

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA



FACOLTA' DI SCIENZE STATISTICHE

Corso di Laurea in Statistica e Gestione delle Imprese

TESI DI LAUREA

**PROCEDURE DI CONTROLLO DELLA QUALITA'
IN UNA PICCOLA IMPRESA**



Relatore: **prof. Silvano BORDIGNON**

Laureanda: **Erika VANZIN**

ANNO ACCADEMICO 2003-2004

INDICE

	<i>Pag.</i>
• INTRODUZIONE.....	1
• CAPITOLO 1: Lo stage e l'azienda.	4
1.1. Lo stage.	4
1.2. La tesi.	5
1.3. L'azienda.	5
1.4. Terminologia e definizioni nel controllo della qualità.	6
• CAPITOLO 2: Controllo della qualità in uscita (prima parte dello stage).	8
2.1. Controlli per l'accettazione dei prodotti.	8
2.2. Proposte di campionamento.	12
2.3. Problemi incontrati durante la stesura del piano di campionamento.	20
2.4. Impostazione della raccolta dati.	21
2.5. Elaborazione dei dati.	22
2.6. Risultati dell'elaborazione.	25
2.7. Conclusioni.	33
• CAPITOLO 3: Il controllo statistico di processo (seconda parte dello stage).	35
3.1. Introduzione.	35
3.2. Le carte di controllo.	36
3.3. Altri strumenti per il controllo statistico di processo.	42

- CONCLUSIONI 50
- BIBLIOGRAFIA 51

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni l'uso di metodi statistici per il controllo della qualità ha preso piede in tutti i settori, sia in quelli manifatturieri che in quelli che offrono servizi, ma non solo. Mentre prima, infatti, queste tecniche erano in uso solo in grosse aziende dove erano disponibili appositi uffici adibiti solo a queste funzioni, ora queste procedure sono sempre più richieste anche nelle piccole aziende. Ciò è dovuto al fatto che, per sopravvivere in un ambiente estremamente competitivo che si è venuto a creare recentemente, ciò su cui si punta maggiormente e su cui il cliente ha particolare interesse, è la qualità; per questo è divenuto necessario certificare la stessa. Norme a livello Europeo (ad esempio la recente norma ISO 9002), stabiliscono parametri di qualità standard che, se rispettati, garantiscono una qualità certificabile; queste normative sono basate tutte su metodi statistici, da qui la grossa diffusione, anche a livello di piccole e medie imprese, di questi metodi per il controllo della qualità.

Naturalmente la certificazione di qualità non si limita alle regole statistiche; ci sono innumerevoli norme che intersecano diversi campi e che servono a dare validità alla certificazione.

La norma internazionale specifica i requisiti di **gestione** per la qualità quando un'organizzazione:

1. Ha l'esigenza di dimostrare la sua capacità di fornire con regolarità prodotti che ottemperino ai requisiti dei clienti
2. Desidera accrescere la soddisfazione dei clienti tramite l'applicazione efficace del sistema.

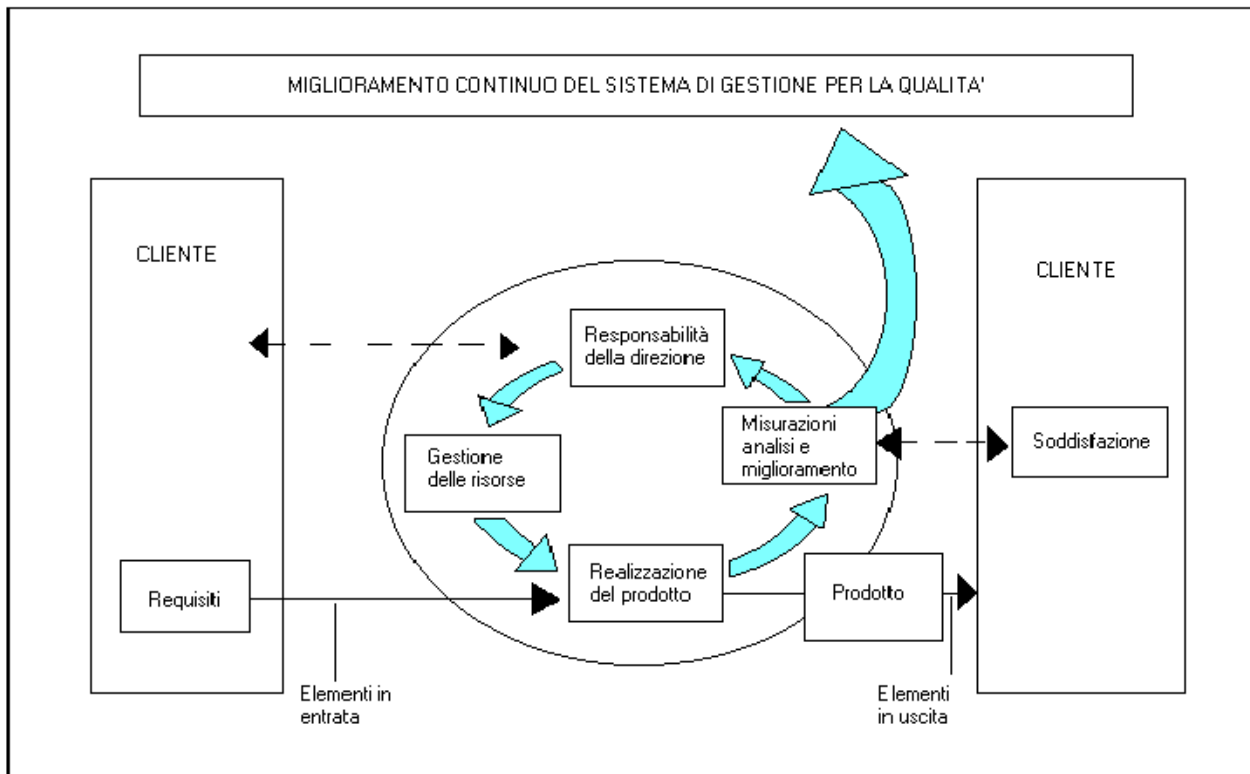


Fig.I.1. Schema del miglioramento continuo del sistema di gestione per la qualità.

Come si vede dallo schema, si tratta di un sistema complesso che coinvolge tutti i campi dell'impresa: dalla responsabilità della direzione, alla realizzazione del prodotto, alla soddisfazione del cliente. Dunque, un intricato sistema di norme coordinano e standardizzano tutto ciò che serve per migliorare la qualità.

Si tratta di un ambito molto più ampio rispetto a quello puramente statistico, infatti, si parla di gestione dell'intera impresa.

A noi, naturalmente, interessa solo la parte riguardante i processi statistici implicati in tale sistema di controllo della qualità, che riguardano le **Misurazioni , l'Analisi e il Miglioramento**.

Ecco un esempio di come viene definito il ruolo delle tecniche statistiche per il controllo della qualità nei documenti aziendali:

“L'utilizzazione di tecniche statistiche può aiutare a comprendere la variabilità e quindi può aiutare le organizzazioni a risolvere problemi e ad aumentare l'efficacia e l'efficienza.

Queste tecniche facilitano anche una migliore utilizzazione dei dati disponibili per aiutare a prendere decisioni.

Si possono riscontrare variabilità nel comportamento e nei risultati di molte attività, anche in condizioni di apparente stabilità. Tale variabilità può essere riscontrata nelle caratteristiche misurabili di prodotti e di processi e può verificarsi in varie fasi del ciclo di vita dei prodotti, dalle ricerche di mercato all'assistenza ai clienti ed allo smaltimento finale.

Le tecniche statistiche possono aiutare a misurare, descrivere, analizzare, interpretare e controllare tale variabilità, anche con un numero di dati relativamente limitato. L'analisi statistica di tali dati può aiutare a capire meglio la natura, l'estensione e le cause di variabilità, aiutando così a risolvere ed anche a prevenire eventuali problemi dovuti a tale variabilità e a promuovere il miglioramento continuo.”

Naturalmente, assieme a questi documenti vengono fornite le guide sulle tecniche statistiche in un sistema di gestione per la qualità.

Attraverso conoscenze di una ditta nella zona del Bellunese, ho proposto all'Ufficio Stage della Facoltà di Statistica, il progetto di iniziare un lavoro di controllo della qualità presso quest'azienda ed è stato accettato; da qui inizia il mio lavoro per la tesi.

CAPITOLO 1.

LO STAGE E L'AZIENDA.

1.1. Lo stage.

Lo stage è stato svolto presso la ditta Seri Errepi di Vanzin Romeo. In questa ditta era necessario portare avanti un progetto di controllo della qualità.

L'obiettivo è di impostare un lavoro di controllo statistico di qualità per una futura certificazione. L'impresa è alla prima esperienza in questo campo ed è necessario organizzare un lavoro soprattutto incentrato sull'acquisizione di una mentalità rivolta al campionamento e all'utilizzo delle tecniche statistiche per ottimizzare i tempi nei processi di controllo dell'intera produzione.

Il lavoro deve essere impostato da zero: non si hanno basi di progetti di questo tipo attuati in precedenza, per questo si cerca innanzi tutto di pianificare il lavoro.

Ho deciso, in accordo con chi mi seguiva all'interno dell'azienda, di impostare lo stage in due fasi diverse:

- Controllo della qualità in accettazione;
- Controllo di processo.

La prima parte del mio lavoro inizia con l'avvio di un programma di raccolta dati sulla qualità in uscita del materiale prodotto. Questo è stato realizzato attraverso tecniche di campionamento sui lotti che erano prodotti durante la giornata. Questo, naturalmente, non è sufficiente per migliorare un eventuale mal funzionamento della produzione così inizia la seconda parte del mio stage: l'impostazione di un programma per il controllo dei processi. Per la prima parte è stato possibile raccogliere i dati, per la seconda, invece, ho impostato un lavoro teorico da cui iniziare gradualmente un utilizzo di queste tecniche, a mano a mano che si entra nell'ottica del controllo della qualità. La difficoltà maggiore incontrata, infatti, durante tutto il periodo dello stage, non è stata l'applicazione delle tecniche teoriche alla realtà aziendale che mi circondava, ma i problemi che insorgevano quando ci si trovava di fronte al fatto di dover cambiare completamente il modo di lavorare fino ad allora utilizzato. Nonostante la prontezza e la disponibilità al cambiamento, i rallentamenti sono sorti perché i tempi necessari ad effettuare fisicamente il cambiamento sono relativamente lunghi. C'è da sottolineare il fatto che la vecchia mentalità non è sbagliata ai fini della produzione di prodotti di qualità, solo che non è a volte compatibile con i metodi statistici. Per avviare un progetto di questo tipo è necessario naturalmente un periodo di adattamento alle nuove tecniche di controllo che sono state profondamente modificate; per questo motivo per la prima parte del mio lavoro è stato possibile raccogliere dati: si trattava solamente di utilizzare tecniche di campionamento semplici e intuibili anche da parte di chi non aveva mai studiato statistica. La seconda parte risulta, invece, più complessa e necessita di tempi più lunghi per l'adattamento dei vari processi alla realtà aziendale; tempi che non sono compatibili con la durata del mio stage.

Questo stage comporta una revisione della propria organizzazione del lavoro, soprattutto quando si tratta di controllo della qualità in uscita, poiché bisogna introdurre nuove procedure che vanno ad influire sui normali processi che si ripetono giornalmente. Significa cambiare il modo di svolgere i controlli sulla merce per impostarli su un piano statistico. Si tratta di passare da un controllo in fase di confezionamento del prodotto finito sul totale dei pezzi prodotti, ad un controllo campionario che avviene prima di tale fase; ciò comporta naturalmente una riorganizzazione del lavoro.

Mentre da una parte ho lavorato per impostare linee di lavoro che più potevano essere utili alla realtà aziendale che mi si presentava, dall'altra ho cercato di spiegare, a coloro che non avevano una

base di statistica e di controllo della qualità, i passaggi che man mano mi accingevo a fare riscontrando, con piacevole sorpresa, che il mio lavoro era compreso e pienamente appoggiato. Questo mi ha aiutato molto soprattutto nella conoscenza della realtà “pratica” del lavoro che veniva svolto.

1.2. La tesi.

La tesi è stata svolta contemporaneamente allo svolgimento dello stage, suddividendosi in tre fasi principali della durata totale di quattro mesi. La prima di queste fasi ha come base l’inizio dello stage e, in contemporanea, lo studio teorico dei metodi statistici per il controllo della qualità. Questa fase dura all’incirca per tutto il periodo della prima parte dello stage, in pratica quella coincidente con il controllo della qualità in uscita. Successivamente con l’inizio della seconda parte dello stage (quella riguardante il controllo di processo), inizia anche la stesura vera e propria della tesi che procede in contemporanea al lavoro presso la ditta; inizio a scrivere i primi capitoli riguardanti l’introduzione e la prima parte dello stage. La terza ed ultima fase avviene a stage ultimato e riguarda le stesure delle ultime parti riguardanti il lavoro appena concluso e le conclusioni, nonché una revisione generale dell’intera tesi.

1.3. L’azienda.

Come già detto in precedenza lo stage è stato svolto presso la ditta Seri Errepi di Vanzin Romeo. La realtà aziendale è piccola, che rispecchia la tipica impresa del nord-est: composta di cinque operai dipendenti e una conduzione familiare.

L’azienda si occupa di tampografia, stampa, cioè, scritte e immagini su diversi materiali e oggetti attraverso macchine dotate di tamponi in silicone. Questi tamponi permettono di riprodurre con particolari vernici, qualsiasi tipo di grafica su superfici solide (non sono comprese le stampe sui tessuti, per le quali si utilizzano altre tecniche). Questo procedimento richiede diverse fasi di lavorazione che vanno dai vari trattamenti sui materiali grezzi necessari prima della tampografia, alla fase di stampa vera e propria, fino al passaggio nei forni per l’asciugatura del colore. Ogni fase è molto delicata e se non viene eseguita in modo adeguato, può andare a compromettere la qualità del prodotto finale.

L’obiettivo di quest’azienda è quello di produrre merci di ottima qualità; da un primo rapido sguardo ai prodotti in uscita, l’obiettivo sembra pienamente raggiunto, proprio per questo si pensa a un maggiore riconoscimento del proprio lavoro con una futura certificazione di qualità. Il motivo per cui è stato richiesto questo lavoro è appunto quello di impostare un procedimento di controllo dei processi coinvolti oltre che un’impostazione statistica che controlli (e renda certificabile) la qualità.

L’azienda lavora per conto di terze persone, stampando prodotti che vengono consegnati direttamente alla ditta. Ci sono diversi tipi di prodotti che vengono lavorati contemporaneamente su diverse macchine da diverse persone. Alcuni prodotti sono messi in produzione in maniera continuativa durante tutto l’arco dell’anno, altri, invece, risentono molto dell’effetto della stagionalità. La lavorazione per alcuni prodotti varia nell’arco della giornata poiché capita che le quantità fornite dal cliente siano esigue e frazionate durante l’arco della giornata lavorativa. Generalmente questi stessi prodotti vengono poi ritirati subito dal cliente perché necessari per la fase successiva della lavorazione; questo è un fatto che si è rivelato di notevole importanza nell’impostazione di un lavoro di controllo di qualità.

Cinque macchine durante la giornata sono funzionanti, quando termina un tipo di lavorazione su una di queste viene subito allestita per un'altra lavorazione; può capitare che una macchina venga riallestita più volte durante l'arco della giornata lavorativa poiché spesso le quantità di materiale a disposizione non sono di notevoli dimensioni e le scritte che vengono stampate richiedono più lavorazioni successive. Data la notevole complessità di alcuni lavori è posta molta attenzione in tutte le fasi della stessa, dal momento che un difetto nelle ultime fasi comporta una rilavorazione da zero del pezzo. A volte, infatti, si richiedono più colori sovrapposti uno sull'altro, questo naturalmente richiede che ogni colore sia stampato in una fase diversa della lavorazione; bisogna considerare tra una fase e l'altra il tempo necessario al colore per asciugare e fissare sul pezzo. A volte è necessario trattare i prodotti prima di stamparli altrimenti c'è la possibilità che la tenuta del colore non sia buona; anche questo andrà a influire sulla qualità del prodotto finale. Questi procedimenti molto laboriosi aumentano dunque la possibilità di produzione di pezzi difettosi, proprio per questo è necessario maggiormente un controllo su tutto ciò che viene prodotto; in alcuni casi anche durante tutta la lavorazione.

Per quanto riguarda l'organizzazione del lavoro è molto semplice: viene deciso di volta in volta cosa è necessario fare in base alle priorità di consegna nel breve periodo (le consegne sono giornaliere, dunque, si organizza il lavoro al massimo di una settimana), con eventuali cambiamenti durante la giornata a causa di diverse richieste del cliente. Si procede per ordine in base all'arrivo della merce in magazzino; ci sono più consegne di materiale grezzo durante la giornata anche dello stesso prodotto e lo stesso per i materiali finiti. Ciò comporta spesso un frazionamento del lavoro durante la giornata, con conseguente frequente allestimento delle macchine; ciò spesso è causa di perdite di produttività perché si moltiplicano i tempi morti tra la fine di una parte di produzione e l'inizio dell'altra. Questo può essere un problema nel lungo periodo giacché si genera una carenza della produzione, proprio per questo non può diventare la normalità, ma deve sempre restare nell'ambito dell'eccezione. Nonostante le varie interruzioni si cerca sempre di mantenere comunque un livello di qualità alto; questo è possibile prestando scrupolosa attenzione alle regolazioni in fase di avvio della produzione e controllo meticoloso dei primi pezzi lavorati. Ciò permette comunque di avere un buon livello di qualità ma dall'altra parte comporta un maggiore dispendio di tempo.

Come già detto, la produzione procede durante tutto l'anno con forti variazioni dovute alla stagionalità, mai, in ogni caso, da comportare una riduzione del personale durante i periodi con meno lavoro.

1.4. Terminologia e definizioni nel controllo della qualità.

Attributi: sono le caratteristiche della qualità che vengono espresse sulla base della presenza/non presenza di "difettosità".

Difetto: Per una caratteristica di qualità, è lo scostamento che si verifica in un prodotto dai requisiti desiderati per il normale impiego (il termine difetto è limitato alle non conformità che danno luogo ad un prodotto che non soddisfa i requisiti relativi all'impiego previsto).

Non conformità: per una caratteristica di qualità è lo scostamento che occorre in un prodotto dai requisiti di specifica. Le non conformità sono generalmente classificate in relazione al loro livello di gravità:

Classe A: comprende le non conformità considerate più gravi per il prodotto.

Classe B: comprende quelle non conformità che in ordine decrescente d'importanza sono del livello successivo.

Unità non conforme: è una unità di un prodotto che contiene almeno una non conformità. Le unità non conformi devono essere generalmente classificate in base alla gravità della loro non conformità. Per esempio

Classe A: una unità che contiene una o più non conformità di classe A e può contenere anche non conformità di classe B o C.

Classe B: Una unità che contiene una o più non conformità di classe B e può contenere non conformità di classe C, ma non può averne di classe A.

Percentuale non conforme: per qualsiasi quantità di unità prodotte, essa è cento volte il numero di unità non conformi diviso per il totale delle unità prodotte, e cioè: % non conforme = (numero di unità non conformi/ numero totale di unità) X100.

(I piani di campionamento nel collaudo per attributi sono indicizzati mediante la percentuale o la frazione di unità che in un lotto presentano scostamenti dai requisiti richiesti, oppure mediante il numero di tali scostamenti.)

Non conformità per cento unità: Esso è cento volte il numero di non conformità contenute nel lotto (una o più sono possibili su ciascuna unità di prodotto) diviso per il totale di unità prodotte, cioè: non conformità per 100unità = (numero di non conformità/ totale unità prodotte)X100.

Livello di qualità accettabile(AQL: Acceptable Quality Level): Quando si desidera una successione continua di lotti, è il livello di qualità che, per gli scopi del collaudo mediante campionamento, è il limite di un livello medio del processo ancora soddisfacente. L'AQL non è usualmente da intendersi come una specifica del prodotto, né come un valore di riferimento per il processo produttivo del fornitore. E' semplicemente uno standard rispetto al quale i lotti vengono giudicati. Si spera che il processo produttivo del fornitore operi ad un livello di produzione considerevolmente migliore di quello del considerato AQL.

Collaudo: è il procedimento di misurazione, valutazione, prova o qualsiasi altro modo per confrontare l'unità di prodotto con le specifiche adeguate.

Collaudo originario: è il primo collaudo di un particolare tipo di prodotto, distinto dal collaudo di un prodotto che viene ripresentato dopo una precedente non accettazione.

Collaudo per attributi: è il collaudo nel quale l'unità di prodotto è classificata semplicemente come conforme o non conforme, oppure viene conteggiato il numero di non conformità nella unità di prodotto, con riferimento ad un requisito, o ad un insieme di requisiti.

Unità di prodotto: è l'elemento esaminato per determinare la sua classificazione come conforme o non conforme o per contare il numero di non conformità. Esso può essere un elemento di un prodotto finito oppure il prodotto finito stesso.

Lotto: è un insieme di unità di prodotto dal quale viene tratto ed esaminato un campione, per determinare la conformità ai criteri di accettazione.

Numerosità del lotto: è il numero di unità di un prodotto in un lotto.

CAPITOLO 2

CONTROLLO DELLA QUALITA' IN USCITA (PRIMA PARTE DELLO STAGE).

La prima parte di questo stage inizia con un lavoro di controllo della qualità dei prodotti in uscita, nel momento, quindi, in cui sono pronti per essere riconsegnati al cliente. Sono, dunque, partita dall'analisi della situazione aziendale: il controllo del numero di prodotti effettivamente in lavorazione nel periodo, le dimensioni dei diversi lotti, la continuità con cui si mantiene la produzione.

Da quest'indagine esplorativa è risultato che i prodotti, che sono in questo periodo in produzione, sono essenzialmente cinque, ognuno su una linea produttiva propria. Le dimensioni dei lotti prodotti durante la giornata sono esigue, si va da un centinaio di pezzi per i lotti più piccoli, ad un migliaio per quelli più grandi. Queste dimensioni così esigue hanno creato qualche problema nelle fasi di selezione della numerosità campionaria, vista la quantità di pezzi scarti accettabili imposta dal cliente (tutti i clienti richiedono una percentuale di scarti non superiore al 3 per mille!); questo perché, essendo richiesta una qualità estremamente elevata, il numero di pezzi da controllare all'interno di campioni piccoli era relativamente elevato e ciò destava qualche preoccupazione ai dirigenti che avevano paura di uno spreco di tempo pari a un controllo totale del lotto. D'altro canto questa numerosità mi ha molto facilitato nella selezione dei pezzi durante il campionamento poiché non era difficile avere tutto il materiale a disposizione in uno spazio relativamente ristretto.

Di seguito saranno riportati i requisiti necessari perché un pezzo possa essere considerato conforme e i vari test effettuati sui prodotti che devono essere superati per essere considerati idonei e pronti alla consegna.

2.1. Controlli per l'accettazione dei prodotti.

I prodotti finiti devono superare alcuni test per essere ritenuti conformi. Parte delle prove sono comuni a tutti i prodotti, altre sono commissionate dal cliente per lo specifico prodotto.

I test che ogni prodotto finito deve superare sono: il controllo visivo della tampografia, la prova di tenuta a graffio e la prova di aderenza serigrafica.

Il controllo visivo della tampografia è quello fondamentale per l'accettazione del lotto, infatti, è quello che permette di identificare i difetti direttamente visibili. Per lo svolgimento di questa prova bisogna porsi sotto una luce che si avvicini il più possibile a quella naturale e molto forte (non particolari luci colorate che potrebbero forviare nel controllo di particolari scritte e colori), il pezzo viene posto a circa 40 centimetri di distanza dalla persona che deve controllarlo. Viene osservato il pezzo per circa dieci secondi, se si riscontrano evidenti difetti il pezzo viene considerato difettoso e di conseguenza scartato, se invece non ci sono problemi il pezzo passa al secondo controllo. Questa seconda fase richiede una maggiore attenzione e una conoscenza dei requisiti di conformità richiesti dal cliente. La tampografia viene visionata accuratamente per individuare piccoli difetti di colore che a prima vista non si notano: bordo della scritta irregolare, piccoli puntini cui manca il colore, ombre sulla scritta, zone opache o altre caratteristiche ritenute essenziali per l'accettazione del prodotto. Alcuni di questi difetti non sono tollerati, altri invece sì, ma vengono comunque stabilite le dimensioni di tali difetti oltre le quali il pezzo va considerato scarto. Quindi, con le tabelle di conformità stabilite dal cliente, si procede pezzo dopo pezzo al controllo.

Gli altri test previsti per ogni prodotto vengono eseguiti su poche unità giacché il test porta alla distruzione del lavoro fatto (di solito questi test vengono effettuati su pezzi già scartati dal controllo visivo). Si ritiene comunque di poter estendere il risultato del test a tutti gli altri elementi del lotto in

quanto prodotti nelle stesse identiche condizioni, con gli stessi materiali e con gli stessi trattamenti pre e post lavorazione che garantiscono la stessa tenuta in tutti i pezzi.

La prova di aderenza serigrafica si svolge ad almeno ventiquattro ore dalla produzione e consiste nell'applicare sulla parte tampografata un nastro adesivo ad alta collosità e togliendolo, con uno strappo deciso, successivamente; ogni cliente stabilisce la percentuale di scritta che può venire meno con questo procedimento oltre la quale si considera il pezzo non conforme.

La prova di tenuta al graffio procede come la precedente a distanza di almeno cinque giorni dalla produzione, con la differenza che prima la scritta viene segnata con una sottile lama in piccoli quadrati di un millimetro circa di lato. Sempre il cliente stabilisce la percentuale di quadrati che può al massimo venire asportata e oltre la quale si scarta il pezzo.

Queste prove si attuano ad un certo periodo dalla lavorazione per permettere al colore di fissarsi bene sul pezzo (tempo di polimerizzazione del colore), variano inoltre i tempi se ci sono particolari condizioni meteorologiche, oppure se il prodotto viene conservato in luoghi non propriamente idonei. Il colore, infatti, ha tempi più lunghi di aggrappaggio al pezzo se la temperatura è particolarmente bassa o l'umidità particolarmente alta, se dunque non c'è la possibilità di mantenere i prodotti in magazzini con temperature adeguate (a volte vengono conservati all'aperto al riparo dalle intemperie ma con temperature non controllate) i tempi possono variare non solo con le stagioni, ma anche con le singole giornate.

Queste due prove non vengono eseguite regolarmente, ma soprattutto in avvio di produzione di un nuovo prodotto quando si cercano le condizioni ideali di lavorazione (quando si prova la densità del colore, il tempo di permanenza nei forni e la temperatura degli stessi, ecc.), o comunque quando c'è la possibilità di avere pezzi già scartati per imprecisioni grafiche oppure quando le condizioni in cui i pezzi sono stati prodotti non sono ideali.

Altre prove che non tutti i prodotti richiedono, vengono eseguite anch'esse in avvio di produzione; queste possono riguardare ad esempio la resistenza a solventi, particolari elementi chimici che potrebbero venire a contatto con la scritta durante l'utilizzo del prodotto (ad esempio benzina o diluenti). Per ognuna di queste prove richieste esiste una documentazione che specifica il modo di svolgimento dei test.

Ogni prova di tenuta esige oltre il riconoscimento del lotto di provenienza, anche la registrazione di particolari condizioni verificatesi nel giorno di produzione e che potrebbero influire sulla tenuta del colore (ad esempio giornate particolarmente calde o fredde, problemi di mal funzionamento dei forni o altre condizioni anomale rispetto alla normale produzione).

Tutti i pezzi scartati vengono raccolti e lavorati nuovamente, se questo non comporta il peggioramento della superficie su cui deve essere ristampata la scritta o addirittura la distruzione del pezzo. Generalmente i pezzi possono essere lavorati un'ulteriore volta poiché la scritta può essere cancellata con particolari solventi o altre tecniche che non vanno ad intaccare la qualità del materiale grezzo; a volte, però, i provvedimenti utilizzati per correggere l'errore deteriorano il materiale, rendendolo inutilizzabile per una seconda lavorazione: il pezzo viene definitivamente perso.

Ogni tipologia di prodotto ha un diverso grado di accettabilità: ogni cliente stabilisce, cosa su un singolo pezzo, viene accettato oppure no. Alcuni richiedono che la scritta sia perfetta, senza nessuna sbavatura o parte di colore mancante, altri sorvolano di più su queste parti e, ad esempio, guardano se il colore ha zone opache oppure la tenuta della scritta. Tutti questi requisiti vengono stabiliti dal cliente che, in genere con i primi ordini, allega al prodotto anche un documento dove vengono specificati.

Un esempio pratico di tale documento è il seguente.

- *Controllo estetico:*

*Si applica la tampografia sullo specifico manufatto previsto come supporto.
La tampografia viene verificata visivamente a circa 40 cm di distanza.*

Non devono essere presenti in modo evidente difetti tipo:

- 1. puntinature sul materiale o sulla tampografia*
- 2. puntinature causate da corpi inquinanti all'interno del collante*
- 3. sbavature di tampografia*
- 4. tagli o lacerazioni dovuti a fustellatura e sfrido*
- 5. errata centratura delle varie zone di colore*
- 6. errata centratura della fustellatura*
- 7. difetti di applicazione (tipo bolle, parti non coperte,...)*

- *Dimensioni:*

le dimensioni delle tampografie e delle fustellature, dove non specificate quote precise, vanno verificate per sovrapposizione del pezzo al disegno esecutivo in scala 1:1.

- *Brillantezza:*

La misura della brillantezza va fatta con un glossmetro a testa riflettente con angolo di incidenza pari a 60 gradi.

La misura rilevata deve essere uguale a quella riportata sul disegno.

Nota: per le decalco trasparenti la brillantezza va misurata dopo aver applicato le stesse su fondo bianco.

Eventuali difformità devono essere approvate.

- *Il controllo di tonalità delle tampografie o dei colori base dei materiali, viene effettuato per comparazione visiva accostando il provino al colore base di riferimento richiamato nel disegno. Eventuali difformità devono essere approvate.*

- *Prova di aderenza serigrafia:*

La prova deve essere fatta ad una temperatura ambiente 20-25°C e dopo almeno 24 ore dalla stampa delle tampografie.

Si applica la tampografia sullo specifico manufatto previsto come supporto; attendere 24 ore.

Dopo aver sgrassato la parte, applicarvi un tratto di nastro adesivo del tipo precedentemente indicato e far aderire con le dita in modo completo. Attendere 15 secondi e poi effettuare lo strappo a 90 gradi rispetto la superficie del campione, iniziando lo strappo all'interno dei bordi del campione.

Non devono staccarsi parti di tampografia, se non minime.

- *Prova di tenuta a graffio:*

Procedere come la precedente dopo aver sezionato con una lama sottile la Tampografia (praticare quadrati con 1mm di lato).

Non devono staccarsi parti di tampografia, se non minime.

- *Prova di resistenza:*

- *Alcool: applicando tre newton su di un panno di cotone imbevuto con alcool ed eseguendo un movimento avanti-indietro (1 ciclo), i simboli/numeri non devono sbiadirsi prima dei cinquanta cicli.*

- *Adesività iniziale*

La temperatura di prova è quella ambiente (20-25°C).

Per le tampografie resinare la prova seguente va effettuata sul materiale base prima della resinatura.

Vengono preparati n° 3 provini aventi dimensioni 10x300 mm.

Viene poi fatto scorrere sopra al provino un rullo cilindrico avente diametro 100 mm, altezza 30 mm e massa complessiva di 4 Kg; si eseguono 5 passaggi totali.

La prova di adesione si effettua subito dopo l'incollaggio provocando il distacco del provino partendo da un estremo dello stesso e applicando una forza parallela al piano di giacenza del provino, facendo formare al campione un angolo di 180 gradi. La velocità di trascinarsi dovrà essere di circa 300 mm/min.

Per misurare la forza di distacco, si interpone un dinamometro tra l'estremità del provino e la macchina di trazione.

La prova va fatta su tre provini, quindi si effettua la media delle misurazioni.

La prova ha esito positivo se la forza misurata con il dinamometro soddisfa quanto indicato nella scheda tecnica relativa al materiale.

- *Prova con idropulitrice:*

La prova consiste nel sottoporre la superficie tampografata al lavaggio mediante idropulitrice

<i>parametri di utilizzo (*)</i>	
<i>pressione</i>	<i>130 bar</i>
<i>temperatura acqua</i>	<i>80°C</i>
<i>distanza dell'ugello al manufatto</i>	<i>20 cm</i>
<i>inclinazione del getto sul manufatto</i>	<i>45°</i>
<i>tipo di getto</i>	<i>a ventaglio o a lama, diametro=5mm</i>
<i>durata della prova</i>	<i>5 secondi</i>

Nota (): i parametri di utilizzo si intendono con tolleranza $\pm 10\%$*

Al termine della prova non devono distaccarsi parti di serigrafia, se non minime.

NORME DI ACCETTAZIONE

Le tampografie fornite dovranno superare tutte le prove indicate.

Ogni lotto di fornitura verrà sottoposto alle seguenti prove:

<i>Tipo di prova</i>	<i>pezzi provati</i>	<i>(*)</i>
<i>controllo estetico</i>	<i>AQL 1,5 Z4</i>	<i>AQL 1,5 Z4</i>
<i>dimensioni</i>	<i>nota(1)</i>	<i>0</i>
<i>brillantezza (ove possibile)</i>	<i>nota (2)</i>	<i>0</i>
<i>controllo tonalità</i>	<i>nota(3)</i>	<i>0</i>
<i>adesività iniziale (solo se indicato un valore nella scheda tecnica)</i>	<i>nota (2)</i>	<i>0</i>
<i>adesione delle serigrafie</i>	<i>nota (4)</i>	<i>0</i>
<i>prova con idropulitrice</i>	<i>nota (5)</i>	<i>0</i>

(): pezzi che possono non superare la prova.*

Nota(1):dove indicato in tabella, va provato 1 pezzo solo in campionatura.

Nota(2): dove indicato in tabella, va provato 1 pezzo ogni 1000, invece di 1 ogni lotto.

Nota(3): dove indicato in tabella, va provato 1 pezzo durante il controllo estetico con campionamento AQL 1,5 Z4.

Nota(4): dove indicato in tabella, va provato 1 pezzo ogni lotto.

Nota(5): dove indicato in tabella, va provato 1 pezzo in preserie commerciale e 1 in produzione.

A.Q.L 1,5 Z4 campionamento ridotto:

pz lotto	pz controllati	pz scarti tollerati
da 2 a 15	2	0
da 16 a 25	3	0
da 26 a 50	5	0
da 51 a 90	8	0
da 91 a 280	13	0
da 281 a 500	20	1
da 501 a 3200	32	1
da 3201 a 10000	50	1
....

IMBALLAGGIO

I pezzi devono essere imballati in modo tale da evitare loro danneggiamento durante il trasporto, l'immagazzinamento e la manipolazione.

Questo documento è tratto da un capitolato dato dal cliente al momento della prima consegna del lavoro.

Come si nota il cliente specifica anche le modalità di esecuzione delle prove specifiche da lui richieste e ritiene validi solo i test eseguiti nel modo da lui specificato.

2.2. Proposte di campionamento.

Dopo una breve panoramica sui test, per i vari prodotti, si passa alla fase pratica del lavoro che sono andata ad iniziare: il campionamento.

Il campionamento viene fatto per controllare che i lotti che andranno poi al cliente, abbiano un numero complessivo di pezzi scarti inferiore ad una certa percentuale voluta dal cliente stesso; se ciò non è, si ha la possibilità di rifiutare il lotto in uscita e di controllarlo totalmente; sostituendo i pezzi non conformi, la possibilità che il lotto sia successivamente rifiutato in accettazione dal cliente si abbasserà ulteriormente (addirittura nessun pezzo difettoso se si procede con il controllo totale). Tre aspetti del campionamento in accettazione sono importanti:

1. Lo scopo del campionamento in accettazione è di saggiare i lotti, non di stimare la qualità del lotto.
2. I piani di campionamento in accettazione non forniscono alcuna forma diretta di controllo della qualità. Il campionamento in accettazione semplicemente rifiuta o accetta i lotti. Il controllo di processo è utilizzato per controllare e migliorare sistematicamente la qualità, mentre non lo è il campionamento in accettazione.

3. L'uso principale del campionamento in accettazione è di assicurare che il risultato di un processo sia conforme ai requisiti richiesti.

Naturalmente questi tre aspetti riguardano il campionamento in accettazione, non il campionamento per il controllo di processo; in questo caso il campionamento serve al produttore per accertarsi che la qualità del suo prodotto rimanga ad un livello accettabile e, nel caso non lo fosse, per portarla a tale livello sostituendo i pezzi difettosi con un controllo totale del lotto. Il controllo in uscita serve dunque per migliorare la qualità del lotto ove possibile ed eventualmente fermare e riprogrammare la produzione nel momento in cui questa presenti grossi problemi e perciò la qualità non è assolutamente accettabile.

Dopo uno studio sullo svolgimento della produzione giornaliera, si è giunti a due possibili soluzioni per il campionamento da sottoporre alla visione dei responsabili e decidere assieme la migliore soluzione.

La prima proposta si basa sulla suddivisione del lotto di produzione giornaliero in quattro parti con quattro distinti campionamenti durante la giornata. Due campionamenti a metà produzione, cioè due ore circa dopo l'avvio della produzione, la mattina e il pomeriggio, e due a fine produzione, cioè alla fine della mattinata e al termine della produzione giornaliera. Questa proposta è stata fatta con l'idea di garantire una qualità di produzione durante la giornata lavorativa e l'eventuale tempestiva interruzione della produzione, in caso di qualità non sufficiente, per permettere di risolvere i problemi che portano ad avere pezzi difettosi.

La seconda proposta si basa sul controllo del lotto di produzione a fine giornata con un'unica estrazione di campioni; quest'idea si propone di risparmiare tempo per il campionamento in quanto si effettua una sola volta e non quattro come nel precedente, e permette inoltre di non fermare la produzione anche quando la qualità è sufficiente (ogni volta che la produzione si interrompe possono insorgere delle variazioni di condizioni che portano a un peggioramento della qualità). Per evitare che vengano prodotti grossi quantitativi di pezzi difettosi, si procede in ogni caso a un controllo a bordo macchina, visionando più volte durante la giornata alcuni pezzi; questo si fa per evitare che l'insorgere di errori sistematici (dovuti a un mal funzionamento della macchina), rovinino l'intera produzione della giornata.

Per entrambe le proposte il piano di campionamento è uguale: si effettuano estrazioni di un campione casuale, con numerosità campionaria data dalle tabelle MIL STD 105E, usate tra l'altro per le certificazioni ISO. Si tratta di campionamenti lotto per lotto per attributi. I diversi piani di campionamento utilizzabili sono:

1. Piani per il campionamento semplice: è una procedura di indagine di un lotto in cui è selezionato in modo casuale dal lotto di un campione di n unità, e la condizione del lotto viene determinata in conformità a tale campione. Il numero di unità esaminate deve essere uguale alla numerosità del campione indicata dal piano. Se il numero di unità non conformi trovato nel campione è uguale o inferiore al numero di accettazione, il lotto deve essere considerato accettabile. Se il numero di unità non conformi è uguale o superiore al numero di rifiuto, il lotto deve considerarsi non accettabile.

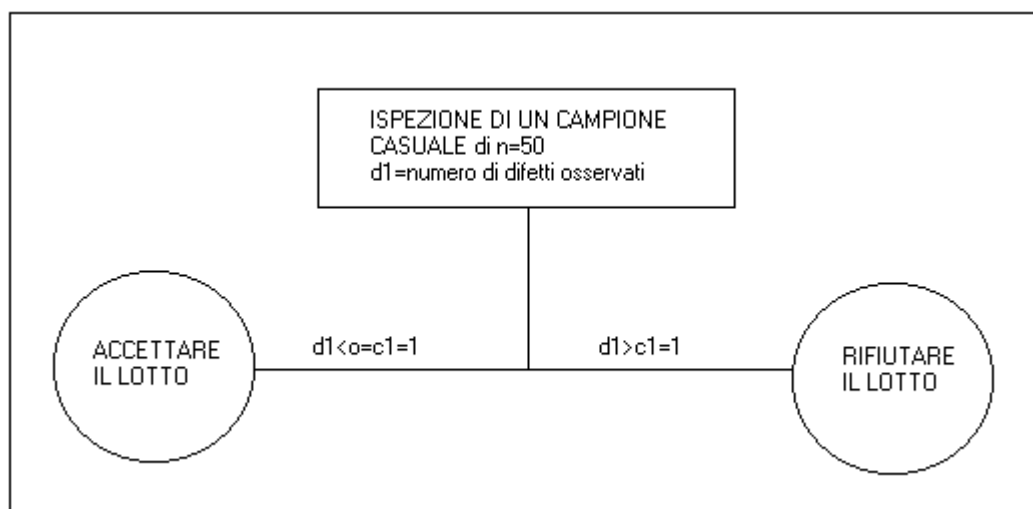


Fig.2.1.Procedura per il campionamento semplice, $n=50$ $c=1$.

2. Piani di campionamento doppi: dopo aver selezionato un campione iniziale, viene presa una decisione alternativa, basata sulle informazioni ricavate da tale campione, che consiste in: 1)accettare il lotto, 2)rifiutare il lotto, 3)prelevare un secondo campione. Il numero di unità del campione da esaminare in un primo momento deve essere uguale alla numerosità del primo campione indicata nel piano. Se il numero di unità non conformi trovate nel primo campione è uguale o inferiore al primo numero di accettazione, il lotto deve essere considerato accettabile. Se il numero di unità non conformi trovate nel primo campione è compreso tra il primo numero di accettazione ed il primo numero di rifiuto, si deve esaminare un secondo campione avente la numerosità indicata dal piano. Le unità non conformi trovate nel primo e nel secondo campione devono essere sommate. Se il totale di unità non conformi è uguale o inferiore al secondo numero di accettazione, il lotto deve considerarsi accettabile. Se il totale di unità non conformi è uguale o superiore al secondo numero di rifiuto, il lotto deve considerarsi non accettabile.

I vantaggi per questo piano di campionamento sono:

- Riduce l'ammontare di ispezioni richieste rispetto a un campionamento semplice
- E' possibile rifiutare un lotto senza un'ispezione completa del secondo campione (campionamento abbreviato al secondo campione)
- Ha il vantaggio psicologico di dare al lotto una seconda occasione

Il campionamento doppio offre essenzialmente due potenziali svantaggi:

- In determinate situazioni può richiedere più ispezioni totali di quante sarebbero richieste da un piano di campionamento semplice che offra la stessa protezione (va perduto il vantaggio economico).
- E' più complesso organizzativamente, il che può aumentare il rischio di incorrere in errori di ispezione.

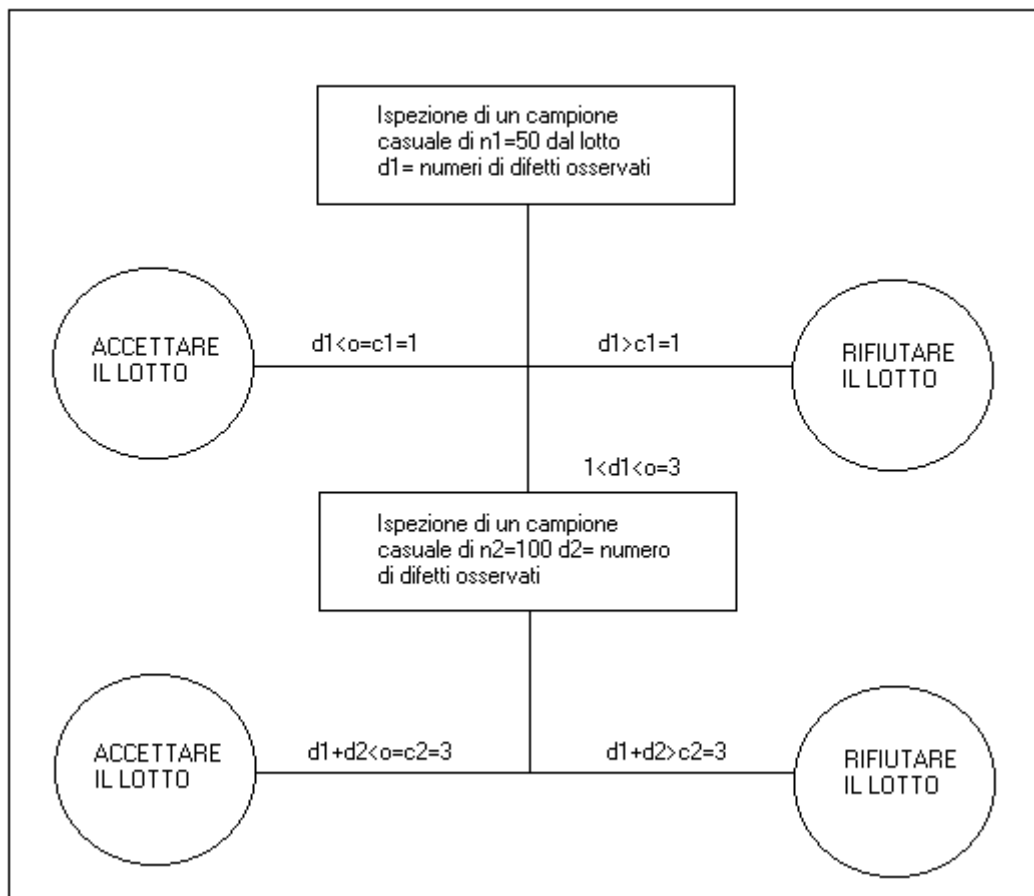


Fig.2.2. Procedura per il campionamento doppio, $n_1=50$, $c_1=1$, $n_2=100$, $c_2=3$.

3. Piani di campionamento multiplo: è una estensione del concetto di piano di campionamento doppio, in cui si possono richiedere più di due campioni per ottenere la decisione relativa alla situazione del lotto. Il numero di unità del campione da esaminare in un primo tempo deve essere uguale alla numerosità del primo campione indicata nel piano. Se il numero di unità non conformi trovate nel primo campione è uguale o inferiore al primo numero di accettazione, il lotto deve essere considerato accettabile. Se il numero di unità non conformi trovate nel primo campione è compreso tra il primo numero di accettazione ed il primo numero di rifiuto, si deve esaminare un secondo campione avente la numerosità indicata dal piano. Le unità non conformi trovate nel primo e nel secondo campione devono essere sommate. Se il totale di unità non conformi è uguale o inferiore al secondo numero di accettazione, il lotto deve considerarsi accettabile, altrimenti si procede con un altro campione (fino a un massimo di sette campioni, dopo di che si controlla l'intero lotto). Se il totale di unità non conformi è uguale o superiore al secondo numero di rifiuto, il lotto deve considerarsi non accettabile (bisogna comunque conseguire una decisione entro il settimo stadio). L'estensione massima del campionamento multiplo è il campionamento sequenziale, in cui le unità sono prelevate dal lotto una volta, e in seguito all'ispezione di ciascuna unità, viene presa una decisione sull'accettazione o il rifiuto del lotto, ovvero sul prelievamento di un'altra unità.

Il vantaggio principale di un piano di campionamento multiplo è:

- I campioni richiesti ad ogni stadio sono solitamente più piccoli rispetto a quelli richiesti dal campione semplice o doppio (economicità)

Lo svantaggio principale è che è molto complesso da impiegare.

In entrambe le ipotesi il piano di campionamento scelto è stato quello multiplo; questo perché analizzando i vari piani di campionamento è risultato il più idoneo per i motivi illustrati di seguito.

- Per lotti con numerosità elevata permette di verificare più unità campionarie prima di rifiutare definitivamente il lotto; dal momento che rifiutarlo comporterebbe una revisione totale di tutti i pezzi, questo è un aspetto da non sottovalutare visto che comporterebbe una mole di lavoro non indifferente.
- Per lotti con numerosità esigue comporta un controllo di quasi tutti i pezzi dando maggiori garanzie che il lotto eventualmente accettato, sia realmente buono.
- I prodotti con cui si lavora hanno un livello di tolleranza di pezzi scarti del tre per mille per ogni lotto. Questo significa che si lavora con livelli di accettazione molto bassi, se non addirittura nulli, per cui sono necessarie più campionamenti (a volte fino a sette) per avere un risultato certo di accettazione o di rifiuto.

Utilizzando le rispettive tabelle per individuare la numerosità campionaria, ci si accorge però di una situazione che comporta una revisione del piano di campionamento: la numerosità esigua dei lotti e il livello di precisione richiesto non sono compatibili con un piano di campionamento multiplo. Le stesse tabelle rimandano a un piano di campionamento semplice corrispondente, da qui si continua a utilizzare questo tipo di campionamento, tenendo presente che se aumenta la numerosità dei lotti (si suppone che il cliente non abbia motivo di richiedere un livello di qualità accettabile più basso!), il campionamento da utilizzare è quello multiplo.

Per entrambe le soluzioni si utilizza un collaudo di secondo livello (discriminazione normale) e si parte da un campionamento multiplo ordinario dal quale si può passare poi successivamente a uno ridotto o, al contrario, a uno rinforzato.

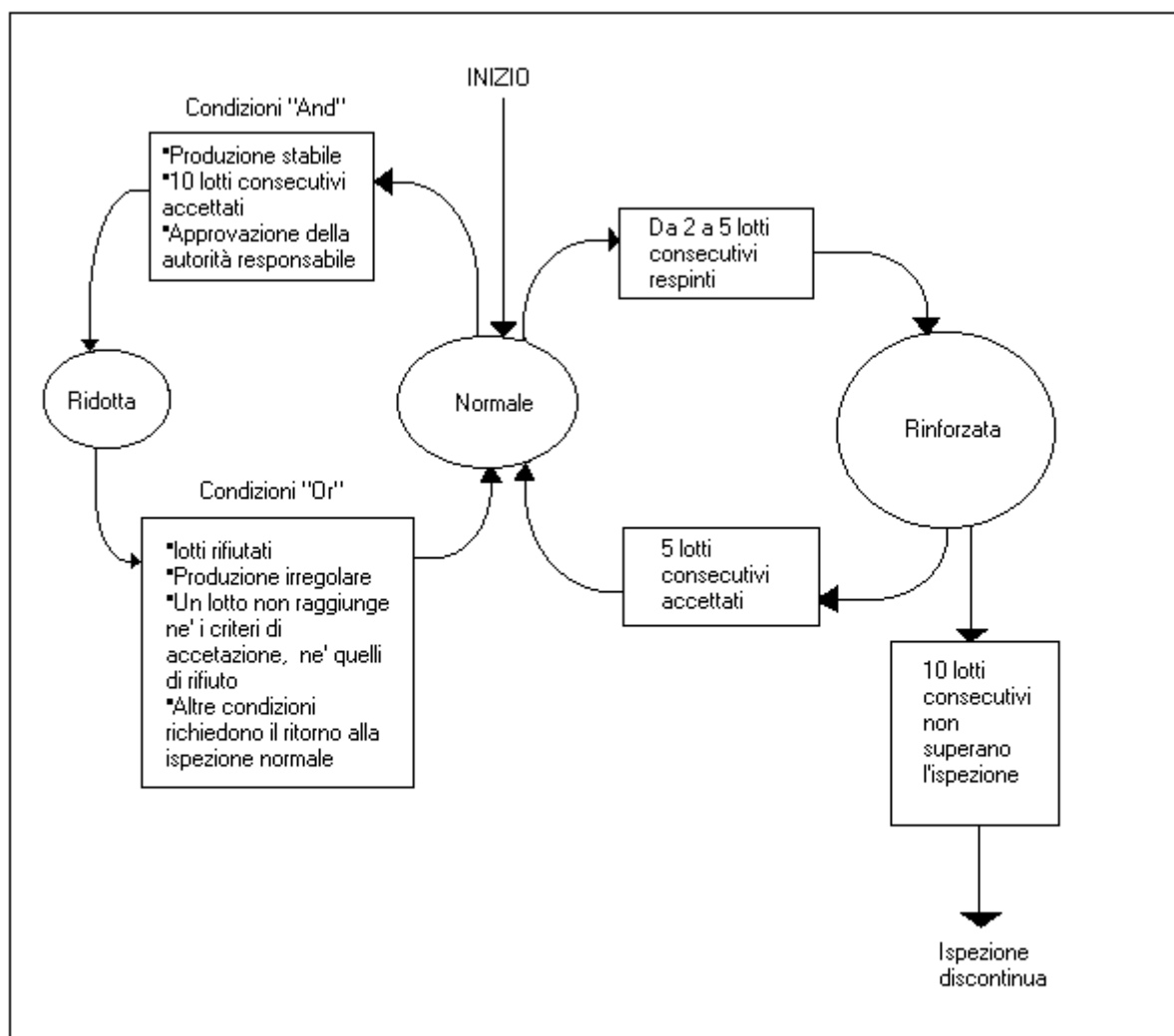


Fig.2.3. Regole di passaggio per ispezioni normali, rinforzate e ridotte nella MIL STD 105E.

Le regole per il passaggio da un tipo di campionamento all'altro sono le seguenti:

- Dal collaudo ordinario al rinforzato

Quando è in corso un collaudo ordinario si deve passare a quello rinforzato quando due lotti, su cinque o meno lotti consecutivi, sono risultati non accettabili nel collaudo originario, cioè ignorando i lotti ripresentati (dopo essere stati scartati una prima volta e lavorati successivamente).

- Dal collaudo rinforzato al normale

Quando è in corso il collaudo rinforzato, si deve tornare al collaudo ordinario quando cinque lotti consecutivi sono stati considerati accettabili al collaudo originario.

- Dal collaudo ordinario al ridotto

Quando è in atto il collaudo ordinario si deve tornare al ridotto se sono soddisfatte tutte le seguenti condizioni:

1. I dieci lotti precedenti sono stati presentati al collaudo ordinario e sono stati accettati tutti nel collaudo originario, e

2. Il totale di unità non conformi (o di non conformità) nei campioni dei precedenti dieci lotti è uguale o inferiore al numero limite appropriato dato dalle tavole. Se si usa un campionamento doppio si devono considerare tutti i campioni, non soltanto i “primi”; e
3. La produzione ha un ritmo costante; e
4. Il collaudo ridotto è considerato auspicabile dal responsabile.

- Dal collaudo ridotto a quello ordinario

Quando è in atto il collaudo ridotto, si deve ritornare a quello ordinario quando si verifica una qualsiasi delle seguenti condizioni:

1. Un lotto non è accettato, oppure
2. Un lotto è considerato accettabile con i criteri del collaudo ridotto: il campione può contenere un numero di unità non conformi o di non conformità per cento unità compreso tra i numeri di accettazione e di rifiuto; in questo caso il lotto viene considerato accettabile, ma viene reintrodotta il collaudo normale a partire dal lotto successivo. Oppure
3. La produzione diviene irregolare o dilazionata, oppure
4. Altre condizioni impongono un ritorno al collaudo ordinario.

Il livello di collaudo richiesto per ogni applicazione particolare deve essere deciso dal responsabile, il quale può richiedere un potere discriminante più elevato per alcuni scopi e meno per altri. I livelli di collaudo sono tre: I, II, III; se non vi è una disposizione diversa si usa il livello di collaudo II; questo livello è indicato come normale. Si usa il livello I quando è necessaria una minore discriminazione, questo richiede circa la metà dell’ammontare delle ispezioni del livello II; il livello III si usa quando è richiesta una discriminazione maggiore, questo livello richiede circa il doppio delle ispezioni del livello II. Ci sono anche altri quattro livelli speciali aggiuntivi: S-1, S-2, S-3, S-4; questi possono essere usati quando siano necessarie numerosità del campione relativamente piccole e possano tollerarsi rischi di campionamento elevati.

Si è deciso inoltre di utilizzare un programma di ispezione con rettifica (ispezione al 100% o setacciamento dei lotti rifiutati). Alcuni lotti verranno accettati, altri rifiutati. Quelli rifiutati saranno ispezionati al cento per cento e la frazione finale di elementi difettosi risulterà zero. I lotti provenienti dall’azione ispettiva sono un misto di lotti con frazione di elementi difettosi p e con frazione di elementi difettosi zero, di modo che la frazione media di elementi difettosi nel flusso della produzione sarà minore di p . Pertanto un programma di ispezione con rettifica serve a “migliorare” la qualità del lotto. Questi programmi vengono utilizzati sia in fase di produzione di semilavorato, sia nella fase finale di lavorazione della merce. L’obiettivo dell’utilizzazione in corso di lavorazione è di avere assicurazioni riguardo alla qualità media del materiale usato nella fase successiva della lavorazione.

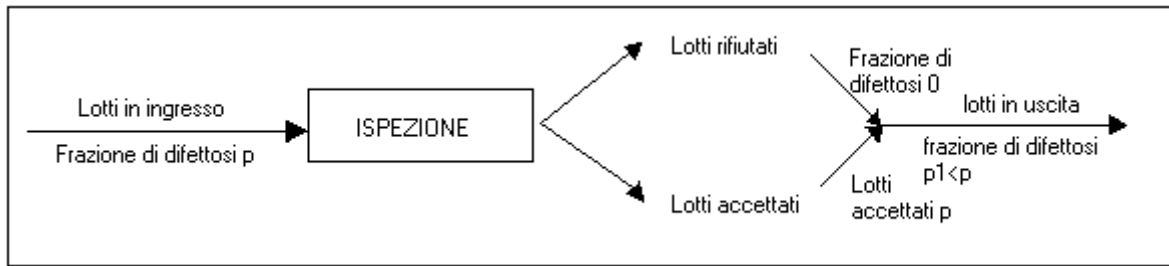


Fig.2.4. Ispezione con rettifica.

La procedura passo per passo per utilizzare le tabelle di piani standard è:

1. Scegliere il livello di qualità accettabile;
2. scegliere il livello di ispezione;
3. determinare la dimensione del lotto;
4. trovare la lettera codice appropriata per la dimensione del campione nella tabella;
5. determinare il tipo appropriato di piano di campionamento (semplice, doppio, multiplo);
6. utilizzare la tabella appropriata per individuare il piano da impiegare;
7. determinare il corrispondente piano normale o ridotto per l'ispezione da usare quando sia richiesto.

Da quanto si può notare analizzando le tavole la dimensione del lotto aumenterà, naturalmente, all'aumentare della dimensione del lotto; tuttavia, il rapporto tra la dimensione del campione e quella del lotto decresce rapidamente. Questo produce una significativa economia nei costi d'ispezione per unità quando si analizza lotti grandi. Per un dato livello di qualità accettabile (AQL: *Acceptable Quality Level*), l'effetto di questo aumento nella dimensione del campione all'aumentare della dimensione del lotto è di aumentare la probabilità di accettazione per lotti aventi quel livello qualitativo di AQL. La probabilità d'accettazione per un dato AQL varierà con l'aumento della dimensione del campione da circa 0.91 a circa 0.99.

La scelta tra le due ipotesi di campionamento è ricaduta sulla seconda. Si è preferito non interrompere per troppo tempo la produzione, in quanto questo poteva portare a peggioramenti della qualità nella ripresa, poichè potevano cambiare le condizioni ottimali (ad esempio il colore inizia a seccare, soprattutto se le temperature sono elevate). Il problema dell'interruzione tempestiva della produzione in caso di grossi problemi, è comunque superabile, perchè nel momento in cui la scritta viene stampata, c'è un controllo da parte dell'operatore che toglie il pezzo pronto dalla macchina e posiziona quello grezzo. Se particolari problemi dovessero insorgere tanto da creare evidenti difetti sulla produzione in questo momento l'operatore ha il tempo di osservare il pezzo e accorgersi dell'insorgenza di problemi; in questo caso verrebbe comunque fermata la macchina e risolto l'inconveniente. D'altro canto questa soluzione permette di non interrompere la produzione se questa procede bene.

2.3. Problemi incontrati durante la stesura del piano di campionamento.

Il campionamento ha i propri vantaggi e svantaggi.

I vantaggi sono:

1. è meno costoso perché ci sono meno ispezioni;
2. c'è meno maneggiamento del prodotto, quindi i danneggiamenti sono ridotti;
3. si può applicare nei casi di verifica distruttiva;
4. un minor numero di persone è coinvolto nelle attività ispettive;
5. spesso riduce la numerosità degli errori dell'ispezione.

Gli svantaggi sono:

1. vi è il rischio di accettare lotti "cattivi" e di rifiutare lotti "buoni";
2. si ottengono generalmente meno informazioni circa il prodotto o il processo di lavorazione del prodotto;
3. Il campionamento, al contrario di una ispezione 100%, una pianificazione e una documentazione della procedura di campionamento.

Il lavoro è iniziato impostando le due ipotesi per la suddivisione del campionamento (se campionare in quattro diversi momenti o solo a fine giornata): all'inizio la preoccupazione era rivolta non tanto ai prodotti già con una produzione consolidata, per i quali l'esperienza maturata con lunghi periodi di lavorazione portava a una produzione costante e buona, ma per quelli di recente acquisizione. Questi, infatti, potevano creare più problemi in fatto di qualità e una tempestiva interruzione della produzione poteva evitare il controllo dell'intero lotto di produzione e il rischio, in caso di mal funzionamento, di avere considerevoli quantità di pezzi da scartare. E' stato scelto comunque di procedere con un campionamento sull'intero lotto a fine giornata in quanto le quantità sono esigue e suddividere il lotto avrebbe comunque significato controllare l'intera quantità di pezzi prodotti e sarebbe stato sprecato molto più tempo.

Altro problema incontrato durante questa fase è il calcolo della numerosità campionaria. Inizialmente il calcolo è stato basato sulla formula della numerosità del campione casuale semplice:

$$n = \frac{p*(1-p)*(z^2)}{(e^2)}$$

$$n' = \frac{n}{1+n/N}$$

dove n : è la numerosità del campione

n' : è la numerosità corretta del campione

p : è la probabilità che il pezzo sia difettoso (di conseguenza $1-p$ è la probabilità che il pezzo non si difettoso)

- z: è il livello di fiducia accordato al campione (\sqrt{z} indica che è calcolato al quadrato)
- e: e' l'errore ammesso al campione, cioè la percentuale massima di campioni che non rispecchiano il vero andamento dell'intero lotto
- N: è il numero di pezzi medi giornaliero per lo specifico prodotto.

Non avendo dati precedenti su cui basarsi, sono state scelte le ipotesi peggiori e naturalmente la numerosità campionaria, soprattutto su piccoli lotti, era non proprio esigua. E' stato inevitabile che valori così elevati di elementi da campionare su lotti di numerosità esigua portassero a valutare altri metodi di campionamento. Così si è valutato il campionamento delle tabelle standard dai quali sono stati ricavati i dati di campionamento che, anche se non molto più piccoli, davano un risultato meno elevato. Ci si è, dunque, convinti che questa poteva essere la soluzione migliore e più rapida da utilizzare anche da parte di chi non conosce le regole della statistica.

Nel primo periodo inoltre è stato difficile impostare una raccolta dati in quanto non era ancora pienamente inserita in azienda la mentalità del campionamento e dell'analisi dei dati per controllo della qualità; si continuava infatti a confezionare i lotti subito dopo la produzione, con un controllo generale dei pezzi in questa fase, senza lasciare spazio al campionamento.

2.4. Impostazione della raccolta dati.

Dopo una prima panoramica sulle attività dell'azienda e la progettazione concettuale del piano di campionamento, si è passati alle fasi più propriamente pratiche per la raccolta e la registrazione dei dati. E' stato costruito un foglio di raccolta dati dove compare il nome del prodotto, la data, l'ora, i pezzi totali del lotto, i pezzi campionati, il limite di accettazione, il limite di rifiuto, i pezzi difettosi, accettazione/rifiuto del lotto, il numero totale di campioni selezionati dal lotto e il numero totale di pezzi difettosi.

					— nome del prodotto
data					— data del rilevamento
ora					— ora del rilevamento
pz tot.					— numero di pezzi totali del lotto
pz camp.					— numero di pezzi per campione
c					— limite di accettazione
r					— limite di rifiuto
pz dif.					— pezzi difettosi del campione
acc/rif/c.tot.					— accettazione o rifiuto del lotto
n camp. Contr					— numero totale di campioni controllati per lotto
pz.dif.tot.					— totale di pezzi difettosi per lotto (se rifiutato)

Tab.2.1. Foglio di raccolta dati.

Questo è un supporto cartaceo da utilizzare nel momento del campionamento e del controllo dei pezzi. E' stato poi realizzato un data base per la raccolta e la registrazione dei dati; in questo si registrano oltre ai dati del foglio di raccolta, anche informazioni sui prodotti e le caratteristiche e i parametri di accettazione degli stessi, infine anche dati su eventuali motivi di interruzione di produzione o particolari problemi (da registrare nella scheda di raccolta dati). Ogni altra registrazione di particolari problemi, oltre i normali dati raccolti sono stati ritenuti utili poiché potrebbero essere la spiegazione a improvvisi cali di qualità. Dopo questi preliminari preparativi si è potuto procedere con l'effettivo campionamento: sono stati raggruppati i pezzi prodotto per prodotto e poi si sono estratti gli elementi dei diversi campioni. Si è visto che la cosa è praticamente

fattibile quindi è stata adottata come procedura normale da fare tutti i giorni in chiusura della produzione. Sono state stabilite alcune regole base per la presentazione del prodotto al collaudo:

- **Formazione dei lotti:** Il prodotto deve essere raccolto in lotti nell'ordine in cui è stato prodotto. Ciascun lotto, nella misura del possibile è costituito da unità di prodotto dello stesso tipo, livello, classe, dimensione e composizione, fabbricato essenzialmente nelle stesse condizioni e nello stesso periodo.
- **Lotti più grandi sono preferibili a lotti più piccoli** (è economicamente più efficace ispezionare grandi lotti rispetto a quelli più piccoli).
- **Le unità dei lotti dovrebbero essere confezionate in modo tale da minimizzare i rischi di trasporto e di trattamento e da rendere relativamente facile la selezione delle unità per il campionamento.**
- **Presentazione dei lotti:** La formazione dei lotti, la loro numerosità ed il modo in cui ciascuno di essi deve essere presentato ed identificato, devono essere indicati o approvati dal responsabile. Se necessario, si deve prevedere un'area di immagazzinamento adatta, le attrezzature giuste per un'adeguata identificazione e presentazione, ed eventualmente il personale per tutte le movimentazioni del prodotto necessarie per il prelievo dei campioni.

Composti i lotti e disposti in modo da facilitare il campionamento, è iniziata la vera e propria estrazione dei pezzi e il controllo degli stessi. Al termine di ogni controllo di un lotto viene compilata la tabella di raccolta dati; se il lotto è accettato viene riposto in attesa di essere imballato e consegnato al cliente, se, al contrario, è rifiutato viene controllato per intero e i pezzi difettosi vengono messi da parte per una seconda lavorazione. Questi pezzi scartati possono essere utilizzati per le varie prove di tenuta, oppure direttamente trattati con appositi diluenti per togliere il colore e poi essere nuovamente stampati.

In questa fase il lavoro è puramente di raccolta e registrazione dei dati e si procede in questo modo finché non si hanno abbastanza dati per procedere alle varie elaborazioni sugli stessi. Quando è stato poi possibile iniziare con l'elaborazione dei dati le due attività si sono svolte parallelamente: da una parte si procedeva con la raccolta dei dati e dall'altra si elaboravano.

2.5. Elaborazione dei dati.

Di seguito verranno riportate le elaborazioni dei dati prodotto per prodotto, senza comunque mai citare i nomi né dei prodotti né dei clienti, per non violare la privacy delle persone non direttamente coinvolte nel progetto.

Si è finora parlato di livello minimo di qualità, vediamo ora di cosa si tratta. Il livello di qualità accettabile (AQL, cioè Acceptable Quality Level) è una caratteristica del processo produttivo del fornitore del prodotto; un acquirente normalmente stabilisce un piano di campionamento allo scopo di avere un rifornimento continuo di componenti con riferimento a un livello di qualità accettabile. L'AQL rappresenta il minor livello qualitativo per il processo produttivo del fornitore che l'acquirente può considerare accettabile mediamente. L'AQL non è normalmente da intendersi come una specifica del prodotto, né come un valore di riferimento per il processo produttivo del fornitore. E' semplicemente uno standard rispetto al quale i lotti vengono giudicati. Si spera che il

processo produttivo del fornitore operi ad un livello di produzione considerevolmente migliore di quello dell'AQL considerato. Rispetto agli standard dell'AQL l'acquirente stabilisce una percentuale di tolleranza di elementi difettosi in un lotto. Da questi parametri di tolleranza partono i controlli del fornitore sui lotti in uscita. Nel caso della nostra azienda sono stati utilizzati questi parametri di tolleranza per le decisioni di accettazione o di rifiuto dei lotti. Avendo i parametri che si aggiravano attorno al tre per mille di pezzi scarti in un lotto, sono stati usati come base di ricerca sulle tavole per campioni idonei a garantire un tale livello di pezzi difettosi in un lotto. Con parametri così restrittivi i livelli di accettazione e di rifiuto erano molto bassi e ciò comportava spesso a un rifiuto del lotto e un conseguente setacciamento dello stesso nella fase successiva. Questo comunque garantiva ottimi lotti in uscita con una conseguente maggiore soddisfazione del cliente e una maggiore sicurezza sulla qualità della propria produzione.

Il livello di qualità accettabile non è il solo dato da tenere presente durante questo progetto; questo, infatti, aiuta determinare la numerosità minima per avere poi dati attendibili, ma è solo l'inizio di un lavoro ben più esteso.

Di seguito riporterò le tabelle utilizzate per l'elaborazione dei dati, descrivendo il loro contenuto, ma non riportando i dati: mi sembra superfluo riportare centinaia di dati che vengono successivamente riassunti in modo esaustivo nei rispettivi grafici.

Ogni tabella da me utilizzata è composta dai seguenti elementi: numero di pezzi totali che compongono il lotto(N), numero di pezzi che compongono il campione(n), pezzi difettosi nel rispettivo lotto(d), la frazione di pezzi difettosi presenti nel lotto(p), la probabilità di accettazione del lotto(Pa), la qualità media risultante del lotto (AOQ) (visto che si utilizzano ispezioni con rettifica) e infine il numero globale medio di elementi ispezionati nel lotto(ATI). Il numero totale dei pezzi del lotto, la numerosità campionaria e il numero di pezzi difettosi, in realtà, servono come dati per calcolare gli altri elementi della tabella che risultano ben più interessanti dei primi. Analizziamo ora singolarmente ognuno di questi.

N	n	d	p	Pa	AOQ	ATI

(*) i riferimenti ai simboli utilizzati, sono stati dati precedentemente nel testo.

Tab.2.2. Tabella utilizzata per l'elaborazione dei dati.

La frazione di pezzi difettosi presente nel lotto, data dalla formula $p=d/N$, serve a rappresentare ciò che appunto il nome dice: la frazione di elementi che non sono conformi all'interno del lotto. La probabilità di accettazione del lotto, data da $Pa=\sum_{d=0}^c (n!/d!(n-d)!)p^d(1-p)^{n-d}$ è la probabilità che d sia minore o uguale a c; c è il numero massimo di pezzi difettosi che si possono trovare all'interno del campione perché sia accettato, se i pezzi non conformi superano questo valore c, allora il lotto sarà rifiutato. Nel nostro caso c è sempre uguale a zero, ciò perché con i limiti imposti dai clienti e le numerosità dei lotti che abbiamo a disposizione, le tabelle ci riportano ad un valore di rifiuto praticamente nullo.

La frazione di pezzi difettosi p e la probabilità di accettazione del lotto Pa, servono per costruire la curva operativa caratteristica (curva OC). Tale curva rappresenta la probabilità di accettazione del lotto in funzione della frazione di unità difettose. In pratica, essa mostra la probabilità che un lotto sottoposto a ispezione e che presenta una certa frazione di elementi difettosi sia accettato o rifiutato. La curva viene costruita portando sul grafico p, sull'asse delle ascisse, e Pa, sull'asse delle ordinate. La curva OC ideale si sviluppa orizzontalmente al livello della probabilità di accettazione Pa=1 fino al livello di qualità del lotto che è considerato "cattivo"; quando tale livello è raggiunto la curva cade verticalmente alla probabilità di accettazione Pa=0, quindi la curva continua

orizzontalmente per tutte le frazioni di elementi difettosi superiori al livello non desiderabile. Un esempio di curva OC ideale è il seguente



Fig.2.5. Curva OC ideale.

Naturalmente la curva OC ideale non si potrà mai avere nella realtà, in teoria potrebbe essere ottenuta solo con il 100% delle ispezioni, se esse fossero prive di errori. Comunque un modo per avvicinarsi a tale andamento della curva è quello di aumentare la numerosità del campione. La precisione con cui un piano di campionamento discrimina tra lotti di buona e cattiva qualità aumenta con l'aumentare della dimensione del campione. Quanto maggiore è l'inclinazione della curva OC, tanto maggiore è la capacità di discriminazione. Esistono due tipi di curve OC: quelle di "tipo A" e quelle di "tipo B". Nella costruzione di curve OC di tipo B si assume che i campioni provengano da un lotto grande o che si stia effettuando un campionamento da un flusso di lotti selezionati a caso nel processo produttivo. In queste condizioni, la distribuzione binomiale è l'esatta distribuzione di probabilità per calcolare la probabilità di accettazione del lotto. La curva OC di tipo A viene, invece, impiegata per calcolare le probabilità di accettazione di un lotto isolato di dimensione finita. Per questo caso l'esatta distribuzione di probabilità del numero di elementi difettosi nel campione è la distribuzione ipergeometrica. Bisogna sottolineare il fatto che, se la dimensione del lotto supera di almeno dieci volte quella del campione, le curve di tipo A e di tipo B sono virtualmente indistinguibili. Questa differenza è significativa solo quando la dimensione del lotto è piccola in relazione a quella del campione. Nel nostro caso sono state usate curve di tipo B in quanto le dimensioni dei lotti erano sufficientemente grandi e anche grazie al fatto che avendo sempre c pari a zero le due distribuzioni erano indistinguibili. In seguito vedremo le varie curve OC distinte per i diversi prodotti lavorati.

Altra parte della tabella è dedicata al calcolo della qualità media risultante o AOQ (Average Outgoing Quality). Questo perché si utilizza un piano di campionamento con rettifica, quindi con la sostituzione dei pezzi difettosi dei lotti che non sono stati accettati, con un conseguente innalzamento della qualità media in uscita. L'AOQ è data da $AOQ = (P_a p (N-n))/N$ ed esprime la qualità del prodotto che arriva al cliente dopo che sono stati controllati tutti i pezzi dei lotti rifiutati e sostituiti i pezzi difettosi incontrati. Quando la qualità in entrata è molto buona, anche la qualità media risultante è molto buona; al contrario quando la qualità dei lotti è molto scadente, la maggior parte dei lotti viene rifiutata e selezionata e ciò porta a un livello molto buono di qualità dei lotti in uscita. Costruendo graficamente la curva (con p in ascissa e AOQ in ordinata), tra questi due casi estremi, la curva AOQ sale, passa per un massimo e ridiscende. Il massimo in ordinata sulla curva AOQ rappresenta la quantità media peggiore che si riscontrerebbe da un programma di ispezione con rettifica.

Un'altra importante misura relativa all'ispezione con rettifica è l'ammontare totale di ispezioni richieste dal programma di campionamento. Se i lotti non presentano nessun elemento difettoso, nessun lotto sarà rifiutato e l'ammontare di ispezioni per lotto sarà la dimensione n del campione. Se gli elementi saranno tutti difettosi, ciascun lotto sarà sottoposto a un'ispezione del 100% e l'ammontare delle ispezioni per lotto sarà la dimensione N del lotto. Il numero globale medio di elementi ispezionati o ATI (Average Total Inspection) per lotto sarà $ATI = n + (1 - Pa)(N - n)$. Naturalmente anche per questa misura si costruisce il grafico ponendo sull'asse delle ascisse p e su quello delle ordinate i valori di ATI.

2.6. Risultati dell'elaborazione.

Passo ora a descrivere i risultati ottenuti con le elaborazioni dei dati raccolti. Andrò a fare un resoconto prodotto per prodotto (sono in totale cinque quelli che andrò a descrivere), precedendo i dati con una breve descrizione del prodotto, del lavoro che andava svolto ed eventualmente i punti critici ed i problemi di lavorazione.

Il primo prodotto che andrò a trattare sono le **maschere**. I lotti sono composti da circa 160 pezzi l'uno, ogni pezzo deve essere stampato con un'unica scritta monocolora. I pezzi sono di Nylon rigido e devono essere trattati prima della stampa per far sì che i pori della superficie siano aperti per ricevere il colore. Durante la raccolta dei dati si è notato un forte rifiuto dei lotti (circa l'81%), per questo è stata svolta un'indagine per scoprirne le cause e si è giunti poi alla conclusione che era colpa di materiali grezzi di scarsa qualità. Dalla raccolta dati sono emersi i seguenti risultati (tutti i grafici delle maschere hanno $n=50$ e $c=0$)

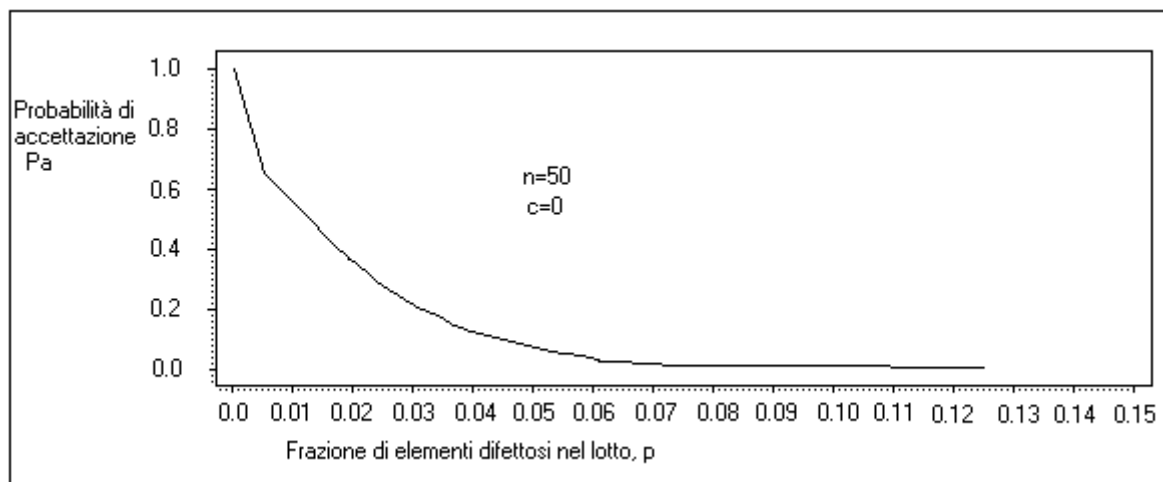


Fig.2.6. Curva operativa caratteristica delle maschere.

Come si vede dal grafico, la curva decresce molto rapidamente fino a quando la frazione di elementi difettosi non supera il valore 0.05, poi decresce molto meno drasticamente fino a raggiungere praticamente lo zero al valore 0.125 di frazione di elementi difettosi. Questo andamento della curva è dovuto al fatto che il valore del numero di accettazione è pari a zero ($c = 0$) e ciò fa cadere bruscamente la curva. Questo a volte può risultare antieconomico perché molti lotti verranno controllati al 100%, ma in questi casi è molto utile perché si è migliorata notevolmente la qualità dei lotti restituiti al cliente.

La ripidità della curva nella parte iniziale indica che essa ha un'alta capacità di discriminazione.

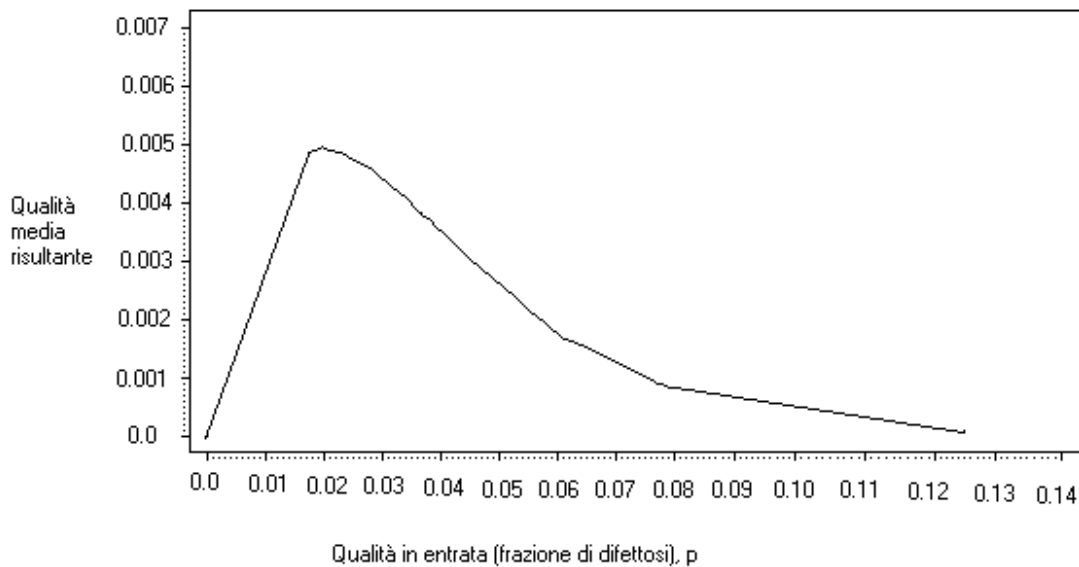


Fig.2.7. Qualità media risultante delle maschere, per $n=50$ e $c=0$.

Il grafico riportato sopra, invece, descrive l'andamento della curva AOQ. Si può notare la tipica forma a campana fortemente asimmetrica: cresce rapidamente da zero fino al picco massimo intorno al valore di p pari a 0.02, per poi decrescere altrettanto rapidamente fino al valore di p pari a 0.075; da questo valore in poi procede molto più dolcemente. Essendo il picco massimo della curva la qualità media peggiore, significa che nel nostro caso l'AOQ peggiore è pari a 0.005 cioè allo 0.5% di pezzi difettosi. Mano a mano che aumentano i pezzi difettosi in entrata, cioè p , a partire dal valore 0.02, migliore è la qualità in uscita: questo perché i pezzi difettosi vengono sostituiti con quelli buoni.

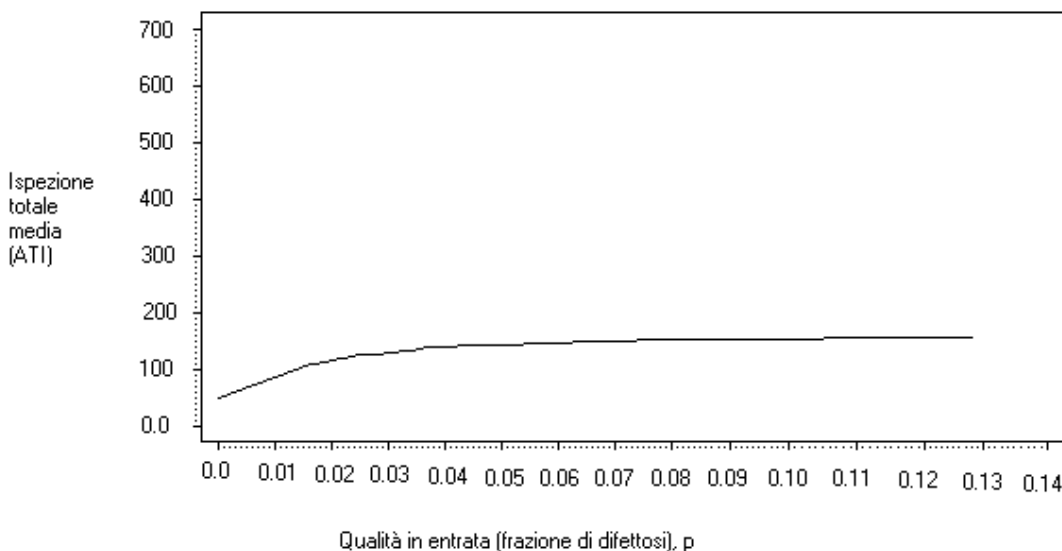


Fig.2.8. Curva di ispezioni totali medie (ATI) per le maschere, con $n=50$ $c=0$ e numerosità dei lotti pari a 200.

Il grafico della curva ATI segue l'andamento dei precedenti: cresce rapidamente fino a $p=0.05$ e poi rallenta notevolmente la sua ascesa. Come le altre due curve, il fatto che il numero di accettazione

sia pari a zero, modifica la forma originaria della curva con $c > 0$. Non si ha, infatti, la tipica forma a “S” allungata. Altro dettaglio da sottolineare è che ad una p pari a zero corrisponde un ATI pari a 50 (e non a zero!) perché questo è il numero minimo di pezzi estratti da ogni lotto, non ci sono lotti che vengono accettati (o rifiutati) senza che vengano controllati almeno 50 pezzi.

Possiamo ora passare a parlare dei **gambetti**. I lotti sono tutti delle stesse dimensioni pari a 300 pezzi; ogni pezzo è imballato singolarmente in appositi sacchetti e deve poi essere riposto, al termine della lavorazione allo stesso modo. La stampa è composta di due colori e quindi deve essere lavorato in due tempi; si è deciso di controllare comunque il prodotto a lavoro ultimato poiché la difficoltà (e i conseguenti difetti) sta nel fatto che a volte non si riesce a centrare la scritta fatta in un secondo momento con quella fatta nel primo. Questi pezzi devono essere trattati attraverso il calore prima della lavorazione per aprire bene i pori della plastica. Come il precedente trattamento, se non è fatto in maniera corretta e con la giusta temperatura, può compromettere definitivamente la successiva tenuta del colore.

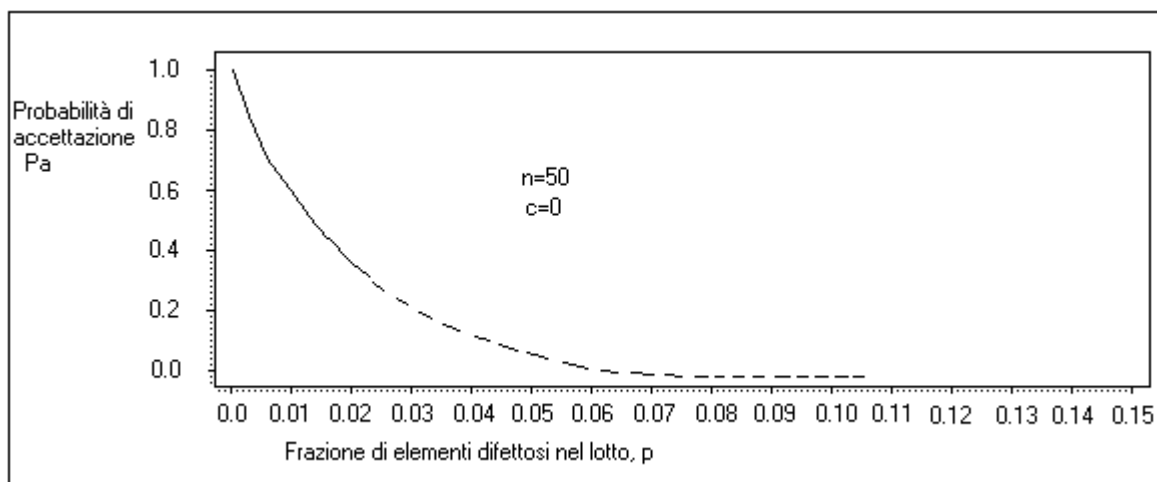


Fig.2.9. Curva OC dei gambetti.

Come si può vedere dal grafico riportato sopra, la curva OC per i gambetti non differisce da quella per le maschere: si ha una caduta altrettanto drastica che in quella precedente (la parte tratteggiata riguarda dati calcolati teoricamente perché non direttamente rilevati dai campioni). La curva decresce velocemente e in modo quasi lineare, non ci sono bruschi cambiamenti di inclinazione. Una cosa in comune con la precedente curva OC è la forma, diversa dalle normali curve OC con $c > 0$ (come per le maschere, anche i grafici dei gambetti sono basati sui dati: $n=50$ e $c=0$). In entrambi i casi si parte con una probabilità di accettazione pari a uno nel caso in cui la frazione di elementi difettosi sia pari a zero e si arriva ad avere una probabilità di accettazione pari a 0.3 nel caso in cui la frazione di elementi difettosi è pari circa a 0.024. Questo si spiega con il fatto che questo tipo di curva è basato su due valori essenziali: n e c . Essendo in entrambi i casi $n=50$ e $c=0$, si deduce che le due curve siano uguali; la differenza che si nota è dovuta al fatto che è diverso il numero di dati raccolti per i due diversi prodotti, infatti, quelli delle maschere sono esattamente il triplo di quelli dei gambetti.

Riporto di seguito i grafici riguardanti le curve AOQ e ATI per i gambetti

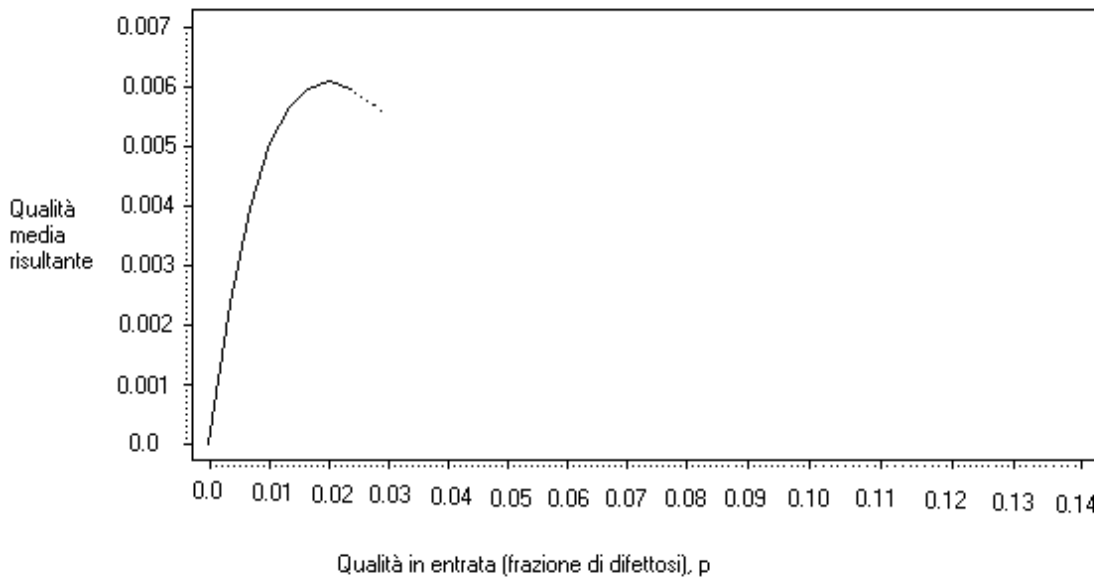


Fig.2.10. Qualità media risultante dei gambetti, con $n=50$ e $c=0$.

Si può notare anche in questo caso che la curva segue lo stesso andamento della precedente AOQ, con un picco massimo più elevato dovuto alla maggiore numerosità dei lotti e la parte di destra troncata ma con un lieve accenno che ricorda comunque il cambio di inclinazione della curva. La differenza si nota nel valore massimo raggiunto, 0.05 per l'AOQ delle maschere contro lo 0.06 per quella dei gambetti, ma a parte questo l'andamento è praticamente lo stesso nel primo tratto (quello praticamente confrontabile): crescita molto rapida verso il valore massimo.

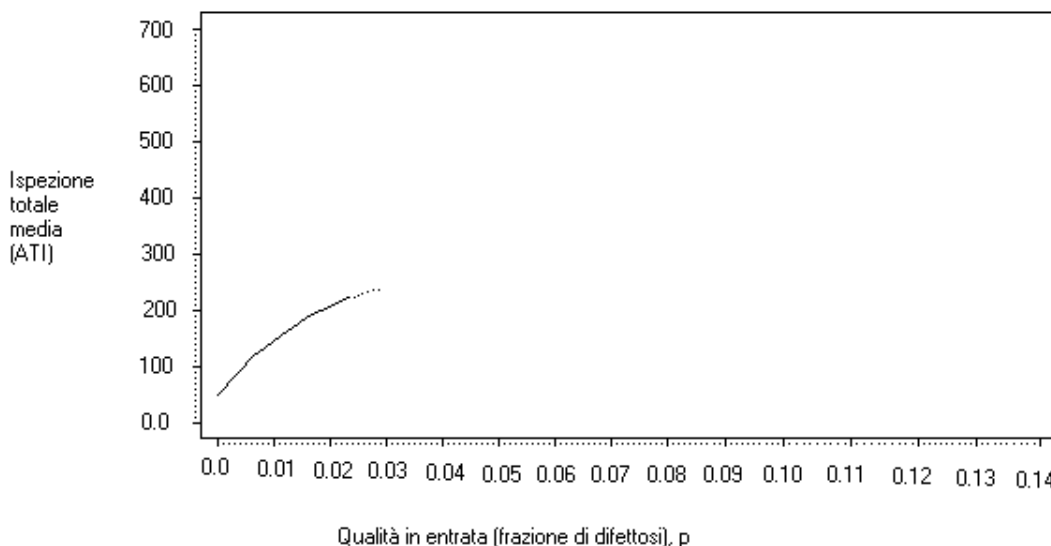


Fig.2.11. Curva di ispezioni totali medie (ATI) per i gambetti, con $n=50$ $c=0$ e numerosità dei lotti pari a 300.

Lo stesso discorso vale per la curva ATI dei gambetti nei confronti della stessa curva delle maschere: si ha una rapida crescita entro lo 0.25 della frazione di elementi difettosi. Di seguito non si hanno molti dati, ma si può dedurre che l'andamento sia come quello della precedente curva ATI, con l'unica differenza che sarà diverso il numero massimo di elementi controllati, dal momento che la numerosità dei lotti è diversa: in corrispondenza di una frazione di elementi difettosi pari a uno,

cioè che tutti gli elementi siano difettosi, il numero medio di pezzi controllati sarà pari alla numerosità totale del lotto, quindi diversa dalla precedente.

Di seguito verranno riportate le elaborazioni dei dati degli ultimi tre prodotti rimanenti.

Il primo dei tre prodotti rimasti è costituito dalle **lenti**, raggruppate in lotti di 1020 pezzi, anch'esse devono essere trattate prima della serigrafia come le maschere. Ogni campione è costituito da 50 pezzi e ha livello di accettazione pari a zero. Il secondo prodotto è costituito dai **frontalini** del citofono, questo a differenza di tutti gli altri non necessita di trattamenti pre stampa ed è raggruppato in lotti di 1200 pezzi. Anche qui la numerosità del lotto porta ad avere gli stessi valori di numerosità campionaria e livello di accettazione. Si hanno, infine, i **meccanismi** che si presentano in lotti da 1000 pezzi e che necessitano lo stesso trattamento con il calore dei gambetti e vale lo stesso per la numerosità campionaria e il limite di accettazione.

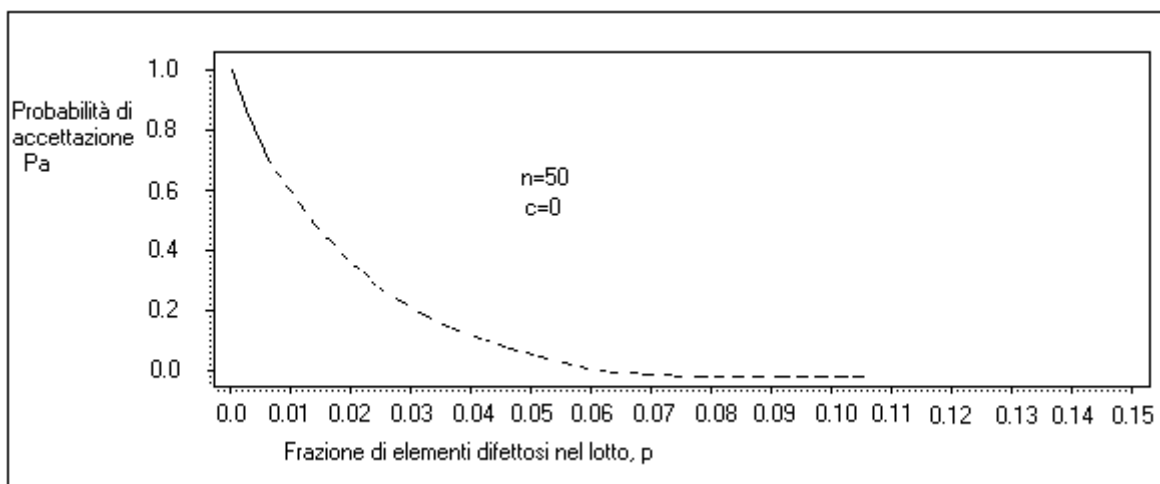


Fig.2.12. Curva OC delle lenti.

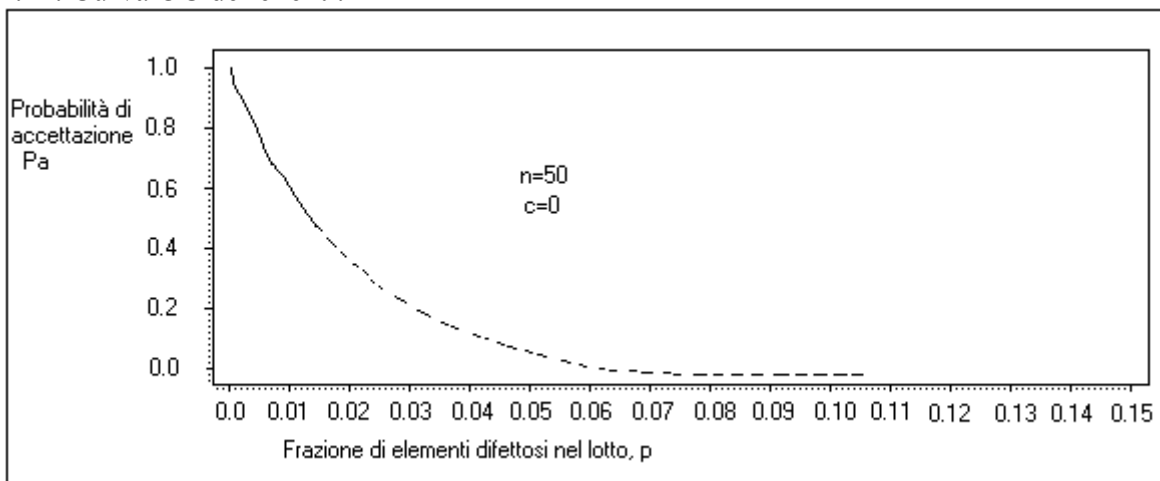


Fig.2.13. Curva OC dei frontalini del citofono.

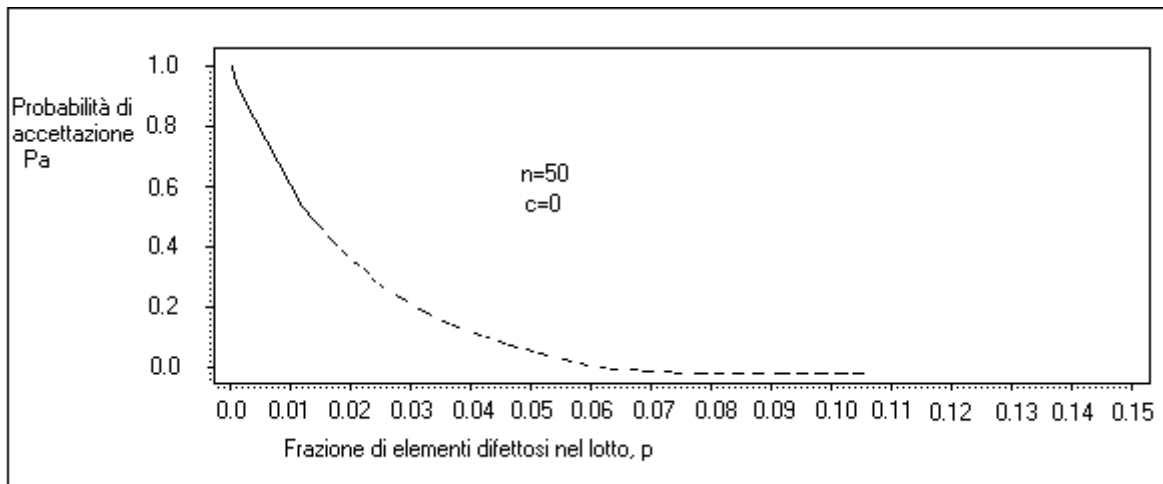


Fig.2.14. Curva OC dei meccanismi.

Il fatto che vengano presentati assieme questi tre prodotti, lo si desume dai grafici: come i due precedenti hanno la stessa curva OC. Decresce rapidamente nelle prime fasi e si deduce che successivamente, in presenza di altri dati, si presenti esattamente allo stesso modo, poiché i criteri di campionamento e di accettazione dei lotti sono esattamente gli stessi (come prima, la parte tratteggiata dei grafici corrisponde ai valori calcolati teoricamente perché non sono comparsi nei dati raccolti).

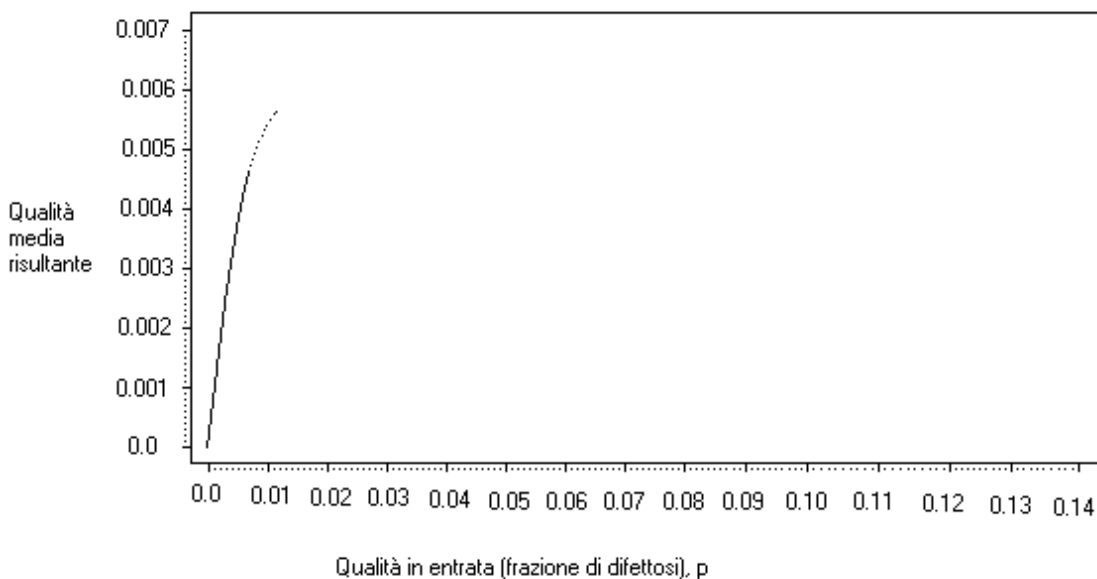


Fig.2.15. Qualità media risultante delle lenti, con $n=50$ e $c=0$.

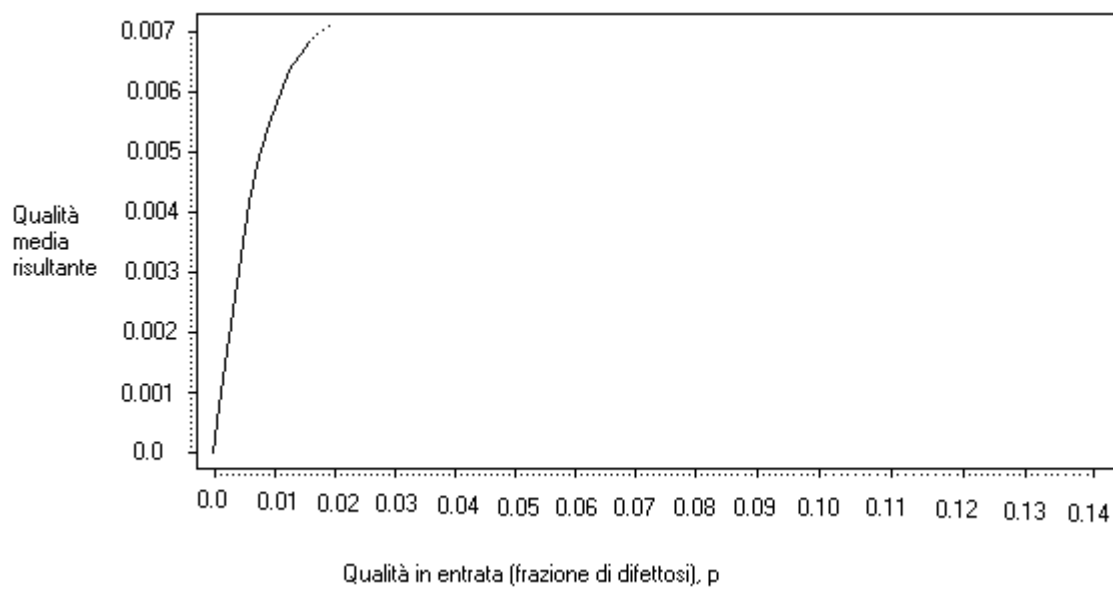


Fig.2.16. Qualità media risultante dei frontalini, con $n=50$ e $c=0$.

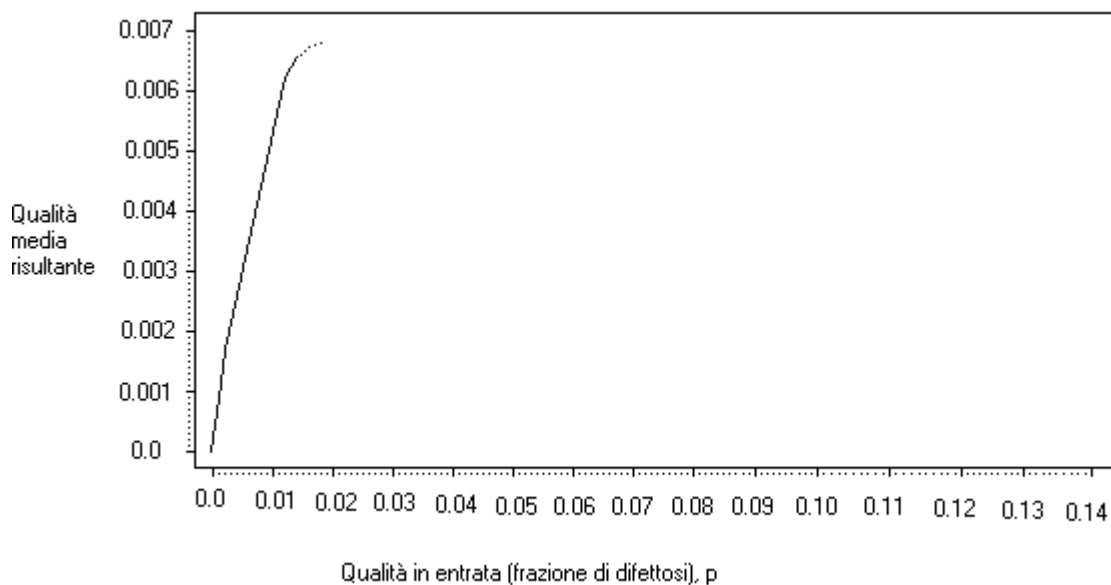


Fig.2.17. Qualità media risultante dei frontalini, con $n=50$ e $c=0$.

Medesimo andamento per tutti e tre i grafici anche in questo caso: come per i primi due, rapida crescita nelle prime fasi, con diversi valori massimi dovuti alla diversa numerosità dei lotti. I pochi dati non ci permettono di vedere l'andamento della curva successivamente, ma si ipotizza comunque un repentino cambio di pendenza e una brusca discesa verso i valori minimi, arrivando poi ad un certo punto in cui si ha una frenata nella discesa e un procedere lento verso i valori minimi.

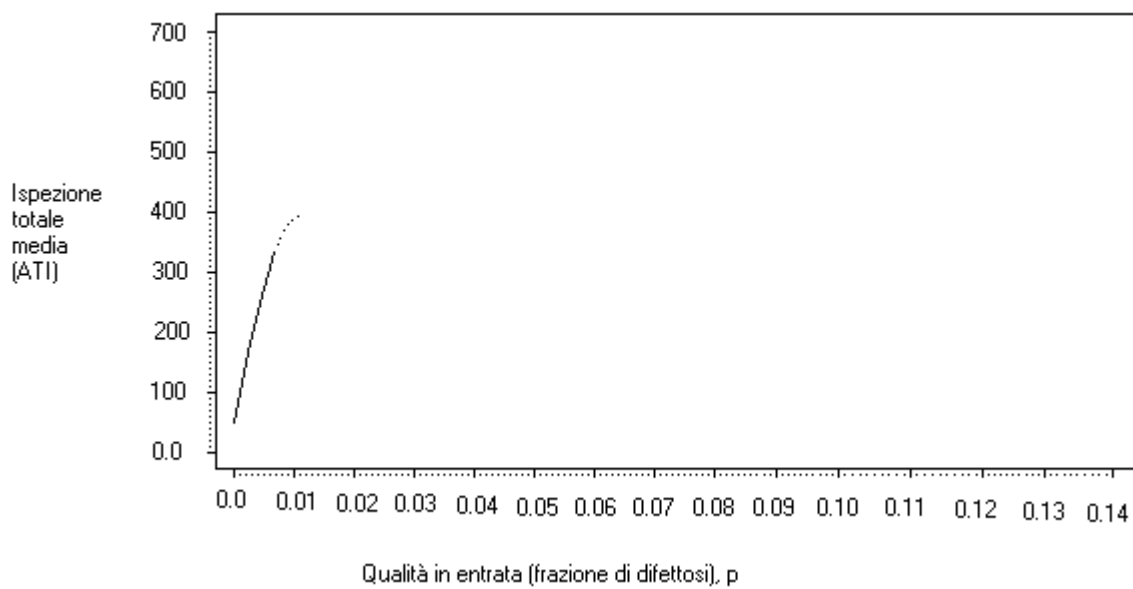


Fig.2.18. Curva di ispezioni totali medie (ATI) per le lenti, con $n=50$ $c=0$ e numerosità dei lotti pari a 1020.

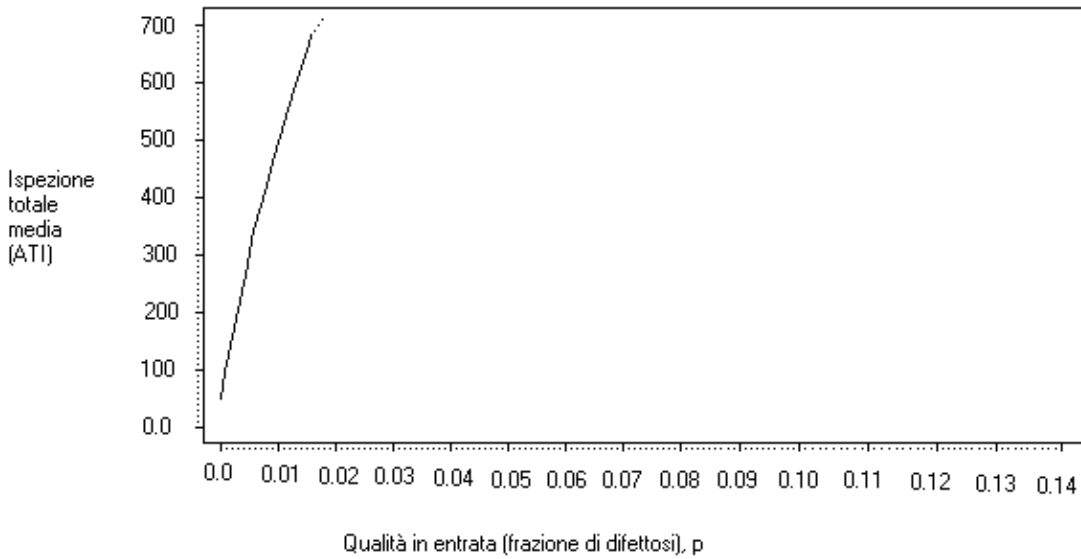


Fig.2.19. Curva di ispezioni totali medie (ATI) per i frontalini, con $n=50$ $c=0$ e numerosità dei lotti pari a 1200.

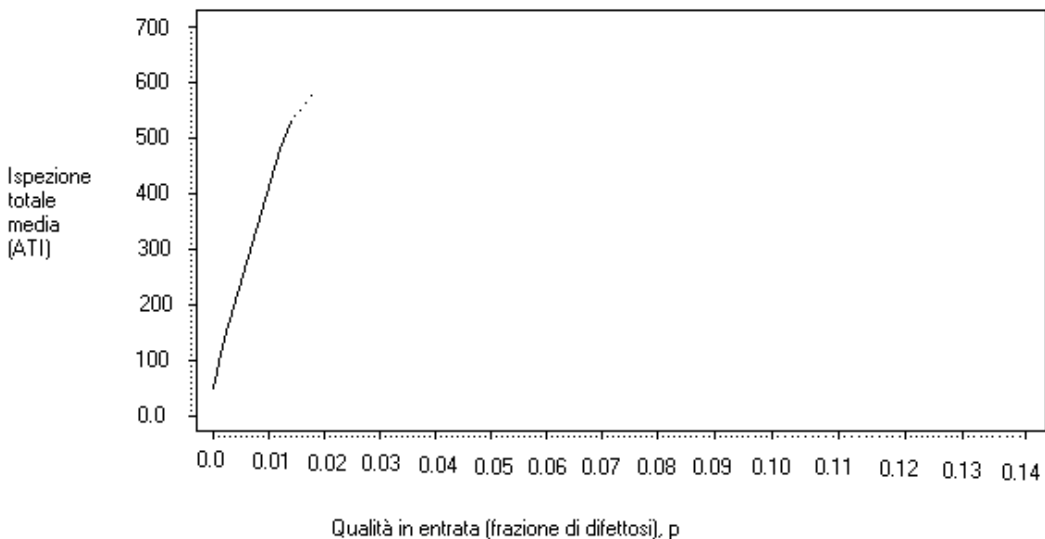


Fig.2.20. Curva di ispezioni totali medie (ATI) per i meccanismi, con $n=50$ $c=0$ e numerosità dei lotti pari a 1000.

Stesso discorso si può fare con i grafici ATI, dai quali si deduce lo stesso andamento dei due precedenti: i cambiamenti, ovviamente, si hanno nelle numerosità poiché si hanno lotti di differente grandezza, ma le forme delle tre curve restano le medesime, dal momento che ciò che caratterizza le stesse sono le numerosità campionarie e i livelli di accettazione, che, come si può notare, sono uguali per tutti e cinque i prodotti.

Dalle elaborazioni dei dati si può notare omogeneità nei risultati ottenuti; ciò è dovuto al fatto che le numerosità dei lotti portano ad avere un unico tipo di campionamento con numerosità campionaria uguale per tutti i prodotti ($n=50$) e lo stesso livello di accettazione ($c=0$). Tutti i grafici così ottenuti rispecchiano le stesse caratteristiche con lievi differenze dovute alle variazioni di numerosità totali dei lotti.

2.7. Conclusioni.

In questa prima parte dello stage la raccolta dei dati e, successivamente, l'elaborazione degli stessi sono stati l'attività principale. Ho impostato un lavoro che potesse dare una visione generale della qualità della produzione per poter successivamente impostare un lavoro di controllo dei processi di produzione. Questa fase, infatti, è stata molto utile in quanto non ci si è limitati ad una semplice raccolta di dati che permettesse di avere un'idea delle probabilità di accettazione dei lotti che uscivano dalla produzione. Vediamo, dunque, cosa si è potuto ricavare da questo lavoro.

In primo luogo, c'è stata un'impostazione di una nuova mentalità all'interno dell'azienda: controllo campionario dei lotti che devono essere restituiti al cliente. Si è preso, infatti, coscienza del fatto che il metodo del campionamento offre una importante opportunità: unire rapidità di decisione nell'accettazione dei lotti, con una buona sicurezza che la decisione presa rispecchi l'effettiva qualità del lotto.

Successivamente all'impostazione materiale del lavoro e la risoluzione dei problemi legati all'estrazione dei pezzi (in realtà minimi in quanto non sono particolarmente ingombranti e riposti su scaffali facilmente raggiungibili), ho iniziato una raccolta dei dati che ho successivamente elaborato, da cui sono nati i grafici di riferimento sopra esposti.

Naturalmente per procedere con il controllo di qualità, in modo da ottimizzare gli strumenti a disposizione, non è sufficiente un controllo in uscita della merce, ma è necessario ciò che ho realizzato nella seconda parte dello stage: un controllo dei processi che contribuiscono alla creazione del prodotto. Durante la raccolta dati della prima parte si è potuto lavorare anche in previsione di questo aspetto, infatti, ogni lotto rifiutato veniva controllato per intero. Da questi controlli si cercava di capire le cause di rifiuto dei lotti e identificare così i maggiori difetti riscontrati. Si è potuto dunque avere un quadro generale dei maggiori problemi riscontrabili e le cause dei maggiori difetti, permettendo nella successiva fase dello stage di avere già una base per impostare un lavoro di controllo dei processi.

Questo è dunque tutto ciò che si è potuto ricavare dalla prima parte dello stage, di seguito verrà illustrata la seconda parte.

CAPITOLO 3

IL CONTROLLO STATISTICO DI PROCESSO (SECONDA PARTE DELLO STAGE)

E' necessario fare una premessa con l'inizio di questo capitolo, a differenza della precedente parte dove è stato possibile raccogliere alcuni dati, in questa fase ho impostato un lavoro puramente teorico per dare un inquadramento di ciò che bisognerà iniziare ad attuare. Purtroppo i tempi limitati dello stage non mi permettono di procedere con una raccolta dati.

3.1.Introduzione.

Inizia questo mio lavoro con uno studio per impostare dei controlli di processo adeguati all'azienda. Ho cercato in primo luogo di entrare nel significato di questo termine: controllo statistico di processo. Dal momento che è difficile ispezionare o testare la qualità di un prodotto, è meglio che questo sia qualitativamente accettabile già in fase di produzione. Questo comporta alcune richieste: che il processo produttivo sia stabile e che le persone impegnate nella produzione, dagli operatori ai dirigenti, siano costantemente impegnate nel miglioramento di questo processo e nella riduzione della variabilità dei fattori coinvolti nella produzione. Il controllo statistico di processo, o SPC (*Statistical Process Control*), è lo strumento primario che permette di raggiungere tale risultato e le carte di controllo sono uno strumento per definire una procedura di controllo statistico di processo. Questo è, dunque, un insieme di potentissimi strumenti utili per raggiungere la stabilità del processo e per migliorare la produttività attraverso la riduzione della variabilità. Questo è necessario dal momento che un prodotto, per soddisfare le esigenze dei consumatori, deve essere il risultato di un processo produttivo stabile e ripetibile; questo processo deve essere in grado di produrre pezzi tali che la variabilità della qualità del prodotto sia più bassa possibile. Gli strumenti, dunque, utilizzati vengono chiamati i "magnifici sette" e sono:

1. Istogrammi e grafici “rami e foglie”
2. Fogli di controllo
3. Grafici di Pareto
4. Diagrammi di causa ed effetto
5. Diagrammi sulla concentrazione dei difetti
6. Grafici a dispersione
7. Carte di controllo.

La variabilità naturale (a volte chiamata “rumore di fondo”) è il risultato della somma dell’effetto di molti piccoli ma ineliminabili fattori costanti o casuali. Un processo la cui variabilità è causata dai soli fattori casuali è considerato sotto controllo. Altre fonti di variabilità che non siano riconducibili a fattori casuali vengono chiamate “fattori specifici” e un processo che funzioni in presenza di questi fattori è da considerarsi fuori controllo. Naturalmente questi fattori, che possono essere solo occasionalmente presenti nel processo produttivo, influiscono sulla qualità risultante dei prodotti e sono generalmente dovuti a tre fattori principali:

- Macchinari non ben funzionanti
- Errori dovuti agli operatori
- Materiali grezzi difettosi.

L’obiettivo primario del controllo statistico di un processo produttivo è di individuare più velocemente possibile il verificarsi di fattori specifici: quanto più veloce è l’individuazione delle cause, tanto prima potranno essere avviate manovre di correzione, così da evitare la produzione di molti pezzi difettosi. Per quanto non sia possibile eliminarla completamente, lo scopo del controllo statistico di processo è di eliminare la variabilità all’interno del processo stesso.

3.2. Le carte di controllo.

Poste per ultime nell’elenco dei “magnifici sette”, non sono per questo certamente da trascurare. Sono, infatti, lo strumento più potente a nostra disposizione per controllare i parametri di un processo e per determinare la capacità del processo stesso, nonché per l’individuazione rapida di fattori specifici e per eliminare la variabilità. Non è stato facile nella scelta della carta di controllo ideale per la nostra azienda e ho iniziato con lo stabilire dei requisiti per questa carta di controllo. Innanzi tutto, la carta di controllo utile al nostro scopo deve prendere in considerazione le non conformità dei prodotti e non valutare le misure delle grandezze, dal momento che i difetti che si vengono a creare non si possono misurare fisicamente con qualche strumento (non possono essere rappresentate numericamente). Si può utilizzare un solo tipo di carta di controllo anche se ci sono cinque diverse linee produttive, poiché queste linee sono pressoché tutte uguali tra di loro e non hanno differenze tali da dover richiedere diverse carte di controllo. Queste carte di controllo devono essere più semplici possibile, in modo da non rendere complicato e pesante il loro utilizzo ed evitare

che si possa incorrere in “pericolosi” errori, dal momento che le persone che andranno poi ad utilizzarle non hanno mai avuto a che fare con questi argomenti e devono partire dalle basi; per questo non devono complicare il lavoro di chi inizia questo progetto.

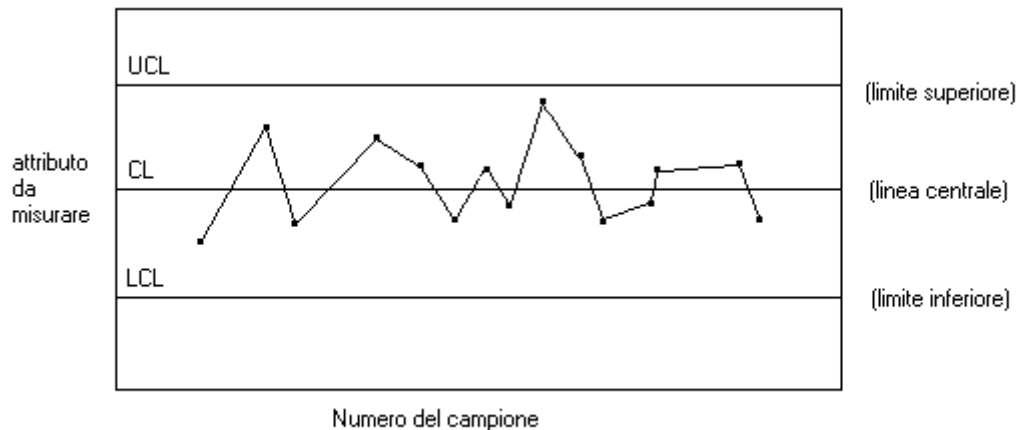


Fig.3.1. Esempio di carta di controllo.

Individuate le caratteristiche della nostra carta, la prima fase del nostro orientamento è stata facile: dal momento che le carte per variabili si basano su risultati di misure fisiche, abbiamo potuto escluderle a priori, concentrandoci solo sulle carte di controllo per attributi. Ho iniziato, dunque, analizzando questo tipo di carte di controllo per attributi. Le prime carte di controllo che ho preso in considerazione sono le **carte di controllo di Shewhart** che hanno caratteristiche comuni per tutte le carte. Tutte riportano una linea centrale (CL) che rappresenta il valor medio della qualità, hanno poi due linee orizzontali (poste una sopra e una sotto la linea centrale) che vengono chiamate linea di controllo superiore (UCL, *Upper Control Limit*) e linea di controllo inferiore (LCL, *Lower Control Limit*). Questi limiti di controllo vengono scelti in modo tale che, se il processo è sotto controllo, quasi tutti i valori campionari cadranno al loro interno e nessun intervento correttivo sul processo sarà necessario. Può capitare anche il caso in cui tutti i punti cadono all'interno dei limiti di controllo pur non essendo il processo sotto controllo. Tale situazione si manifesta con una sequenza di punti avente un andamento sistematico o non casuale: è questa una tipica indicazione del fatto che il processo non è sotto controllo. Se il processo è sotto controllo, ci si deve aspettare un comportamento casuale dell'andamento dei punti. Si possono fare due tipi di errori con queste carte: errore di I tipo (concludere che il processo è fuori controllo quando è sotto controllo), errore di II tipo (concludere che il processo è sotto controllo quando non lo è). Per avere una indicazione della sensibilità della carta di controllo, si può utilizzare una curva caratteristica della carta di controllo. La caratteristica principale delle carte di controllo di Shewart è che esse fanno uso unicamente delle informazioni sul processo contenute nell'ultimo istante di osservazione, ignorando tutte quelle precedenti. Per questo non rilevano le piccole modifiche del livello di processo; perciò si suggerisce di utilizzare queste carte corredate con ulteriori strumenti, quali test delle sequenze o l'uso dei limiti di pre-allarme. Altra alternativa alle carte di Shewhart sono le **carte CUSUM** (Cumulative SUM) o a “somme cumulate” e le **carte EWMA** (Exponentialy Weighted Moving Average) ovvero “a medie mobili pesate esponenzialmente”. A differenza delle altre carte, la carta CUSUM evidenzia piccoli salti di livello; essa incorpora direttamente tutte le informazioni disponibili, perché prevede di rappresentare graficamente le somme cumulate degli scarti tra le osservazioni ed un opportuno valore di riferimento. Dal momento che le carte CUSUM includono le informazioni di più campioni consecutivi, risultano più efficaci nello scoprire piccoli salti di livello del processo. In particolare esse sono particolarmente efficaci quando la numerosità campionaria è $n=1$. Anche le carte di controllo a medie mobili pesate esponenzialmente (EWMA) costituiscono una alternativa alle carte di Shewhart nel caso in cui si vogliano scoprire salti di livello di entità limitata. Anche questa carta,

come la CUSUM, viene tipicamente adoperata per le osservazioni singole. Dal momento che le EWMA possono esprimersi come media ponderata di tutte le osservazioni passate, e di quella corrente, risultano del tutto insensibili all'assunzione di normalità e costituiscono quindi lo strumento di controllo ideale nel caso di osservazioni individuali.

Nel caso di produzioni di breve durata trattare i dati qualitativi diviene estremamente semplice; il metodo più appropriato è di usare una carta di controllo standardizzata per l'attributo di interesse. Questo metodo consente di rappresentare sullo stesso grafico i dati di pezzi differenti, compensando in modo automatico il problema delle differenti numerosità campionarie.

L'uso più importante delle carte di controllo è quello di contribuire al miglioramento del processo; si è trovato che, in genere:

- La maggior parte dei processi non opera in condizioni di controllo
- L'uso delle carte di controllo sarà principalmente volto a identificare la presenza di fattori specifici
- La carta di controllo si limiterà a *individuare* i fattori specifici.

Nell'identificare ed eliminare i fattori specifici, è importante trovare la **causa principale**: intervenire con palliativi non contribuirà al miglioramento del processo.

Le carte di controllo hanno avuto un'ampia applicazione in tutto il mondo; cinque sono le ragioni di tale successo:

- Sono una comprovata tecnica per migliorare la produttività: un efficiente controllo della qualità riduce gli sprechi e la necessità di dover ripetere un lavoro
- Sono efficaci per prevenire la produzione di pezzi difettosi: aiutano a tenere il processo sotto controllo e quindi consentono di andare incontro al principio "farlo giusto sin dalla prima volta"
- Evitano di dover apportare inutili aggiustamenti sul processo produttivo: una carta di controllo riesce a mettere in evidenza la presenza di variazioni anomale. Questa soddisfa il principio "se non è rotto, non aggiustarlo"
- Forniscono informazioni diagnostiche: l'andamento dei punti campionari di una carta fornisce utili informazioni a operatori e ingegneri esperti per intervenire preventivamente sul processo prima che si sregoli, migliorando la resa del processo.
- Forniscono informazioni sulla capacità del processo e sulla sua stabilità nel tempo.

Tra tutte le varie carte di controllo studiate, quella che rispecchia i tre requisiti richiesti all'inizio (soprattutto quello di semplicità) è la **carta p** cioè la carta di controllo "per frazione di non conformi". La frazione di non conformi viene definita come il rapporto tra numero di unità non conformi in una popolazione e numero di pezzi che compongono quella popolazione. Le basi delle statistiche che sottostanno alle carte di controllo per frazione di non conformi sono riconducibili alla distribuzione binomiale. La frazione di non conformi campionaria viene definita come il rapporto fra il numero di unità non conformi presenti nel campione (D) e la dimensione del campione n : $p^{\wedge} = D/n$. Lo schema generico della carta di controllo è dato da: sia w una statistica campionaria che misura una certa caratteristica di un prodotto e si supponga che la media di w sia μ_w e la deviazione standard sia σ_w . L'UCL, la CL e l'LCL saranno, dunque:

$$UCL = \mu_w + L\sigma_w$$

$$CL = \mu_w$$

$$LCL = \mu_w - L\sigma_w$$

dove L è la “distanza” dei limiti di controllo dalla linea centrale, espressa in unità di deviazioni standard.

Un passo importante nell'uso delle carte di controllo è la *progettazione*. Con questa espressione intendiamo la scelta della dimensione campionaria, dei limiti di controllo e della frequenza del campionamento. Nella maggior parte dei problemi di controllo della qualità si è soliti progettare una carta principalmente sulla base di considerazioni statistiche. A queste vanno aggiunte anche considerazioni legate all'esperienza e altre di tipo economico.

Dunque la scelta dei limiti di controllo è un dei punti cruciali della progettazione della carta. Quanto più i limiti vengono posizionati lontano dalla linea centrale della carta di controllo, tanto minore sarà il rischio di errore di I tipo, ovvero il rischio che un punto si posizioni al di fuori dei limiti, indicando una situazione di fuori controllo, quando invece nessun fattore specifico si è manifestato. D'altra parte l'ampliare i limiti di controllo comporta un aumento del rischio di errore del II tipo, ovvero il rischio che un punto cada all'interno dei limiti di controllo quando di fatto il processo non è sotto controllo. Si può, dunque, posizionare i limiti di controllo sulla base di un multiplo della deviazione standard come visto in precedenza, ma ci sono anche altri modi di procedere. Si può, infatti, scegliere direttamente la probabilità da attribuire all'errore di primo tipo e quindi trovare il multiplo per la deviazione standard. Nei casi in cui la vera distribuzione della caratteristica oggetto di controllo non è sufficientemente nota, così da consentire l'individuazione dei limiti esatti, se si accetta di approssimare la distribuzione con la distribuzione normale si otterranno differenze minime sia che si scelgano limiti con un multiplo di sigma, sia che vengano scelti limiti con probabilità stabilita. Un altro tipo di approccio è quello di usare sulla stessa carta di controllo due differenti limiti.

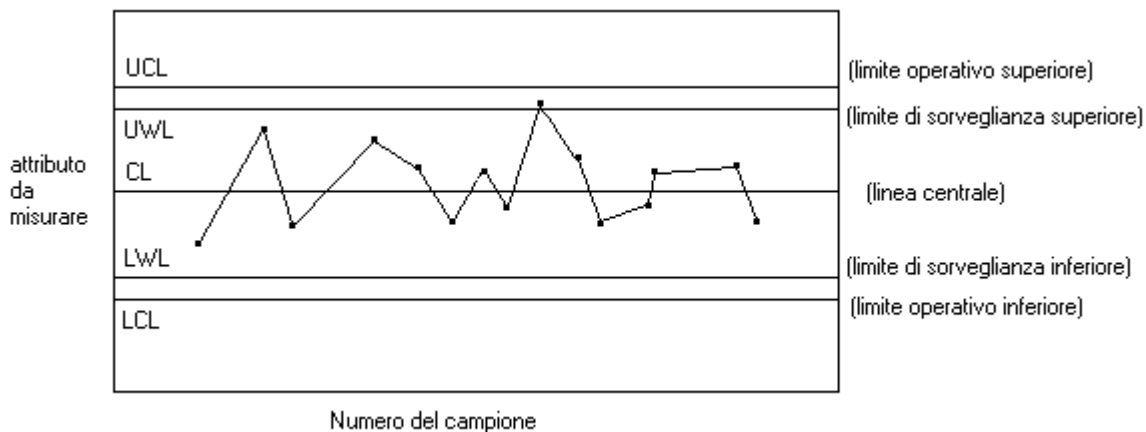


Fig.3.2. Esempio di carta di controllo con limiti di sorveglianza.

I limiti esterni sono gli usuali *limiti operativi*: quando un punto cade al di fuori di questi deve essere intrapresa una ricerca delle cause e devono essere predisposti eventuali interventi correttivi. I limiti interni vengono chiamati *limiti di sorveglianza* superiore (UWL, *Upper Warning Limits*) e inferiore (LWL, *Lower Warning Limits*) che vengono posti o con un multiplo più basso oppure una probabilità di errore di primo tipo più elevata. Se uno o più punti cadono tra i limiti di controllo e i limiti di sorveglianza o anche solo in prossimità dei limiti di sorveglianza, si deve ritenere che il

processo non stia funzionando correttamente. Per essere più certi di tale ipotesi, si è soliti aumentare la frequenza di campionamento e/o la dimensione del campione. L'uso dei limiti di sorveglianza può aumentare la sensibilità della carta di controllo e segnalare più rapidamente un eventuale spostamento del processo.

Nel progettare una carta di controllo bisogna specificare la dimensione del campione da analizzare e la frequenza di campionamento. In generale, quanto più grande è il campione tanto più facile sarà individuare piccoli spostamenti o regolazioni del processo. Per scegliere la dimensione campionaria ottimale bisogna avere presente qual è lo scostamento del processo che si vuole individuare più velocemente. Se si è interessati ad uno scostamento minimo, la dimensione campionaria dovrà essere più grande di quella che risulterebbe necessaria se l'interesse fosse per uno scostamento più ampio. La situazione ottimale sarebbe quella di poter esaminare grandi campioni di frequente, ma questa è una situazione sicuramente poco accettabile dal punto di vista economico. Si tratta di un problema di allocazione degli sforzi di campionamento: o si esaminano piccoli campioni di frequente o si esaminano grandi a intervalli più distanziati. Due strumenti utili per calcolare l'ottimale dimensione campionaria e la frequenza di campionamento sono la *lunghezza media delle sequenze* (ARL, *Average Run Length*) e il *tempo medio al segnale* (ATS, *Average Time to Signal*). L'ARL è il numero medio di punti che devono essere osservati prima che un punto cada al di fuori dei limiti di controllo: $ARL = 1/p$ dove p è la probabilità che un punto superi i limiti di controllo (p si può ricavare dalla curva OC per le carte di controllo). Il tempo medio al segnale ATS è invece il prodotto dell'ARL per l'intervallo medio di tempo intercorrente tra due campioni, e indica il tempo medio intercorrente tra due segnali di fuori controllo, se il tempo è supposto costante ed espresso in ore (h), allora $ATS = ARLh$.

Quando si inizia la progettazione delle carte p (quelle che più si adattano alla nostra situazione), si è soliti effettuare un'ispezione al 100% dell'intera produzione per un certo periodo di tempo. In tal caso la dimensione del campione e la frequenza di campionamento sono strettamente legate, essendo la frequenza in funzione del tasso di produzione, che condiziona a sua volta la dimensione del campione. Quando si intende invece procedere effettivamente con la scelta della dimensione n del campione, possono essere seguite vie diverse. Se p è molto piccolo, n dovrà essere molto grande per poter trovare nel campione almeno un elemento difettoso, oppure bisognerà progettare i limiti di controllo in modo che la sola presenza di un elemento difettoso produca un'informazione di fuori controllo. Può essere un po' forzata questa soluzione in quanto è comunque poco ragionevole che si decida di classificare un processo fuori controllo sulla base di un singolo elemento difettoso. Per evitare tale inconveniente è possibile scegliere un valore di n tale che la probabilità di trovare almeno un elemento difettoso nel campione sia almeno γ . Il campione (secondo Duncan) dovrebbe essere sufficientemente grande da garantire di avere circa il 50% di probabilità di individuare uno scostamento del processo di ampiezza data. Indicata con δ l'ampiezza dello scostamento del processo, si ha che n deve soddisfare la seguente espressione:

$$\delta = L \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

da cui n risulta pari a

$$n = \left(\frac{L}{\delta} \right)^2 p(1-p)$$

Sempre nel caso che la frazione di non conformi sia molto piccola, si può scegliere di avere una carta di controllo con un limite inferiore positivo, così da costringere indagini ulteriori ogni volta che il campione contenga un numero troppo piccolo di non conformi. Poiché si richiede che valga

$$LCL = p - L \sqrt{\frac{p(1-p)}{N}} > 0$$

ne consegue che $n > \frac{(1-p)L^2}{p}$

Per un corretto uso delle carte di controllo è importante il concetto di *sottogruppo razionale*. Con questo termine si intendono quei campioni scelti in modo che, se sono presenti fattori specifici, la probabilità di osservare differenze tra i campioni sia massimizzata mentre la probabilità di osservare differenze tra le unità che compongono il campione, a causa di fattori specifici, sia minimizzata. Due sono gli approcci per la costruzione di sottogruppi razionali.

Il primo suggerisce di costruire campioni in modo che contengano unità che siano state prodotte nello stesso istante temporale (o il più vicino possibile). Questo permetta di individuare scostamenti sistematici della produzione, perché minimizza la probabilità di avere una variabilità attribuibile a fattori specifici all'interno del campione mentre massimizza la probabilità di avere un'elevata variabilità tra i campioni se sono presenti scostamenti sistematici del parametro oggetto di controllo. Fornisce, quindi, una migliore stima della deviazione standard del processo.

Il secondo approccio per la costruzione di sottogruppi razionali consiste nella costruzione di campioni che siano rappresentativi della produzione intercorsa dall'ultimo controllo effettuato. Ciascun sottogruppo è un campione casuale della produzione ottenuta nell'intervallo di campionamento. Questo approccio viene usato quando si ipotizza che il processo possa uscire di controllo nell'intervallo di tempo intercorso dall'ultimo campione esaminato.

Esistono, inoltre, altri criteri per la costruzione di sottogruppi razionali. Si supponga, ad esempio, che un processo produttivo consti di diversi macchinari la cui produzione va a confluire su un unico punto di raccolta. Se campioniamo da questo punto di raccolta, sarà molto difficile stabilire se qualche macchinario è fuori controllo. La soluzione data dal principio dei sottogruppi razionali è ovviamente quella di applicare una carta di controllo per ogni macchinario. Questo rispecchia un po' il nostro caso: cinque diverse linee di produzione che necessitano ognuna di un controllo sul proprio prodotto (in questo caso diverso dagli altri delle altre linee produttive), quindi una carta di controllo per ogni linea. Già si è dunque fatta una distinzione di sottogruppo razionale nel nostro caso; si deve comunque dire che serve avere una visione degli scostamenti sistematici della produzione, per cui si preferisce utilizzare il primo approccio per la costruzione di sottogruppi razionali all'interno delle varie linee produttive.

Si è scelto per il nostro caso, dunque, una carta p e si è deciso per praticità di utilizzare dei limiti a 3-sigma con dei limiti di sorveglianza posti a 2-sigma. Per stabilire la frazione di non conformi si sono utilizzati i dati raccolti nella prima parte dello stage. È noto che i clienti non desiderano lotti con più del 3 per mille circa di pezzi difettosi, dunque è stato preso questo come riferimento di limite superiore; da questo riferimento si sa che $UCL = 0.003$ e da qui si parte per calcolare un opportuno p standard che permette di rimanere nei limiti della qualità considerata accettabile attraverso le formule sottostanti. Dunque la linea centrale e i limiti di controllo della carta per la frazione di non conformi vengono definiti come segue:

$$UCL = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

$$CL = p$$

$$LCL = p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

Naturalmente l'obiettivo sarà quello di portare il più possibile il valore della linea centrale verso lo zero per avere il minor numero di pezzi scarti; in questo caso un superamento del limite di controllo superiore comporterà un aggiustamento del processo che è peggiorato, mentre un superamento del limite inferiore avverte che il processo è migliorato e perciò bisogna stabilire anche per ciò le cause e vedere se possono essere dei suggerimenti per un miglioramento stabile del processo produttivo. Quando si lavora con valori di p preassegnati, come nel nostro caso (tipicamente posto come valore obiettivo), bisogna interpretare la carta corrispondente con cautela. E' in genere difficile conoscere a priori il vero valore di p del processo per cui valori osservati fuori controllo potrebbero essere tali se si fa riferimento al valore p scelto, ma essere sotto controllo con riferimento al vero valore p (incognito) che caratterizza il processo. In questo caso risultano utili i risultati raccolti nella prima parte dello stage dove traspare un valore della frazione di non conformi, nonostante i dati non siano moltissimi.

Per l'utilizzo della carta bisognerà estrarre campioni successivi di n unità, calcolare la frazione di non conformi p^{\wedge} e rappresentare tale statistica sulla carta. Finché p^{\wedge} rimane all'interno dei limiti di controllo e non si osserva alcun andamento anomalo o non casuale nella successione dei punti, si può affermare che il processo è sotto controllo al livello p .

In generale una carta di controllo può indicare una situazione di fuori controllo sia quando uno o più punti cadono oltre i limiti di controllo sia quando l'andamento descritto dai punti, pur interni ai limiti, non è casuale: la non casualità dei punti è sintomo di un processo che produce pezzi le cui misure di qualità possono essere descritte da un modello e quindi tali da essere prevedibili. Un andamento di punti crescente o decrescente viene chiamata sequenza (viene chiamata sequenza di lunghezza due, una successione di due punti che stanno uno al di sopra e uno al di sotto della linea centrale). Sequenze di lunghezza maggiore di sette hanno probabilità di verificarsi, in genere, molto bassa e quindi, essendo di tipo non casuale, sono spesso un segnale di fuori controllo. Molto utile è il manuale della Western Electric che suggerisce alcune regole decisionali per l'individuazione di comportamenti anomali. In particolare, un processo è da considerarsi fuori controllo se:

- Un punto cade al di fuori dei limiti di 3-sigma;
- Due punti su tre consecutivi cadono oltre i limiti di sorveglianza posizionati a 2-sigma;
- Quattro punti su cinque consecutivi cadono oltre la distanza di 1-sigma dalla linea centrale; oppure
- Otto punti consecutivi cadono tutti dalla stessa parte della linea centrale.

Da notare che queste regole si applicano ad una sola parte della carta di controllo (sopra o sotto la media). Perciò, se un punto cade oltre l'UWL e il successivo cade sotto LWL, questo non indica una situazione di fuori controllo.

3.3. Altri strumenti per il controllo statistico di processo.

Come già accennato in precedenza, non ci sono solo le carte di controllo per il controllo statistico di processo, ma esistono altri sei strumenti utili a tale scopo, che tutti assieme costituiscono i “magnifici sette”. Abbiamo dunque già visto i le carte di controllo e stabilito quale sarà adottata dall’azienda; vediamo ora gli altri strumenti che verranno utilizzati, partendo dai grafici “rami e foglie”. Questi grafici sono utili per sintetizzare e presentare i dati osservati e sono da considerarsi un’indagine preliminare; nel nostro caso possono venire raccolti in una tabella tutte le frequenze assolute dei difetti di un campione. Ogni dato dovrebbe essere composto di due cifre; per ottenere un grafico “rami e foglie”, si suddividono le cifre del dato in due parti: l’una costituita da una o più cifre iniziali, il “ramo”; l’altra costituita dalle rimanenti cifre, le “foglie”. In generale, i valori “rami” saranno relativamente pochi rispetto al numero delle osservazioni. Di solito è meglio scegliere un numero di “rami” tra 5 e 20. Definito l’insieme dei “rami”, essi vengono elencati al margine sinistro ponendo a fianco tutte le “foglie”, corrispondenti ai valori osservati, nell’ordine in cui sono riscontrate nell’insieme dei dati. Nel nostro caso questo grafico può risultare del tutto inutile, dal momento che, visti i precedenti dati raccolti, i pezzi difettosi per campione raramente superano la decina di pezzi e mai la ventina; questo porterebbe ad avere una collezione di dati a livello zero e nessun altro “ramo” se non in alcuni casi il ramo 1. Perciò risulta abbastanza inutile intraprendere questo tipo di lavoro visti i risultati pressoché certi.

I fogli di controllo sono ciò che sta alla base della raccolta dati. Sono delle tabelle sulle quali vengono riportati i difetti dei prodotti ordinati nel senso delle righe, vengono poi riportati in successione temporale il numero dei difetti presenti nei vari campioni e divisi naturalmente per tipologia. La rilevazione, effettuata in ordine di tempo, è risultata particolarmente utile per individuare un trend nella manifestazione dei difetti. In un foglio di controllo è importante definire in maniera chiara il tipo di informazione che deve essere raccolta, la data, l’operatore che effettua la raccolta e qualsiasi altra nota che renda più intelligibile la provenienza del dato.

difetti	Campione																					totale
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21...	
macchie di colore mancanti																						
scritta fuori centro																						
sbavature nei contorni																						
parti di scritta mancante (es. lettere)																						
ombre nel colore																						
parti di colore opache																						
superficie del pezzo rovinata																						

Tab.3.1. Foglio di controllo utilizzato per registrare i difetti dei prodotti.

Altro strumento utile ai nostri scopi, è il grafico di Pareto. Questo grafico riporta l’istogramma e la distribuzione di frequenza cumulata di dati qualitativi ordinati per categoria. Con questo grafico l’utente può facilmente individuare la più frequente tipologia di difetti. Naturalmente quando si hanno tutti i difetti sullo stesso grafico, si ha idea di quali siano i più frequenti, non di quali siano gravi al punto tale da rendere inutilizzabile il prodotto. Per questo motivo, quando la lista dei difetti comprende sia quelli molto seri, sia quelli meno importanti, si può perseguire una delle seguenti strategie:

- Usare schemi che attribuiscono un peso ai vari tipi di difetti

- Affiancare il grafico di Pareto con un altro grafico di Pareto per costo o per esposizione alla perdita.

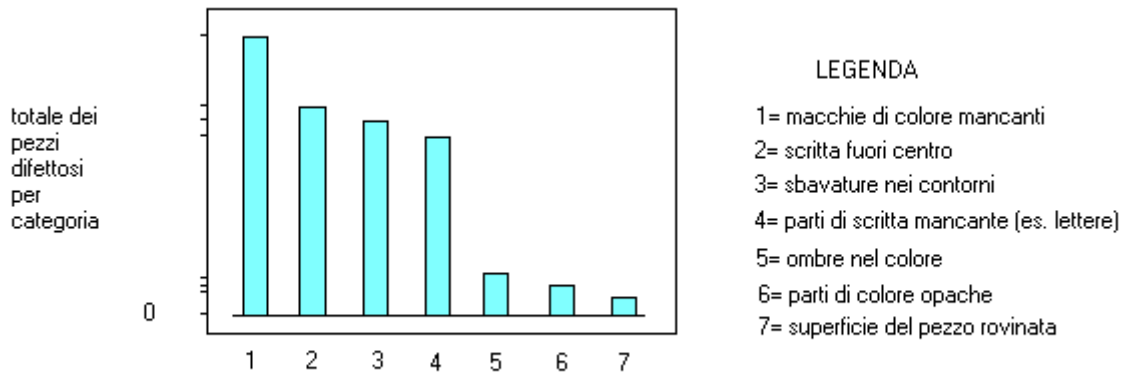


Fig.3.3. Esempio di grafico di Pareto.

Come si è visto questo grafico di Pareto riporta tutti i difetti riscontrati e riportati nel foglio di controllo.

Possiamo ora parlare dei diagrammi causa ed effetto. Una volta che un errore, un problema o un elemento difettoso è stato identificato e isolato, devono essere cercate le “cause” potenziali di questo indesiderabile “effetto”. I passaggi per la costruzione di tali passaggi sono i seguenti:

- Definire il problema o l’effetto da analizzare.
- Preparare il team che deve eseguire le analisi (nel nostro caso è direttamente il proprietario dell’impresa).
- Predisporre la casella dell’effetto e una linea centrale.
- Specificare le tipologie delle più importanti cause e unirle con tratti come caselle connesse alla linea centrale.
- Identificare le possibili cause e classificarle nelle tipologie individuate al punto precedente. Se necessario individuare altre tipologie.
- Ordinare le cause in base alla maggiore o minore probabilità che possano creare il problema oggetto di analisi.
- Intraprendere misure correttive.

Quanto più dettagliati sono i diagrammi di causa ed effetto, tanto più efficaci essi saranno nell’aiutare nella soluzione del problema. Inoltre la realizzazione di un diagramma di causa ed effetto fa sì che ci si concentri sulla soluzione del problema e non sulla ricerca di capri espiatori.

Ecco il nostro diagramma di causa ed effetto, costruito dopo lo studio dei vari problemi che possono insorgere e che l’esperienza di anni di lavorazione nel settore ha permesso di individuare.

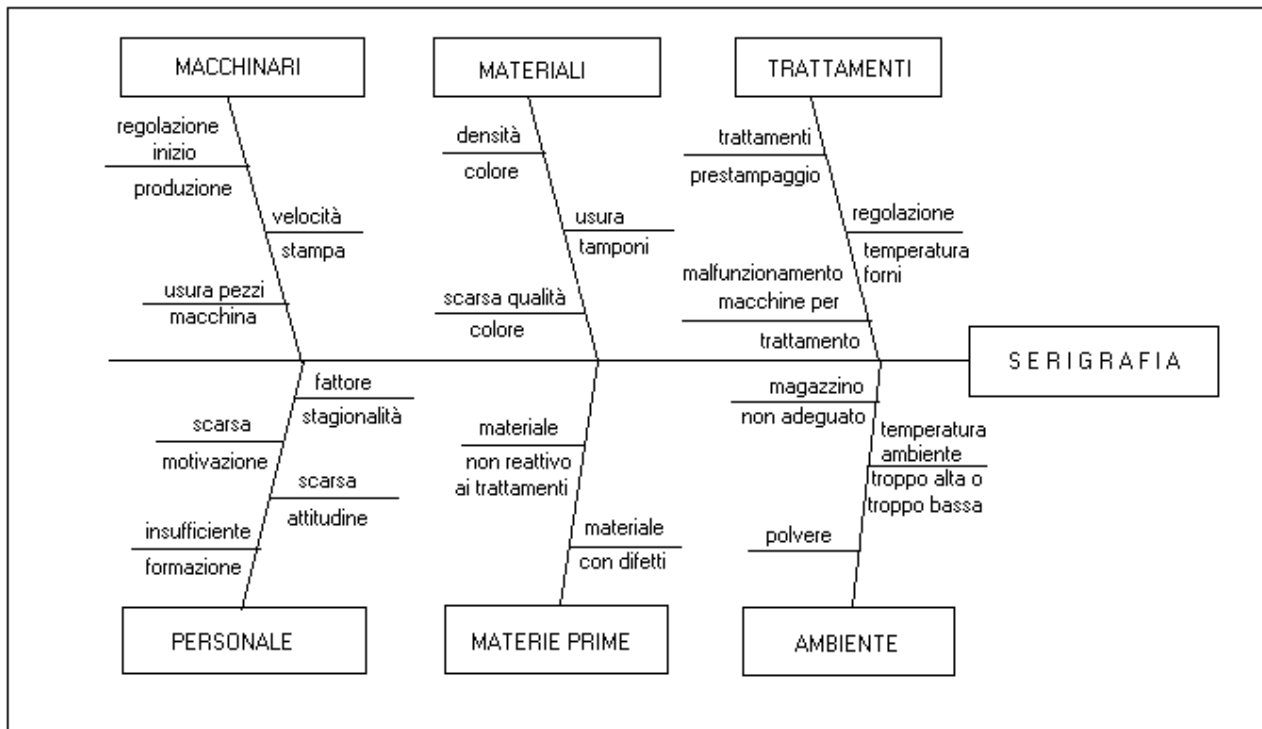


Fig.3.4. Diagramma causa ed effetto.

Come si vede dalla figura, sulla linea centrale del nostro diagramma compare la serigrafia che è il nostro processo da tenere sotto controllo e poi compaiono sei gruppi di problemi che possono incorrere con le relative specificazioni. Il primo gruppo riguarda i macchinari, che possono avere tre tipi di problemi; si parte dalla regolazione all'inizio di produzione la quale serve a centrare la serigrafia sul pezzo, se per qualche motivo cambiano i parametri di regolazione, tutti i pezzi successivi a questo cambiamento saranno difettosi. Si prosegue con la velocità di stampa che è un problema legato alla precisione: più veloce è la macchina nello stampare, maggiori saranno le probabilità di trovare imprecisioni nella serigrafia. Infine c'è l'usura dei pezzi della macchina che potrebbero portare a vari difetti come ad esempio una stesura non uniforme del colore. Nel secondo gruppo sono elencati i problemi derivanti dai materiali (diversi dalle materie prime: sono tutti quei materiali che servono alla stampa, come colore, tamponi...). Si possono, infatti, avere problemi con il colore che, da una parte può essere di scarsa qualità, dall'altra può avere una densità non adeguata e quindi rapprendere sulla superficie se è troppo denso oppure "scivolare via" se troppo liquido. Bisogna considerare anche l'usura dei tamponi che, essendo fatti di silicone, a lungo andare si seccano e formano crepe sulla loro superficie, creando sbavature sulla serigrafia. Successivamente troviamo possibili cause di problemi dovute ai trattamenti sia prima che dopo la lavorazione. Come già detto, alcuni prodotti devono essere trattati prima della lavorazione per permettere al colore di aderire meglio alla superficie del pezzo; se questo lavoro non viene fatto in maniera corretta oppure con superficialità, può compromettere la qualità del prodotto finale, in quanto il colore non avrebbe la possibilità di aderire perfettamente al pezzo. Dopo la serigrafia tutti i pezzi devono essere passati al forno, la regolazione della temperatura di questi deve essere meticolosa in quanto non tutti i pezzi vanno scaldati alle stesse temperature: alcuni necessitano di temperature elevate per asciugare completamente, altri hanno bisogno di temperatura più basse (temperature troppo elevate a volte rischiano di danneggiare il materiale con cui sono costruiti i pezzi). Un malfunzionamento delle macchine che svolgono questi trattamenti sia prima che dopo la serigrafia creeranno sicuramente molti pezzi difettosi tanto da dover certamente fermare la produzione. Altro elemento fondamentale per la produzione è il personale. Problemi possono sorgere quando questo viene assunto per brevi periodi di maggiore necessità: non avendo maturato esperienza è più facile che incorra in errori. Ci

può essere comunque una scarsa formazione anche da parte di chi ha maturato già esperienza lavorativa e non riscontra in tempo utile i possibili difetti. Altro problema può essere la scarsa attitudine di una persona a quel tipo di lavoro: a questo livello possono sorgere imperfezioni nel lavoro. Ultima ma non meno importante è la scarsa motivazione dei dipendenti che porta ad una superficialità nei controlli e nel lavoro. A volte capita che i problemi non derivino direttamente dalla lavorazione del prodotto, ma che siano causati da fattori non direttamente collegati alla serigrafia. Alcuni di questi problemi sono collegati alle materie prime che vengono fornite: alcune non reagiscono bene ai trattamenti prelavazione perché il materiale non è di buona qualità, altri arrivano già difettosi e quindi inutilizzabili ancora prima della lavorazione. Altri problemi sono legati all'ambiente dove viene svolto il lavoro e l'immagazzinamento del prodotto finito. Temperature dell'ambiente troppo elevate o troppo basse portano a differenti problemi: nel primo caso un indurimento del colore in fase di lavorazione con conseguenti sbavature sulla serigrafia, nel secondo caso una difficoltà, opposta al caso di prima, del colore ad aderire al materiale mentre asciuga. Infine ci sono le polveri che potrebbero aderire alla scritta nel momento intermedio prima del passaggio al forno del prodotto. Questa è stata una breve illustrazione del diagramma causa ed effetto costruito in base alle ricerche in azienda.

Un diagramma sulla concentrazione dei difetti, quinto strumento dei “magnifici sette”, è un particolare disegno della struttura del prodotto, su cui vengono riportate tutte le visuali rilevanti del prodotto stesso. I diversi tipi di difetti vengono evidenziati su questo disegno, con lo scopo di verificare se la loro collocazione può costituire un'utile informazione sulle cause potenziali del difetto rilevato. Una volta che sono stati raccolti i diagrammi sulla concentrazione dei difetti per un numero sufficientemente elevato di unità prodotte, spesso si riesce a individuare alcune tipologie che aiutano a capire le cause e gli effetti.

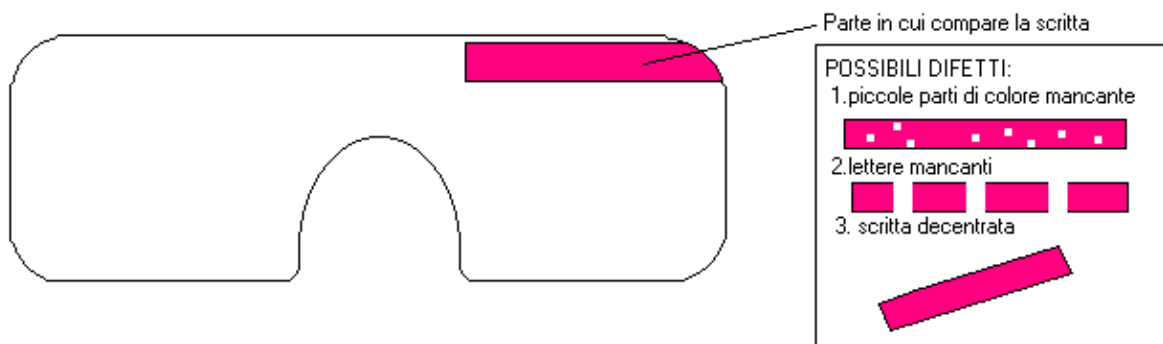


Fig.3.5. Difetti delle maschere.

Dunque i difetti più frequenti occorsi alle maschere sono le parti di colore mancante, le lettere mancanti e la scritta decentrata. Da questo si è arrivati a due cause principali: la prima è un problema di materiale grezzo che non permette l'aderenza del colore alla superficie e causa i primi due problemi, la seconda è uno sbagliato regolamento della macchina che stampa la scritta in posizione errata.

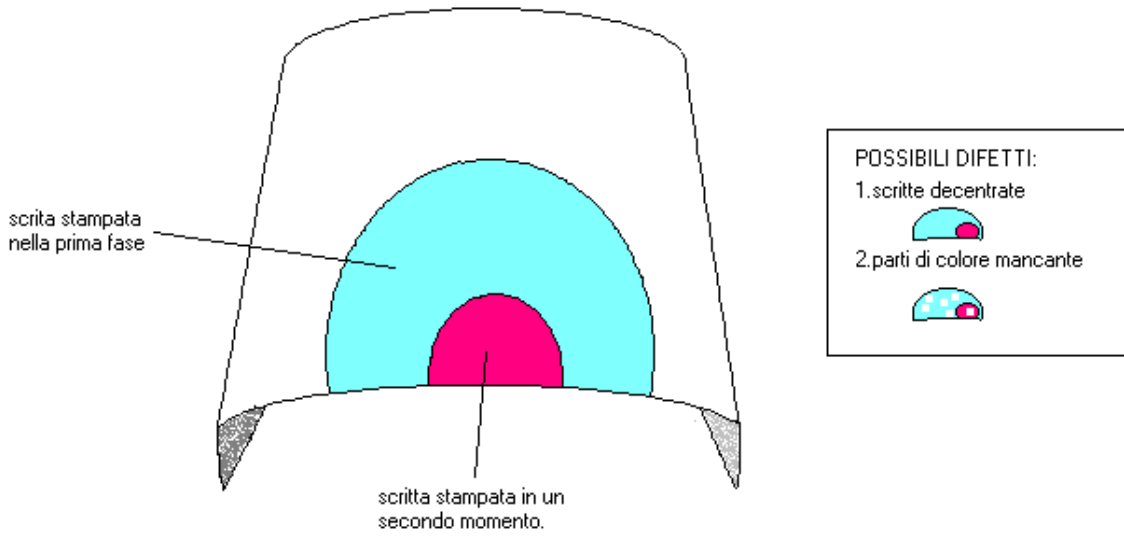


Fig.3.6. Concentrazione dei difetti dei gambetti.

Come per le maschere, anche per i gambetti abbiamo uno schema (molto stilizzato) su cui basarci per capire da dove possono nascere i difetti e ciò viene descritto dal grafico sopra. Anche per gli altri prodotti vengono di seguito riportati i grafici su cui viene descritta la concentrazione dei difetti.

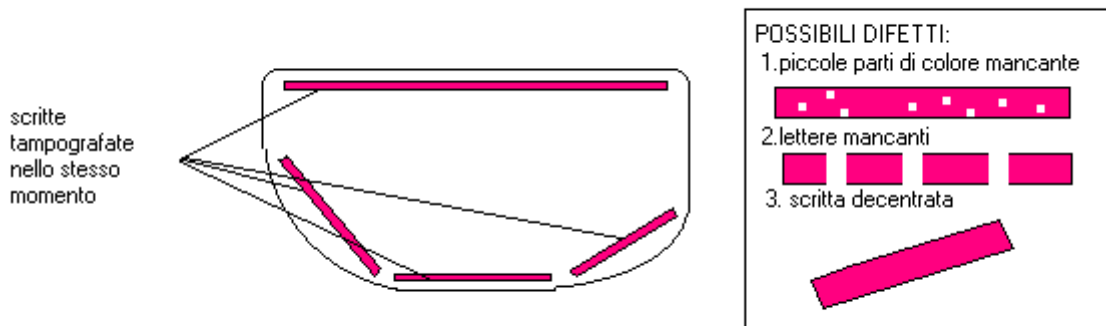


Fig.3.7. Concentrazione di difetti delle lenti.

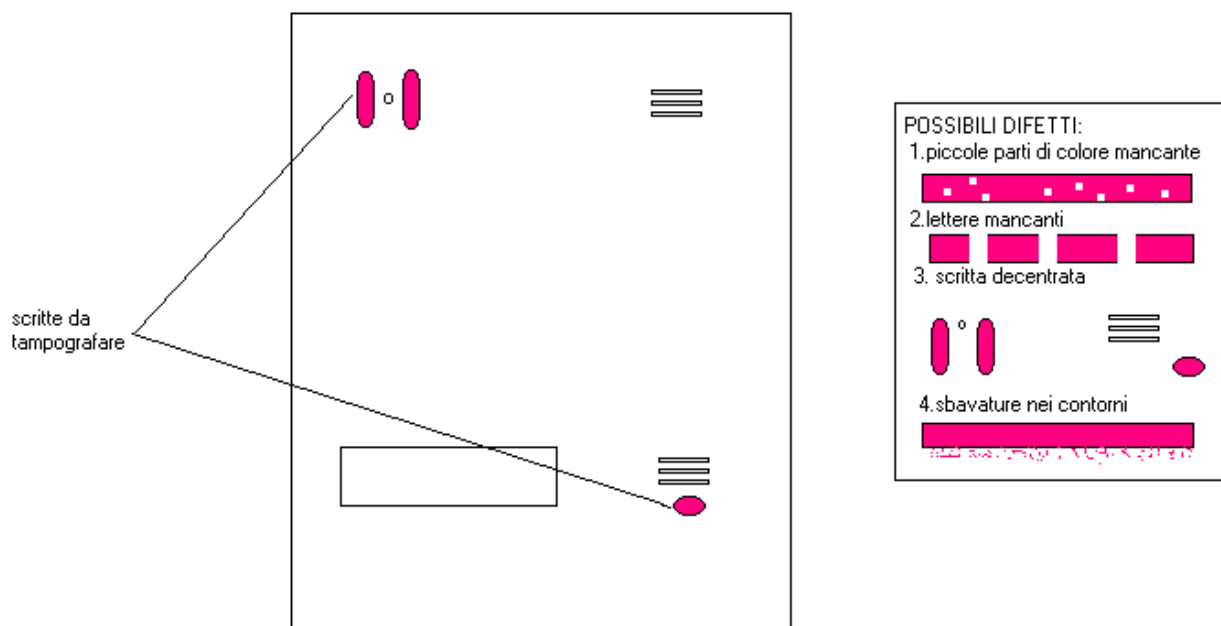


Fig.3.8. Concentrazione dei difetti dei frontalini.

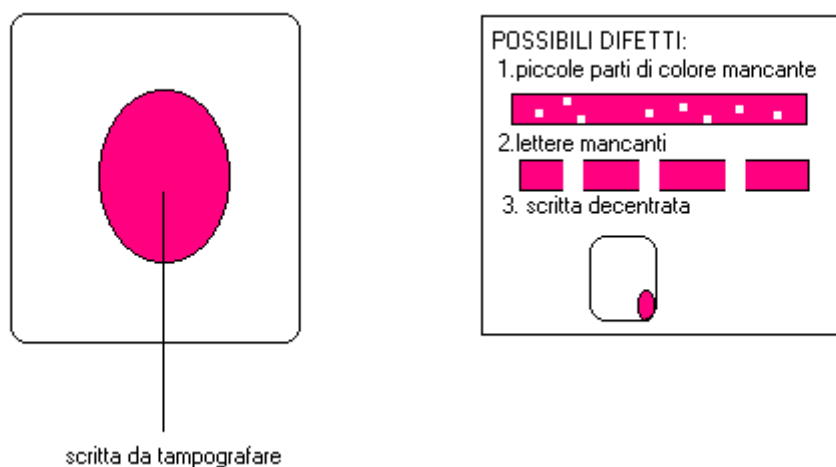


Fig.3.9. Concentrazione dei difetti dei meccanismi.

Infine ci sono i Grafici di dispersione, i quali sono utili per individuare potenziali relazioni funzionali tra due variabili. Questo grafico è risultato, dopo uno studio sui prodotti, più utile nelle fasi iniziali del lavoro quando si cerca la giusta densità del colore per ottenere una tenuta ideale sul materiale.

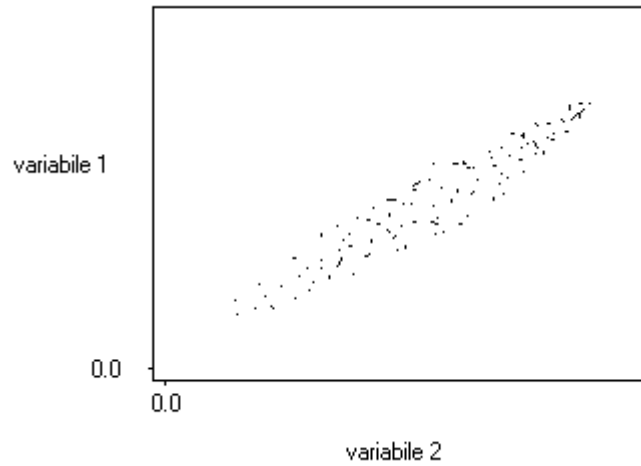


Fig.3.10. Esempio di grafico a dispersione.

Da questo tipo di grafico si può individuare la relazione intercorrente tra la variabile 1 e la variabile 2. Con questo metodo si può ricorrere a degli esperimenti, controllati con questo tipo di grafico, che mi permettono di sapere quale sia l'azione migliore cambiando le due variabili.

CONCLUSIONI

Questa tesi affronta come tema fondamentale il controllo statistico della qualità.

Il principio guida che ha affiancato tutte le fasi del progetto è la riorganizzazione del sistema lavorativo dell'azienda, allo scopo di rendere sistematico e consueto l'utilizzo di tecniche statistiche, al fine di realizzare un efficace controllo di qualità.

Partendo da un'analisi generale dell'ambiente in cui si opera, si approfondisce la conoscenza delle tecniche di lavorazione e dei materiali, per poter individuare le possibili cause dei problemi e quindi identificare l'istante ideale in cui introdurre il controllo.

Dalla fase di analisi si è passati alla raccolta dei dati, attraverso applicazioni di tecniche del controllo della qualità, sul prodotto in uscita. Questo è solo un primo passo verso un'applicazione ottimale delle tecniche statistiche, infatti, nella seconda parte del lavoro, l'attenzione è stata posta nello sviluppo di un progetto che inserisce il controllo della qualità in tutte le fasi della lavorazione, non solo sul prodotto finito. Il risultato che si punta ad ottenere è quello di non rendere più necessario un controllo in uscita, in quanto la qualità garantita durante le fasi di lavorazione è sufficiente ad assicurare un ottimo prodotto finito.

Il primo obiettivo, che riguarda la raccolta e l'elaborazione dei dati per ottenere una apprezzabile qualità in uscita, è stato pienamente raggiunto. Per quanto riguarda il secondo obiettivo, cioè quello del controllo in lavorazione, ci vorrà più tempo, per permettere all'azienda e al personale di adattarsi al nuovo modo di lavorare diverso da quello in uso finora.

Dallo studio affrontato sono emersi vari aspetti importanti, primo fra tutti la rilevanza di una buona comunicazione con i responsabili dell'azienda e con il personale da parte di chi sviluppa il progetto, ma soprattutto tra i dirigenti e i responsabili dell'azienda ed il personale.

Questo tipo di lavoro svolto per una particolare azienda acquista validità generale per altre realtà simili, in quanto le problematiche sono comuni fra queste piccole imprese.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Douglas C. Montgomery (2000), *Controllo statistico della qualità*, McGraw-Hill.
- [2] Duncan, A.J. (1986), *Quality Control and Industrial Statistics*, 5th edn, Irvin, Homewood, Ill.
- [3] Dodge, H.F. e Roming, H.G. (1959), *Sampling Inspection Tables, Single and double Sampling*, 2nd edn, John Wiley, New York.