coinvolta nell'azione, si è scesi nel dettaglio per capire quale poteva essere il prodotto che subiva più difetti generati dal processo a; questo è il grafico, molto simile al precedente, che mostra il



dettaglio sui più difettosi della lineaH.

Di certo non ci sono stati dubbi su quale era il prodotto che risentiva di più di questo elevato numero di difettosità: il prodotto *beta* ha cumulato più dell'80% dei difetti.

10.4 FASE4

La raccolta dati che viene fatta nelle linee per sorvegliare la difettosità dei processi non è sufficientemente informativa nel momento in cui c'è da capire in dettaglio dove si verifica un difetto.

Per questo è stata implementata in lineaH una raccolta dati straordinaria per il prodotto *beta*, a scadenza giornaliera.

Il documento è diviso sostanzialmente in due parti: la prima è un disegno del circuito stampato con le sagome dei componenti PTH (oggetto dell'indagine), copia dello schema elettrico che le linee hanno a disposizione per assemblare correttamente; la seconda è una tabella dove sono elencati i componenti presenti sulla scheda disegnata, in modo tale da poter apporre un segno ogni qual volta il componente faccia risultare la scheda difettosa.

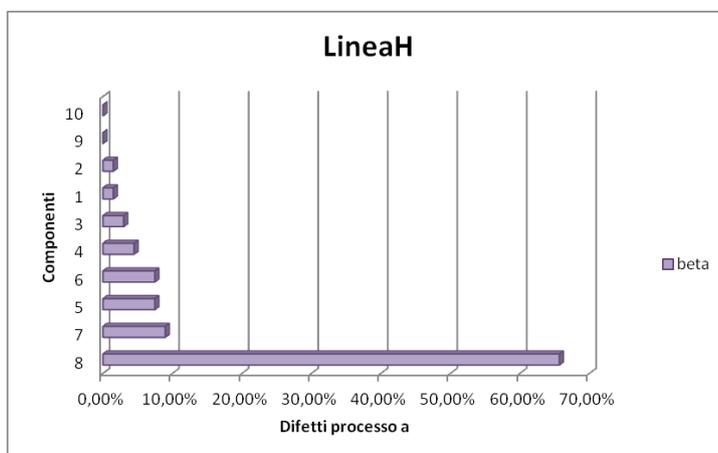
POSIZIONAMENTO PTH - dettaglio BETA

DATA:	LINEA: H	OPERATORE:
-------	----------	------------

Schema elettrico scheda BETA

Componenti scheda BETA

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	



Questa raccolta dati è stata integrata in linea dal 25 Febbraio 2013 al 14 Marzo 2013.

Se gli operatori fossero stati costretti a rilavorare la scheda perché il test potesse dare un esito positivo, avrebbero dovuto segnare una barretta in corrispondenza del componente sistemato.

I dati aggregati alla fine del periodo di

osservazione hanno portato a questi risultati:

Il *componente8* è protagonista di circa il 65% delle rilavorazioni per i difetti generati dal processo **a**, tutti gli altri sono presenti in maniera irrisoria.

A questo punto di certo sarà quello il componente su cui si andrà ad agire.

10.5 SITUAZIONE ATTUALE

Quando viene implementata un'azione di miglioramento non sempre la soluzione è tempestiva o facile da trovare.

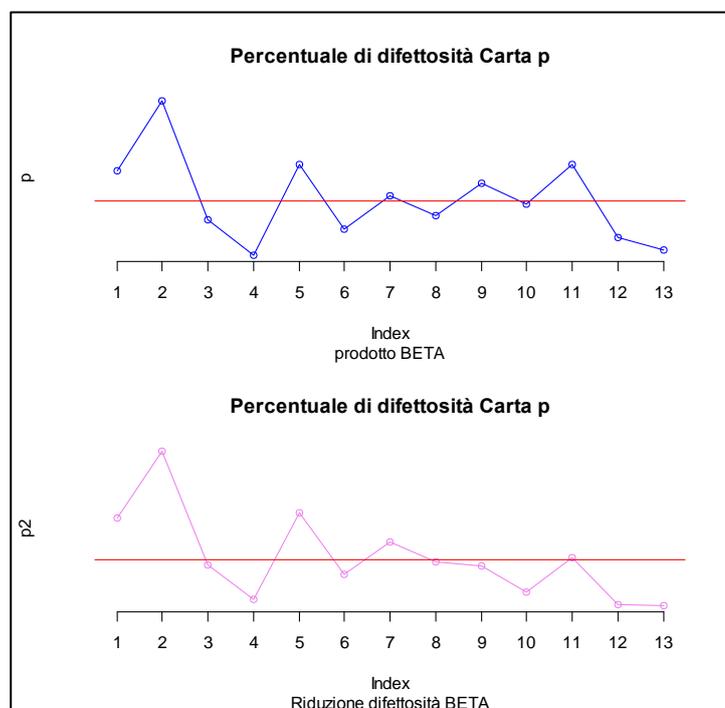
Putroppo, in questo periodo di stage non ho fatto in tempo a vedere il completamento di tutte le fasi: il motivo è che, anche se è stato individuato il componente, è complesso risolvere questa causa di difettosità.

Visto che non sono in grado di sapere quale sarà la decisione faccio alcune considerazioni su cosa sarebbe successo se queste difettosità fossero state prevenute.

Costruisco una carta di controllo, in particolare una carta p, per sorvegliare la percentuale di difettosità limitata alla LineaH per il prodotto *beta*. In questo caso non uso osservazioni standardizzate perché mi interessa non tanto valutare la variabilità del processo ma capire in termini assoluti se il livello di difettosità è calato. L'asse delle ascisse non è riportato per questioni di riservatezza dei dati e uso solo il Limite Centrale per riferimento del livello medio.

Osservo il primo grafico. Dalla settimana 6 la percentuale di difettosità per questa particolare selezione ha una tendenza

crescente; essendo la Shewhart una carta senza memoria, questo aumento mi fa capire che il problema è sempre più incidente.



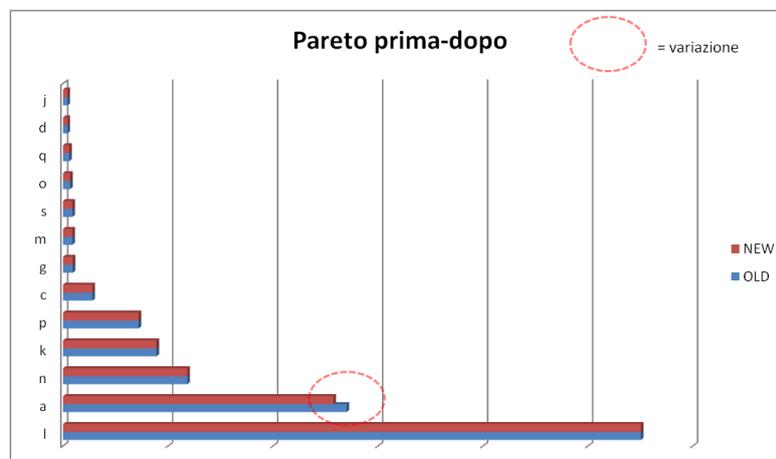
Dai dati raccolti grazie alla fase 4, risulta che il 65% delle difettosità dipende dal *componente8*. Per questo motivo tolgo dai valori registrati nelle settimane successive (dalla 9 alla 13) per la lineaH e il prodotto *beta* il 65% delle schede difettose causate dal processo **a**; in questo modo ottengo una carta p che rappresenta come sarebbe stato l'andamento se non si fossero verificate le difettosità.

La carta inferiore è ottenuta con le osservazioni post miglioramento. Ovviamente, dalla settimana 1 alla 8 i dati sono invariati: la raccolta dati è cominciata dalla settimana 9. Come mi aspettavo che sarebbe accaduto nel caso in cui, una volta essersi accorti del problema, ci fosse stata un'immediata risoluzione, la tendenza positiva si è interrotta per poi avere un livello di difettosità sostanzialmente inferiore al valore medio.

Visto che l'azienda tiene sotto sorveglianza la percentuale di difettosità cumulando i valori dall'inizio dell'anno, calcolerò quanto è la variazione in punti percentuali tra il dato effettivamente rilevato e la stima del miglioramento dopo la correzione del componente. Per questioni di riservatezza non posso mettere i valori iniziali, ma il delta è tra i due è di 0,78pp. Questo non è il miglioramento dell'intera Value Stream, ma è soltanto quello della LineaH.

Calcolando la percentuale di difettosità della VS Mix e trovando lo stesso valore invece al netto delle difettosità causate dal *componente8*, si può arrivare alla conclusione che al termine dell'azione il miglioramento generale è di 0,06pp.

Il metodo che in questo momento l'azienda adotta per tenere sotto controllo il numero di difetti e la conseguente percentuale di difettosità è il diagramma di Pareto. È interessante perciò capire, a parità delle altre condizioni, quale sarebbe stata la variazione di questo supporto grafico se fosse stato eliminata subito la causa delle difettosità. Questo è il confronto tra i due diagrammi:



Come appare chiaro, se le difettosità dovute a quel processo non ci fossero state perché risolte immediatamente, il diagramma di Pareto avrebbe mostrato una diminuzione della barra del processo **a**; con i dati è possibile dire che il miglioramento è di 0,82 punti percentuali.

10.5.1 CONCLUSIONI

Mettere in piedi delle attività per il miglioramento mirate ad un processo in quel momento particolarmente problematico permette di risolvere molte cause di difetto “inutili”, dove con questo termine si intende eliminabili. In quest’azione implementata nella Value Stream Mix non ho potuto valutare oggettivamente che tipo di diminuzione di difettosità si sia verificata ma so per certo che i benefici non si otterranno solamente in lineaH.

Il *componente8* è presente in più linee produttive. Non si è mai ritenuto necessario su quest’ultime risolvere il problema probabilmente solo perché non era al top delle priorità, ma l’azione sul prodotto *beta* porterà un beneficio “gratuito” a tutti i circuiti stampati che assemblano questo componente PTH. Perciò valutare l’impatto del piano di miglioramento non deve essere limitato al prodotto e alla linea ma anche a tutta la Value Stream, perché di fatto tutte le linee interessate ne trarranno beneficio.

Conclusione

Affrontando le analisi oggetto della tesi ho avuto molte conferme sulle ipotesi preliminari, ma allo stesso tempo, ho rivisto alcune assunzioni alla base dei modelli.

Prima di trarre le ultime conclusioni è utile evidenziare il fatto che solamente di recente, a seguito di un progetto specifico, sono stati introdotti gli indicatori in "real time" (aggiornati al giorno successivo) tra cui la percentuale di difettosità: è partito un processo che mediante l'applicazione del PDCA sta portando al miglioramento delle prestazioni, ma il sistema non è ancora sviluppato totalmente.

Il DPMO e la percentuale di difettosità sono due indicatori validi per la rappresentazione del processo e la scelta tra i due dipende da quale tipo di fenomeno si vuole tenere sotto controllo: la decisione dell'azienda di adottare la percentuale di difettosità come segnalatore della qualità del processo è legata alla possibilità di includere tutti i processi generatori di difetti e non tralasciarne nessuno, così da poter fare successivi approfondimenti con l'analisi di Pareto. Nella tesi ho dimostrato che una volta chiari i rischi di questa scelta (non differenziare schede con uno o più difetti) non ci sono particolari controindicazioni; l'unico fattore di cui tener conto per valutare in maniera oggettiva l'andamento della porzione di difetti è la presenza di autocorrelazione tra le osservazioni.

Condurre delle analisi aggiuntive sulla percentuale di difettosità mi è stato utile a capirne la composizione e la dipendenza tra alcune combinazioni di variabili. Con le carte dei demeriti, adattando i pesi per frequenza e livello di perdita, ho potuto constatare che il numero di processi causa di difetto è composto per lo più sempre dalle stesse cause: lavorare sulle barre del diagramma di Pareto più alte è la mossa vincente se si vuole ridurre in maniera incisiva la percentuale di difettosità. I processi che causano una perdita maggiore non sono frequenti ma purtroppo, verificandosi sempre in grandi quantità, risultano immediatamente incidenti sul livello di difettosità. Se si riuscisse ad apportare delle modifiche tecnologiche e/o pianificare ulteriori formazioni del personale, evitando i difetti derivanti da processi molto frequenti ma poco incisivi economicamente, il maggior controllo si focalizzerebbe sui processi a perdita elevata, cercando di prevenirli. A oggi una carta ottimale per sorvegliare la difettosità in CAREL è con memoria, cioè sensibile anche a piccoli cambiamenti; riuscendo a livellare al massimo il numero di difetti sui processi frequentemente difettosi, anche una carta sensibile principalmente a grandi oscillazioni dalla media sarebbe sufficiente (come le carte di tipo Shewhart).

Con l'albero di regressione, invece, ho potuto confermare che il tempo è parte determinante del livello di difettosità del processo produttivo; l'effetto temporale è incisivo sia a livello settimanale che giornaliero. Una grande svolta per la qualità di produzione sarebbe quella di prestare maggiore attenzione ai giorni e alle settimane dell'anno critiche, dato che l'obiettivo che l'azienda stabilisce è sempre una percentuale di difetti annuale: annullare la differenza che esiste intanto all'interno della settimana e poi nell'arco dell'anno potrebbe portare a stabilire un obiettivo più sfidante. Anche la tipologia di difetti che si verifica è incidente sul numero di difetti, ma conferma a pieno le conclusioni tratte grazie alle carte dei demeriti.

Appendice A

ELABORAZIONE DEI DATI CON R

Per effettuare le analisi nel capitolo 7 e nel capitolo 9 ho utilizzato il pacchetto statistico *RGui*.

Riporto qui di seguito i comandi essenziali per comprendere i risultati:

#ANALISI ESPLORATIVA DEGLI INDICATORI

```
#il dato è settimanale: da 1/12 a 8/13
> x<-read.table("difet.txt",header=T)
> def<-x$def
> def2<-x$def2
> scr<-x$scr
> comp<-x$comp
#trovo i valori risultanti dalla formula del mio indicatore
> dif<-(def+def2)/(comp+scr)
> n<-comp+scr
> difm<-sum(def+def2)/(sum(comp)+sum(scr))
#per questo tipo di dati è idoneo costruire una carta P.
#METODO: osservazioni standardizzate
> zp<-(dif-difm)/sqrt(difm*(1-difm)/(comp+scr))
> LCL3<--3
> UCL3<-3
> LC3<-0
> a3<-min(min(zp),LCL3)
> b3<-max(max(zp),UCL3)
> plot(zp,type="l",ylim=c(a3,b3),main="Carta P per la percentuale
di difettosità",sub="osservazioni standardizzate 1/12-8/13")
> points(zp)
> identify(zp)
[1] 28
#numero di fuori controllo
> oc_perc<-c(rep(0,59))
> for(i in 1:length(oc_perc)){
+ if (zp[i]>3)(oc_perc[i]=1)
+ if (zp[i]<(-3))(oc_perc[i]=1)
+ }
#tasso di "fuori controllo"
> toc_perc<-sum(oc_perc)/(length(oc_perc))
> toc_perc
[1] 0.7118644
```

#DPMO

```
#il dato è settimanale: da 13/11 a 8/13
> y<-read.table("dpmo.txt",header=T)
```

```

> difet<-y$difet
> opport<-y$opport
> dpmo=(difet/opport)*1000000
#METODO: osservazioni standardizzate
> dpmom<-(sum(difet)/sum(opport))*1000000
> zu<-(dpmo-dpmom)/(sqrt(dpmom/opport*1000000))
> LCLu<--3
> UCLu<-3
> LCU<-0
> au<-min(min(zu),LCLu)
> bu<-max(max(zu),UCLu)
> plot(zu,ylim=c(au,bu),type="l",main="Carta U per il
DPMO",sub="osservazioni standardizzate 13/11-8/13")
> points(zu)
> identify(zu)
[1] 58
#numero di fuori controllo
> oc_dpmo<-rep(0,length(difet))
> for(i in 1:length(oc_dpmo)){
+ if (zu[i]>3)(oc_dpmo[i]=1)
+ if (zu[i]<(-3))(oc_dpmo[i]=1)
+ }
#tasso di "fuori controllo"
> toc_dpmo<-sum(oc_dpmo)/(length(oc_dpmo))
> toc_dpmo
[1] 0.7525773

#anno 2012: DPMO

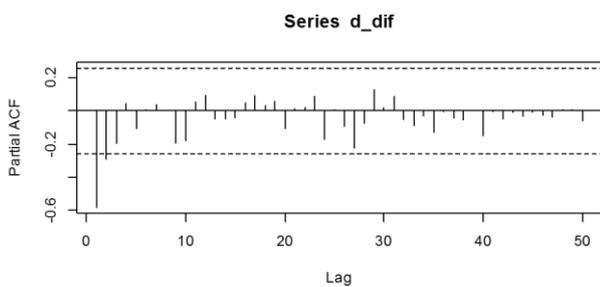
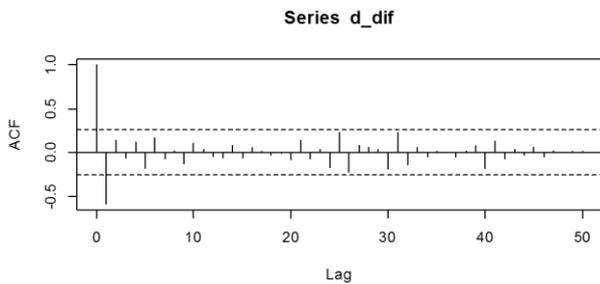
> length(difet)
[1] 97
> difet1<-difet[c(39:97)]
> opport1<-opport[c(39:97)]
> dpmo1<-(difet1/opport1)*1000000
> dpmom1<-(sum(difet1)/sum(opport1))*1000000
> zul<-(dpmo1-dpmom1)/(sqrt(dpmom1/opport1*1000000))
> aul<-min(min(zul),LCLu)
> bul<-max(max(zul),UCLu)
> plot(zul,ylim=c(aul,bul),type="l",main="Carta U per il
DPMO",sub="osservazioni standardizzate 1/12-8/13")
> points(zul)

#confronto grafico
> legenda<-c("%difettosità","DPMO")
> plot(zp,type="l",ylim=c(a3,max(zp)),col="dark
violet",main="confronto DIFETTOSITA'-DPMO",sub="osservazioni
standardizzate 1/12-8/13")
> lines(zul,type="l",col="blue")
> legend(40,20,legenda,lty=1,col=c("dark violet","blue"))

```

#AUTOCORRELAZIONE DEI DATI

```
> library(spc)
#percentuale di difettosità
#analisi esplorativa
> par(mfrow=c(2,1))
> acf(dif,lag.max=50)
> pacf(dif,lag.max=50)
> d_dif<-diff(dif)
> acf(d_dif,lag.max=50)
> pacf(d_dif,lag.max=50)
```



```
> par(mfrow=c(1,1))
#stima del modello: ARIMA(1,1,0)
> modell<-arima(d_dif,order=c(0,0,1), method="ML")
> modell
```

Call:

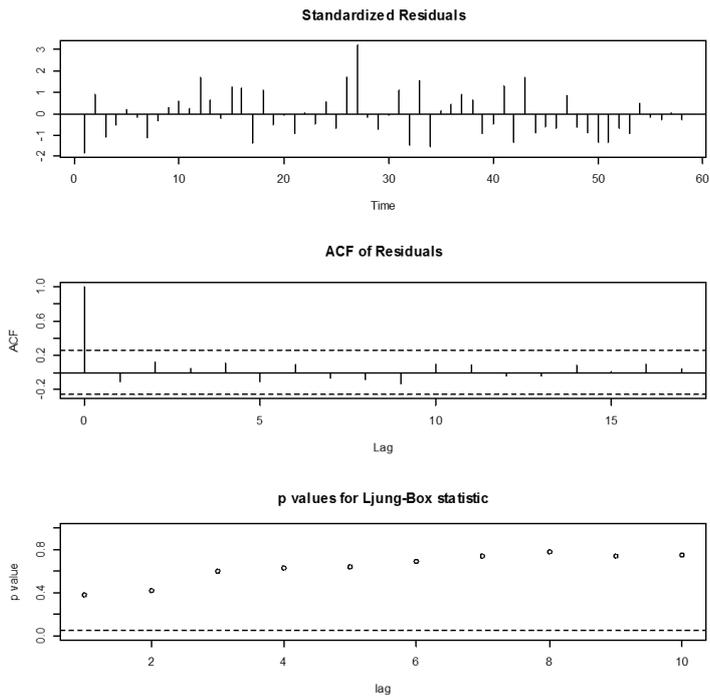
```
arima(x = d_dif, order = c(0, 0, 1), method = "ML")
```

Coefficients:

	ma1	intercept
	-0.7373	-3e-04
s.e.	0.0857	6e-04

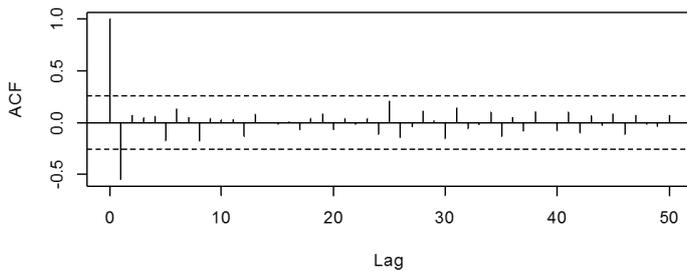
sigma² estimated as 0.0002962: log likelihood = 152.92, aic = -299.84

```
#diagnostica dei residui
> tsdiag(modell)
```

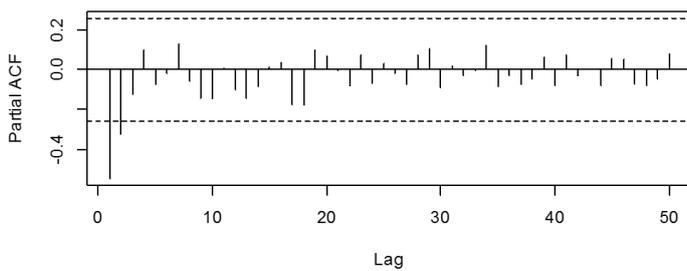


```
#DPMO
#analisi esplorativa
> par(mfrow=c(2,1))
> acf(dpmo1,lag.max=50)
> pacf(dpmo1,lag.max=50)
> d_dpmo1<-diff(dpmo1)
> acf(d_dpmo1,lag.max=50)
> pacf(d_dpmo1,lag.max=50)
```

Series d_dpmo1



Series d_dpmo1



```
> par(mfrow=c(1,1))
#stima del modello: ARIMA(0,1,1)
```

```
> model2<-arima(d_dpmol,order=c(0,0,1), method="ML")
> model2
```

Call:

```
arima(x = d_dpmol, order = c(0, 0, 1), method = "ML")
```

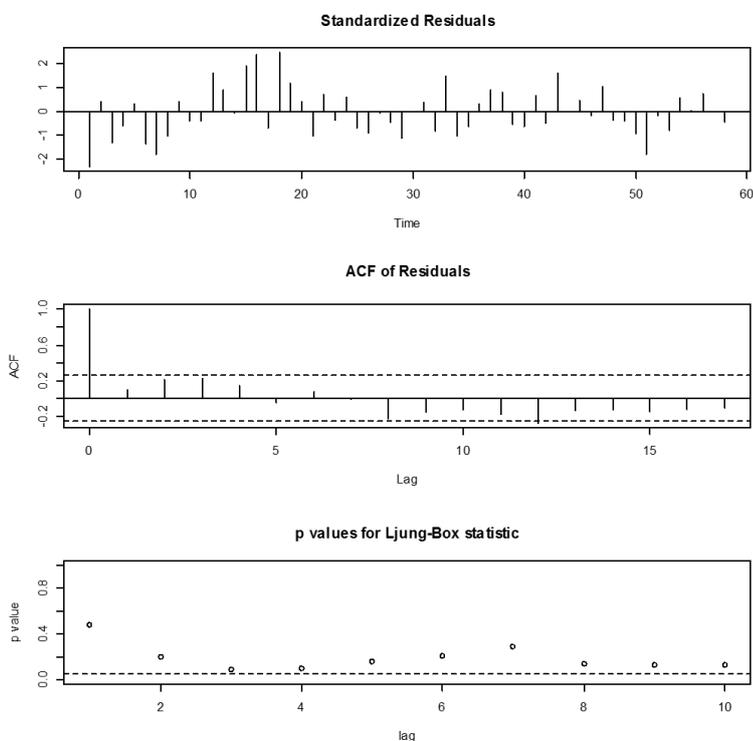
Coefficients:

	ma1	intercept
	-0.9997	-0.8494
s.e.	0.0604	0.2264

sigma^2 estimated as 876.5: log likelihood = -280.83, aic = 567.66

#diagnostica dei residui

```
> tsdiag(model2)
```



#ELIMINAZIONE DEL VALORE ANOMALO

```
> g<-read.table("Difet2.txt",header=T)
> defg<-g$def
> def2g<-g$def2
> scrg<-g$scr
> compg<-g$comp
> difg<-(defg+def2g) / (compg+scrg)
> difmg<-sum(defg+def2g) / (sum(compg)+sum(scrg))
> difmg
[1] 0.05638017
> zpg<-(difg-difmg)/sqrt(difmg*(1-difmg)/(compg+scrg))
> LCL3g<--3
```

```

> UCL3g<-3
> LC3g<-0
> a3g<-min(min(zpg),LCL3g)
> b3g<-max(max(zpg),UCL3g)
> plot(zpg,col="red",type="l",ylim=c(-15,24),main="Carta P per la
difettosità",sub="osservazioni standardizzate senza valore
anomalo")
> lines(zp,col="blue")
> legenda<-c("new","old")
> legend(45,20,legenda,lty=1,col=c("red","blue"))

```

#CARTA DEI DEMERITI

#approccio 1: demeriti in base alla frequenza

```

> freq<-read.table("freq.txt",header=T)
> sett<-freq$sett
> dif1<-freq$dif1
> dif2<-freq$dif2
> dif3<-freq$dif3
> dif4<-freq$dif4
> comp<-freq$comp
> scr<-freq$scr
> tot<-comp+scr
> n<-length(dif1)
> d1<-100*dif4+40*dif3+10*dif2+dif1
> u1<-d1/(tot)
> mdif1<-sum(dif1)/sum(tot)
> mdif2<-sum(dif2)/sum(tot)
> mdif3<-sum(dif3)/sum(tot)
> mdif4<-sum(dif4)/sum(tot)
> um<-100*mdif4+40*mdif3+10*mdif2+mdif1
> sigma1<-sqrt(((10000)*mdif4+(1600)*mdif3+100*mdif2+mdif1)/tot)
> zdf<-(u1-um)/(sigma1)
> a<-min(min(zdf),a3)
> b<-max(max(zdf),b3)
> legenda<-c("Carta P", "Carta dei demeriti")
> plot(zp,type="l",ylim=c(a,b),col="blue",main="Confronto carta
dei demeriti-Carta P",sub="osservazioni standardizzate:
FREQUENZA")
> lines(zdf,type="l",col="red")
> legend(33,20,legenda,lty=1,col=c("blue","red"))

```

#approccio 2: demeriti in base alla perdita

```

> perd<-read.table("perd.txt",header=T)
> sett<-perd$sett
> dif1<-perd$dif1
> dif2<-perd$dif2
> dif3<-perd$dif3
> dif4<-perd$dif4
> comp<-perd$comp
> scr<-perd$scr

```

```

> tot<-comp+scr
> n<-length(dif1)
> d2<-100*dif4+40*dif3+10*dif2+dif1
> u2<-d2/(tot)
> mdif1<-sum(dif1)/sum(tot)
> mdif2<-sum(dif2)/sum(tot)
> mdif3<-sum(dif3)/sum(tot)
> mdif4<-sum(dif4)/sum(tot)
> um2<-100*mdif4+40*mdif3+10*mdif2+mdif1
> sigma2<-sqrt(((10000)*mdif4+(1600)*mdif3+100*mdif2+mdif1)/tot)
> zdp<-(u2-um2)/sigma2
> a2<-min(min(zdp),a3)
> b2<-max(max(zdp),b3)
> legenda<-c("Carta dei demeriti", "Carta P")
> plot(zp,type="l",ylim=c(a2,b2),col="blue",main="Confronto carta
per demeriti-Carta P",sub="osservazioni standardizzate:PERDITA")
> lines(zdp,type="l",col="red")
> legend(37,23,legenda,lty=1,col=c("red","blue"))
> identify(zdp)
[1] 28 39 58

```

#PREVISORE OTTIMO A UN PASSO

```

#ricerca del lambda ottimale e calcolo di sigma
> w0<-0
> "ewmae"<-function(dif,la,w0)
+ { k<-length(dif)
+ w<-c(0,k)
+ e<-c(0,k)
+ for (t in 1:k){ if (t==1)
+ { w[1]<-w0+la*(dif[1]-w0)
+ e[1]<-(dif[1]-w0)
+ } else { w[t]=w[t-1]+la*(dif[t]-w[t-1]);
+ e[t]<-(dif[t]-w[t-1]) } }
+ ris<-data.frame(xt=dif,wt=w,et=e,et2=e^2)
+ ris }

> "graf1"<-function(dif,w0){ la<-seq(0.05,0.95,by=0.025)
+ sommaet2<-numeric(length(la))
+ y<-matrix(0,ncol=length(la),nrow=length(dif))
+ for (i in 1:length(la)){ y[,i]<-ewmae(dif,la[i],w0)[,4]
+ #calcola la somma di et^2 per ciascun valore di lambda
+ sommaet2[i]<-sum(y[,i]) }
+ ris<-cbind(la,sommaet2)
+ et2min<-min(ris[,2])
+ #trova sulla I colonna il valore per cui è minima la somma
+ #di et2
+ lott<-ris[ris[,2]==et2min,1]
+ #trova sigma2e corrispondente
+ sigma2e=et2min/length(dif)

```

```

+ plot(la,sommaet2,type="l",main="Somma dei residui al quadrato
verso lambda",ylab="Somma di et^2",xlab="lambda")
+ points(la,sommaet2)
+ cat("lambda ottimale= ", lott, "\n")
+ cat("somma et2= ", et2min, "\n")
+ cat("sigma2e= ", sigma2e, "\n")}
> grafl(dif,w0)
lambda ottimale= 0.375
somma et2= 0.02329393
sigma2e= 0.0003948124
> l<-0.375
> et2<-0.02329393
> sigma2<-et2/(length(dif))
> sigma2
[1] 0.0003948124

> #costruzione della carta di controllo con i nuovi con il nuovo
sigma
> zpo<-(dif-difm)/sqrt(sigma2)
> LCL<--3
> UCL<-3
> LC<-0
> plot(zpo,ylim=c(min(LCL),max(UCL)),col="dark green",type="l",
main="Percentuale di difettosità-limiti aggiustati per
autocorrelazione",sub="osservazioni standardizzate-1/12-8/13")
> abline(h=LCL,col="red")
> abline(h=UCL,col="red")
> abline(h=LC,col="red")

```

#ALBERO DI REGRESSIONE

```

> library(tree)
> alb<-read.table("albero_proc.txt",header=T)
> attach(alb)
> gg<-as.factor(gg)
> difetti<-def+def2
> a<-tree(difetti~proc+fam+week+gg)
> plot(a)
> text(a)

```

Bibliografia

- MONTGOMERY D.C., ***Controllo statistico della qualità.***
McGraw Hill, Milano, 2006.
- BREIMAN L., FRIEDMAN J. H., OLSHEN R. A., STONE C. J. ***Classification and Regression Trees.***
Wadsworth ,1984.
- NEMBHARD D.A. NEMBHARD H.B., ***A demerits control chart for autocorrelated data.***
Quality Engineering, 2000.
- DI FONZO T., LISI F., ***Serie storiche economiche.***
Carocci, 2005.
- Manuale Qualità interno dell'azienda
- Norma europea UNI EN ISO 9001:2008
- Slide di presentazione della filosofia lean aziendali
- Sito internet dell'azienda: www.carel.com
- Sito internet della norma tecnica IPC: www.ipc.org

Software utilizzati:

- Pacchetto statistico *RGui*
- Microsoft Office Excel 2003