

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI SCIENZE STATISTICHE



*CORSO DI LAUREA IN
SCIENZE STATISTICHE
E TECNOLOGIE INFORMATICHE*

**IL CONTROLLO STATISTICO DELLA QUALITA'
PER DATI AUTOCORRELATI E NON-NORMALI:
I COLLAUDI DI VALVOLE A SFERA**

RELATORE: Prof. GIOVANNA CAPIZZI

LAUREANDA: ELISABETTA MATTIOLO

Anno accademico 2004/2005

INDICE

Introduzione	pag. 1
I. Premessa	pag. 1
II. Presentazione della tesi	pag. 1
III. Obiettivi	pag. 3
CAPITOLO 1	pag. 5
LA TORMENE GAS TECHNOLOGY S.p.A.	pag. 5
1.1 Com'è nata la <i>TORMENE GAS TECHNOLOGY S.p.A.</i> ?	pag. 6
1.2 Presentazione dell'azienda	pag. 6
1.3 La Politica della Qualità	pag. 6
1.3.1 Il Sistema Qualità aziendale	pag. 7
CAPITOLO 2	pag. 11
LA GESTIONE DELLA QUALITA'	pag. 11
2.1 Le Valvole a sfera	pag. 11
2.1.1 Caratteristiche e particolarità	pag. 11
2.1.2 Materiali utilizzati	pag. 13
2.1.3 Eventuali trattamenti superficiali	pag. 13
2.2 Quality Control in Tormene	pag. 14
2.2.1 Verifiche ispettive interne	pag. 14
2.2.2 Monitoraggio e misurazioni	pag. 14
2.2.3 I collaudi finali	pag. 15
2.2.4 Rilevazione delle non conformità	pag. 19
2.2.5 Azioni correttive e preventive per il miglioramento	pag. 19
2.2.6 Statistiche	pag. 19
2.3 Il software gestionale aziendale: <i>Scout by GLOBAL</i>	pag. 20
2.3.1 Ampliamento potenzialità del software	pag. 22
CAPITOLO 3	pag. 25
IL CONTROLLO STATISTICO DELLA QUALITA'	pag. 25
3.1 Introduzione: teoria e metodi utilizzati	pag. 25
3.2 Verifica della normalità: " <i>Il test di Shapiro – Wilk</i> "	pag. 26
3.3 Il modello lineare generalizzato	pag. 26
3.4 La variabilità del processo produttivo	pag. 27
3.5 Le carte di controllo	pag. 28
3.5.1 Scelta della Carta di controllo appropriata	pag. 28
3.6 Le carte di controllo per dati autocorrelati	pag. 29
3.6.1 Le carte di controllo a medie mobili pesate esponenzialmente	pag. 30
3.6.2 Disegno di una carta EWMA	pag. 30
3.7 Metodi per distribuzioni non-normali	pag. 31

3.8 Le carte di controllo per attributi	pag. 33
3.8.1 Carta p per dimensioni campionarie variabili	pag. 33
CAPITOLO 4 _____	pag. 35
ANALISI DATI DEI COLLAUDI FINALI	pag. 35
4.1 Introduzione ai dati osservati	pag. 35
4.2 Le variabili d'interesse	pag. 36
4.2.1 Primo approccio ai dati del <i>Torque test</i>	pag. 37
4.2.2 Analisi delle variabili: "sideA" e "sideB"	pag. 38
4.2.3 Analisi della variabile "wout_pres."	pag. 43
4.2.4 Analisi dati del <i>Low pressure seat test</i> (con gas)	pag. 46
Conclusioni _____	pag. 49
APPENDICE A _____	pag. 51
I dati osservati	pag. 51
APPENDICE B _____	pag. 55
Analisi dei dati <i>Torque test</i> con R	pag. 55
APPENDICE C _____	pag. 63
Analisi dei dati <i>Low pressure seat test</i> (con gas) con R	pag. 63
APPENDICE D _____	pag. 67
Funzioni R utilizzate	pag. 67
Bibliografia _____	pag. 73

INTRODUZIONE

I. Premessa

All'inizio della mia carriera universitaria ho scelto la *Facoltà di Scienze Statistiche*, corso di laurea in tecnologie informatiche, perché attratta dall'informatica e dalla statistica applicate alla matematica appresa conseguendo la maturità scientifica.

Non conoscevo ancora le molteplici sfaccettature e applicazioni della “vera” statistica ma, dopo aver sostenuto vari esami ho avuto modo di saggiare e apprezzare questo particolare mondo capace di risolvere problemi e dare un'interpretazione a molti fenomeni che si verificano quotidianamente.

Ho successivamente scelto di seguire il curriculum “*Miglioramento della qualità*” per conoscere altre particolari tecniche di risoluzione di problematiche (non conformità, fuori controllo di prodotti...) e, proprio l'analisi di casi aziendali mi ha portata a scegliere di svolgere uno stage per l'appunto in azienda per poter toccare con mano quanto imparato sui libri e appreso da elaborazioni di dati fittizi.

II. Presentazione della tesi

La mia richiesta di stage, nell'ambito del controllo della qualità, ha ottenuto risposta positiva presso la *Tormene Gas Technology S.p.A.* di Due Carrare (PD), dove sono stata inserita nell'*Ufficio Controllo Qualità (CQ)* dell'azienda.

Nel capitolo primo si trovano alcuni cenni storici e la presentazione dell'azienda attiva sul mercato nazionale e internazionale disponendo di impianti per la completa lavorazione delle valvole, regolatori di pressione, stazioni di filtrazione, preriscaldamento, riduzione e misura del gas metano per applicazioni civili e industriali.

Inoltre vi sono cenni alla politica della qualità intrapresa con maggior determinazione in questi ultimi anni, da quando l'azienda è diventata parte del gruppo Valvitalia, con un particolare riferimento al sistema della qualità aziendale.

Nel capitolo secondo sono rintracciabili nozioni tecniche – illustrative e particolari necessari per la comprensione delle attività svolte in azienda.

Durante le prime settimane, attraverso incontri con vari “responsabili di settore”, ho potuto imparare informazioni teoriche e assistere alle varie fasi di realizzazione di una valvola per il passaggio di gas/liquidi e infine di partecipare ad alcuni collaudi finali.

Ho potuto entrare nel vivo del “controllo qualità” imparando a leggere la certificazione dei vari pezzi acquistati dai fornitori, assistere alle “prove non distruttive” rilevando le non conformità nel materiale; svolgere, quindi, piccole mansioni comuni per un ufficio CQ quali utilizzare il software gestionale aziendale imparando a “muovermi” tra le varie finestre operative del *programma Scout (by GLOBAL)*, fonte ufficiale e sempre aggiornata da cui attingere ordini di produzione, distinte base, gestione di commesse e magazzino e in cui reperire archivi dati di vario genere.

Potenziando le sue funzionalità e apportando le modifiche necessarie, la raccolta e l’archiviazione dei risultati dei collaudi avverrà in tempo reale con una riduzione d’errori di trascrizione e così la gestione dei dati sarà semplificata; tramite l’utilizzo di opportuni metodi sarà possibile effettuare un’interpretazione più attendibile.

Quindi nel capitolo terzo si sviluppa la parte teorica dei metodi statistici utilizzati per effettuare il controllo statistico; in particolare si fa riferimento alle carte di controllo per dati autocorrelati e per attributi.

Dopo altre spiegazioni di carattere generale, nel capitolo quarto si spiegano i vari approcci all’analisi dei dati provenienti dai test di collaudo di valvole a sfera e relative considerazioni, grafici e statistiche applicate per appunto verificare la stabilità del processo produttivo.

Le Conclusioni daranno quindi una plausibile spiegazione di quanto risultato riassumendo e commentando i risultati ottenuti nell’indagine statistica condotta sui collaudi finali delle valvole a sfera prodotte in *Tormene Gas Technology S.p.A.* .

Nell’Appendice A vengono riportate varie tabelle con i dati “grezzi” usati per le varie elaborazioni, mentre nell’Appendice B e C vi sono i comandi relativi all’analisi dei dati relativi al “torque test” e al “low pressure seat test”.

Nell’Appendice D, infine, si ritiene opportuno spiegare in dettaglio le funzioni R applicate ai dati per una miglior comprensione dei vari risultati ottenuti e riportati parzialmente al Capitolo 4.

III. Obiettivi

Un generico lettore di questa tesi, anche se non del settore, dovrebbe farsi un'idea generale sulla *Tormene Gas Technology S.p.A.* e apprendere notizie sulle valvole a sfera, le relative caratteristiche e particolarità d'utilizzo.

Tramite una breve introduzione teorica all'approccio e alle tecniche utilizzate, si vuole dare un panoramica generale per la miglior comprensione dell'analisi dei risultati ottenuti nella fase di collaudo delle valvole; fase finale del processo produttivo delle valvole che determina la possibile vendita al cliente.

Questo argomento è sicuramente interessante anche per un dipendente dell'azienda che vuole approfondire particolari sfaccettature finali del suo lavoro e andare oltre la conoscenza oggettiva di processi e collaudi.

L'analisi conclusiva porterà a interessanti risultati che potranno esser utilizzati dai responsabili della qualità come punto di partenza per studi più specifici volti al miglioramento sempre più "visibile e concreto" della qualità.

CAPITOLO 1

LA TORMENE GAS TECHNOLOGY S.p.A.

1.1 COM'E' NATA LA TORMENE GAS TECHNOLOGY S.p.A. ?

La TORMENE S.p.A., nata nel 1907 dalla famiglia Tormene, alla data di fondazione svolgeva come attività principale la costruzione di attrezzature agricole e la produzione di getti fusi in acciaio.

Durante gli anni trenta, grazie all'importanza delle prime scoperte del gas naturale nell'area Padana, *TORMENE* sviluppò una serie completa di riduttori - regolatori di pressione del gas.

Dopo 20 anni di esperienza con il gas naturale, la Società entrò maggiormente nel campo dell'estrazione ed utilizzazione di idrocarburi; oltre ad una gamma completa di regolatori di pressione per il gas, durante gli anni sessanta fu fabbricata la valvola a farfalla, un prodotto completamente nuovo con Brevetto Internazionale.

L'utilizzo in modo sempre più frequente di valvole a sfera nelle installazioni per il trattamento del gas naturale portò la *TORMENE*, nel 1971, a progettare questa tipologia di valvole, concepita inizialmente solamente per quel particolare tipo di installazione.

Il trend di mercato per questo prodotto rivoluzionò radicalmente tutte le previsioni, generando negli anni successivi richieste per valvole di sempre più grandi dimensioni e pressioni di esercizio.

Lo sviluppo dell'estrazione di idrocarburi mediante piattaforme *offshore* fece di *TORMENE* un fornitore principale di valvole a sfera realizzate in materiali speciali e per servizi particolarmente sofisticati.

Nel 1985 fu inaugurato il nuovo stabilimento a Due Carrare (Padova), con una superficie coperta di 9.000 mq e più di 10.000 mq di superficie scoperta e *TORMENE* aumentò la sua serie di servizi, includendo progettazione, produzione, assemblaggio: il tutto sostenuto dai più moderni sistemi informatici ed informativi.

A partire dal mese di luglio 2000, la *Tormene Gas Technology S.p.A.* ha acquisito le attività di Tormene S.p.A. e, dal luglio 2002, è entrata a far parte di *Valvitalia*, un gruppo italiano che si occupa della produzione di valvole ed apparecchiature per il trattamento dell'energia, creato per fornire ai clienti (nazionali e internazionali) pacchetti completi di prodotti e servizi.

1.2 PRESENTAZIONE DELL'AZIENDA

Lo stabilimento di *Tormene Gas Technology* è situato a Due Carrare (PD) in una zona ben servita, sia dalla Strada Statale 16 sia dall'Autostrada Venezia – Bologna, che permette eventuali collegamenti rapidi con gli altri due stabilimenti del *Gruppo Valvitalia*, uno a Pavia, l'altro a Vicenza (VITAS). Inoltre è facilmente raggiungibile per fornitori e per i vari clienti di ogni parte del mondo grazie alla vicinanza con l'aeroporto di Venezia.

Vi lavorano circa 120 dipendenti distribuiti nei vari uffici (tra cui l'ufficio controllo qualità, dove sono stata inserita per lo svolgimento dello stage) e nell'area di produzione.

La società dispone di impianti efficienti per la completa lavorazione delle valvole di propria produzione e attrezzature di prova e collaudo.

Attualmente produce una vasta gamma di *valvole a sfera* (flottanti e supportate *Side Entry* e *Top Entry*, a tenuta metallica, *Konosphaera* e a corpi saldati), regolatori di pressione e componenti gas, stazioni di filtrazione, preriscaldamento, riduzione e misura del gas metano per applicazioni civili ed industriali.

La produzione citata avviene nel rispetto dei principali standard internazionali attenendosi rigorosamente a normative, come *UNI EN ISO 9001:2000* per la gestione della qualità, e la *UNI EN ISO 9004:2000* come guida d'approfondimento per il miglioramento delle prestazioni e a requisiti tecnici dei materiali utilizzati per la produzione quali la conformità alla *Direttiva 97/23/EC – PED* e alla *Specificazione API Q1 – Seventh Edition, 2003*.

Le scelte amministrative di quest'ultimi anni, la qualificazione del personale e l'utilizzo di macchinari sempre al passo con l'innovazione tecnologica hanno reso *Tormene Gas Technology* un'azienda che opera in modo competitivo in posizione di leader sia sul mercato nazionale che quello internazionale in grado di fornire progettazione, produzione, vendita ed eventuale assistenza ai clienti.

1.3 LA POLITICA DELLA QUALITÀ

La *Tormene Gas Technology* opera nella progettazione, costruzione e commercializzazione di apparecchiature ed impianti per il trasporto e la distribuzione di idrocarburi liquidi e gassosi (in particolare il metano).

Per garantire i propri prodotti, forniture e attività, si impegna a mantenere efficiente e a migliorare continuamente il sistema di gestione e controllo della qualità mettendo al primo

posto la sicurezza e l'igiene dell'ambiente di lavoro dei propri dipendenti e l'utilizzo di processi e procedure di lavorazione che non rechino danno all'ambiente.

In particolare l'uso di speciali sostanze, lo smaltimento dei rifiuti e quant'altro richiesto dalle disposizioni di legge o da particolari esigenze, sono formalmente regolati e monitorati.

Per il conseguimento degli scopi definiti dalla "politica della qualità" volti a soddisfare le richieste e aspettative dei propri clienti la società definisce per iscritto politiche e strategie dettagliate di implementazione, sviluppo e miglioramento del Sistema Qualità Aziendale.

La qualità di un prodotto (basata sul presupposto che beni e servizi devono soddisfare le richieste di chi li usa) può infatti esser valutata analizzando diversi aspetti di cui ritengo essenziale darne una sintetica definizione perché materia d'interesse su cui si sviluppa parte della tesi:

- prestazione e funzionalità: la valvola deve compiere le funzioni richieste, soddisfare le esigenze del cliente;
- aspetti esteriori: design, forme e colori di verniciatura;
- affidabilità e durata: autonomia e longevità della valvola, relativi comportamenti nel tempo e manutenzione necessaria;
- conformità alle normative: la valvola deve esser costruita con determinati tipi di materiale, come previsto dalla progettazione tecnica e deve possedere le caratteristiche richieste.

1.3.1 II Sistema Qualità Aziendale

Il Sistema Qualità aziendale, riportato nel manuale di gestione per la qualità e descritto operativamente nelle Procedure Gestionali e nelle Istruzioni operative, è uno strumento per migliorare l'organizzazione dell'azienda, e per stabilire regole che tutti sono tenuti a rispettare.

Tali strategie e politiche vengono quindi diffuse a tutti i livelli dell'organizzazione che sono tenuti a collaborare tra loro per garantire un prodotto affidabile, con prestazioni elevate, e un buon rapporto qualità / prezzo col rispetto dei tempi di consegna ottenendo così la massima soddisfazione del cliente.

In accordo con i requisiti delle norme di riferimento, la *Tormene Gas Technology* incoraggia il sistema di gestione per la qualità attraverso un "approccio per processi" inteso come *identificazione sistematica e gestione dei processi aziendali e delle interazioni*

tra i medesimi. Considerando “processo” ogni attività aziendale che riceve degli *input* e li converte in *output*, ha provveduto a suddividerle in due sottogruppi in funzione della loro criticità e della loro importanza:

- i processi primari compongono la catena che va dagli *input* del cliente agli *output* per il cliente, e creano valore riconosciuto dal cliente stesso;
- i processi secondari sono di supporto alla suddetta catena ai fini della sua corretta ed evolutiva gestione.

L'azienda ha quindi stabilito e descritto la sequenza e le interazioni tra questi processi formalizzandoli nelle procedure e nelle istruzioni operative di sistema, effettuando monitoraggi, misurazioni ed analisi dei processi influenti sulla qualità del prodotto finito, attuando le opportune azioni correttive / preventive in caso si verificano delle non conformità sul prodotto.

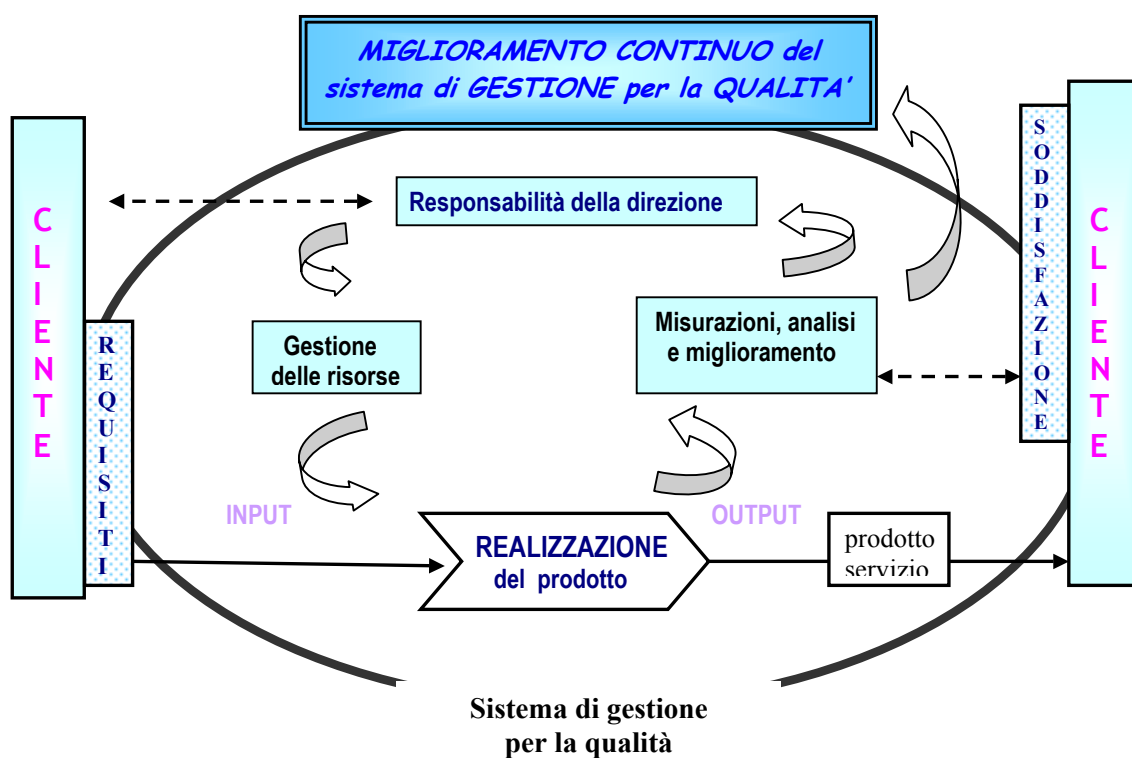


Figura 1.1: Modello di riferimento dei processi del Sistema aziendale di Gestione per la qualità.

Le frecce indicano:
 ← - - - → flusso d'informazioni
 ————— → valore aggiunto

Per ridurre errori e sprechi, ottimizzare tempi di consegna del prodotto, è quindi necessario un continuo miglioramento del sistema di gestione per la qualità, cioè non limitarsi al semplice controllo ispettivo (che mette in evidenza i difetti solo a posteriori) ma, creare una costante supervisione e valutazione significativa del prodotto per prevenire le non conformità e rendere più efficienti i processi produttivi.

E' stato quindi individuato, per ciascun processo, un responsabile chiamato ad operare trasversalmente alle altre funzioni con la responsabilità di presidiare la continuità operativa del processo produttivo, mantenere l'adeguatezza delle risorse impiegate per l'efficacia e il miglioramento di quest'ultimo e di rispondere alle esigenze e problemi dei clienti.

E' opportuno citare due figure di fondamentale rilievo che operano all'interno della *Tormene Gas Technology* per assicurare che il sistema della gestione della qualità aziendale sia mantenuto attivo nel tempo e migliorato nel caso di inadeguatezza.

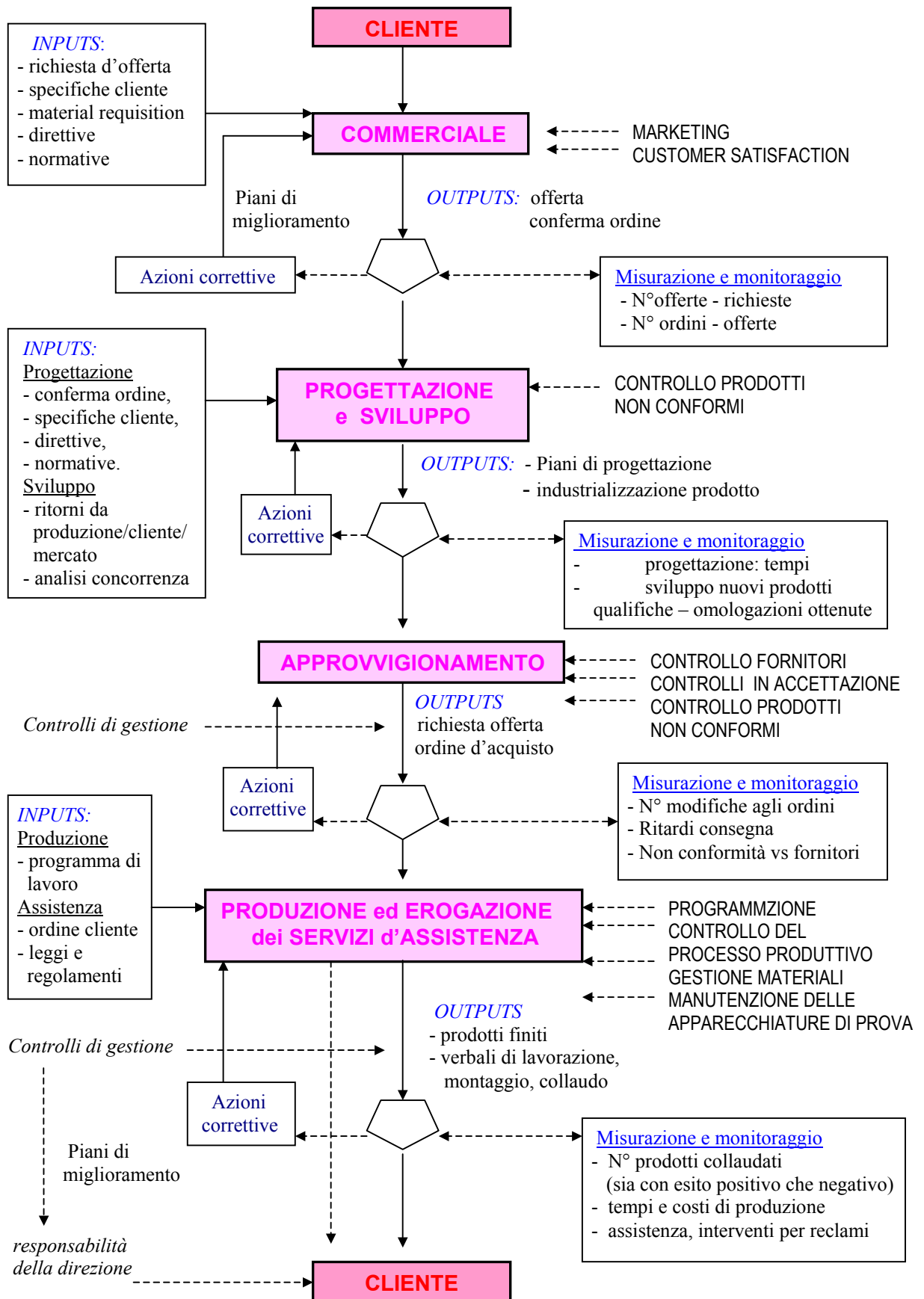
Una è il **responsabile di gestione per la qualità (RGQ)** che si occupa di creare e diffondere una cultura della Gestione per la qualità a tutti i livelli aziendali, orientata al miglioramento continuo e al soddisfacimento delle richieste dei clienti.

Quindi definisce procedure, aggiorna e distribuisce i documenti del Sistema Qualità nel rispetto delle normative e degli standard nazionali e internazionali applicabili al prodotto di riferimento. Inoltre si assicura che venga raccolta e conservata tutta la documentazione relativa alle attività previste e procedure associate alle varie fasi di produzione, d'assemblaggio dei pezzi e ai collaudi finali.

L'altro ruolo importante è svolto dal **responsabile del controllo qualità (RCQ)** che controlla i materiali d'ingresso dai fornitori e la relativa documentazione, coordina e assicura l'esecuzione e la registrazione dei controlli e delle prove effettuate nelle varie fasi del processo produttivo identificando e tenendo sotto osservazione le parti non conformi fino alla verifica dell'attuazione delle azioni correttive decise.

Per conseguire buoni risultati nella qualità è anche necessario il rispetto di regole e responsabilità, una continua formazione orientata ad aumentare il livello di cultura e di professionalità del personale con un addestramento per l'apprendimento delle modalità di esecuzione di attività pratiche.

Schema dei PROCESSI AZIENDALI DI REALIZZAZIONE DEL PRODOTTO/SERVIZIO:



CAPITOLO 2

LA GESTIONE DELLA QUALITA'

2.1 LE VALVOLE A SFERA

Della vasta gamma produttiva della *Tormene Gas Technology* mi soffermo in particolare su alcune precisazioni tecniche e dettagli riguardanti le valvole a sfera su cui si è, per l'appunto, sviluppato il progetto-stage e quindi su cui si è basato il mio interesse e studio.

2.1.1 Caratteristiche e particolarità

Per capire alcuni riferimenti futuri è utile sapere che vi sono due sistemi fondamentali di tenuta utilizzati nelle valvole a sfera:

- *soffice (SF soft)* in materiale plastico (PTFE);
- *metallica (MTM metallo su metallo)* che garantisce la tenuta dei seggi a temperature alte e resiste ad eventuali presenze di fluidi aggressivi.

A seconda delle richieste del cliente le valvole possono anche essere “*reduced bore*” (a passaggio ridotto) se il passaggio della sfera è ridotto rispetto a quello d'entrata o “*full bore*” (a passaggio pieno) se non vi è differenza tra i due.

Le valvole a sfera sono suddivisibili quindi in gruppi distinguibili per caratteristiche e particolarità diverse.

- Le *Valvole a sfera flottante (FL)* sono le più semplici e hanno la sfera sostenuta dai seggi di materiale plastico. Garantiscono un ottimo servizio alle pressioni medio - basse nei piccoli diametri.

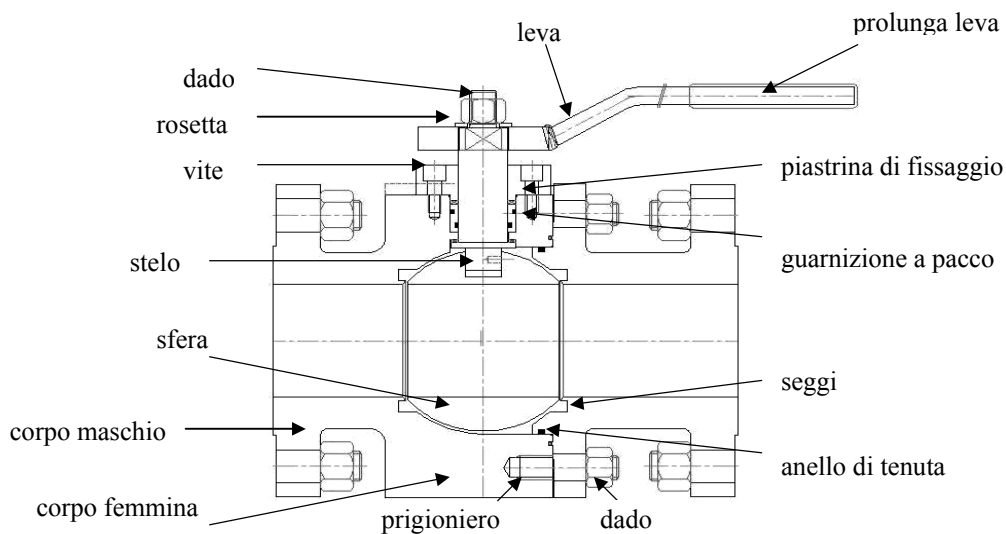


Figura 2.1: Valvola a Sfera flottante - passaggio pieno

- Le Valvole a sfera supportate (TM =trunnion mounted) SIDE ENTRY, poiché presentano la sfera sostenuta da due supporti, hanno tenuta garantita dal seggio di monte: la tenuta a bassa pressione viene assicurata da molle montate sui seggi mentre a quelle alte è la pressione stessa che provoca una compressione del seggio di monte sulla sfera. Tra queste, le *split body* si distinguono per la costruzione con un solo corpo maschio bullonato al corpo femmina.
- Le Valvole a sfera supportate TOP ENTRY si caratterizzano per la loro costruzione in un corpo unico in acciaio fuso (forgiato solo per valvole da 2” e 3”) con apertura verso l’alto che consente di effettuare la manutenzione senza smontarle dalla linea. Sono prodotte in due modelli “TA” e “TE” che si differenziano l’una per la sfera supportata separata allo stelo, l’altra per la costruzione della sfera supportata che costituisce un corpo unico con lo stelo.

Entrambe sono certificate “*fire-safe*” secondo API RP6FA e BS 6755 parte 2, ovvero sono sottoposte a una serie di prove non distruttive per garantire una certa tenuta anche se a causa di un aumento elevato della temperatura si presenta la distruzione delle guarnizioni soffici.
- Le Valvole a sfera a tenuta metallica KONOSPHERA (KS), il cui brevetto è di proprietà esclusiva della Tormene, sono datate di sfera progettata in modo tale che il suo movimento sia leggermente fuori asse cosicché si possa incuneare nel seggio.

La sua particolare conformazione fa sì che il suo sistema di tenuta sia prevalentemente unidirezionale essendo costituita da un seggio solo.
- Le Valvole a sfera a corpi saldati (fully welded ball valves) sono progettate per esser utilizzate nelle condotte interrato di trasporto e di distribuzione di fluidi energetici e per il teleriscaldamento; necessitano quindi di trattamenti di protezione superficiale.

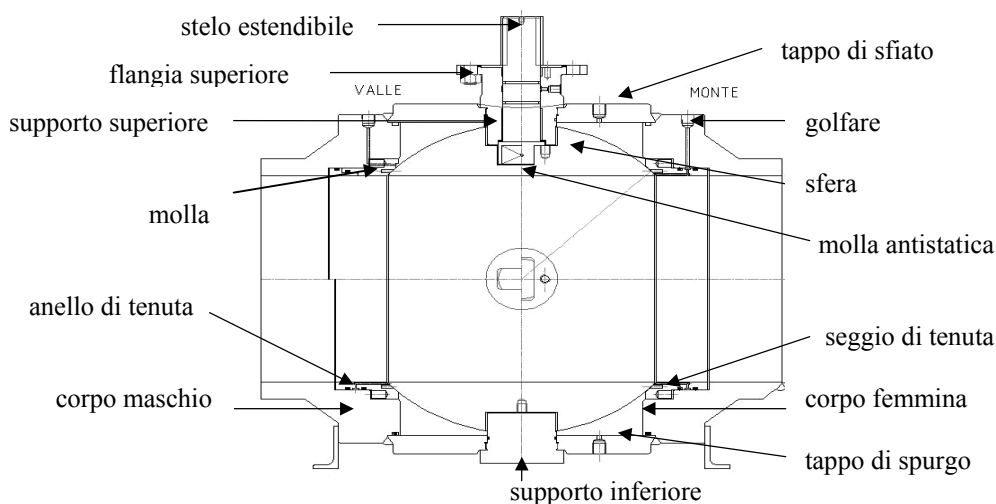


Figura 2.2: Valvola a sfera supportata a corpi saldati – passaggio pieno

Il corpo è costituito da parti saldate tra loro che assicurano l'assenza di fughe verso l'esterno durante tutto il periodo di vita della valvola (stimato almeno di 20 anni).

2.1.2 Materiali utilizzati

La scelta dei materiali, solitamente acciai al carbonio, inox e "speciali", utilizzati per la costruzione di corpi, coperchi, la copertura flange di testa e attacchi a saldare è regolata dalla normativa *API 6D (section 3)*, con eventuali riferimenti a *ASME e NACE MR-01-75* per i materiali (per es. Inconel 625) in servizio corrosivo.

Nella costruzione delle valvole a sfera viene sempre più utilizzato l'acciaio forgiato perché le caratteristiche della struttura degli acciai lavorati a caldo sono superiori rispetto alle fusioni e la totale assenza d'inclusioni garantisce l'alta qualità.

2.1.3 Eventuali trattamenti superficiali

Trattamenti termici e superficiali sono eseguiti presso fornitori qualificati seguendo appropriate procedure e/o istruzioni scritte che definiscono i cicli e le modalità operative specifiche. Tra la procedure più diffuse ci sono:

- la cromatura: trattamento applicato a sfere e seggi costruiti in acciaio al carbonio per aumentare la durezza superficiale del materiale e conferire una buona tenuta all'ossidazione.
- la nichelatura: viene utilizzata in alternativa alla cromatura, offre un minor grado di durezza, un maggior attrito ma è preferibile per una superiore resistenza alla corrosione.
- la zincatura: previene l'ossidazione da agenti atmosferici, rispetto alle altre due presenta costi inferiori offrendo però una minor resistenza a sollecitazioni meccaniche e una minor finitura superficiale.

Va inoltre ricordato che le valvole a tenuta metallica necessitano di un trattamento di indurimento superficiale che consenta loro di resistere all'usura e corrosione provocata dal sistema di tenuta a strisciamento che le caratterizza.

Sfera e seggi richiedono quindi un trattamento di carburo di tungsteno (WC HVOF) mentre corpi, chiusure e steli hanno riporti in saldatura in Inconel 625.

Solitamente le verniciature sono realizzate, dopo il collaudo finale, da personale interno specializzato. Nei cicli di verniciatura vengono definiti i tipi di vernice, le modalità d'applicazione e di controllo da verificare durante il processo (spessori, aderenza, ecc.).

2.2 QUALITY CONTROL IN TORMENE

La *Tormene Gas Technology* provvede all'identificazione del prodotto durante tutte le fasi dei processi aziendali, iniziando dalle fusioni o dal materiale grezzo, sino ai semilavorati ed ai prodotti finiti.

La responsabilità e le modalità d'identificazione di questi sono definita da procedure che prevedono:

- identificazione del materiale in accettazione con un codice che ne permetta la successiva rintracciabilità;
- rilevare durante il processo di lavorazione meccanica i particolari con il codice e il numero di colata del materiale utilizzato;
- eseguire le relative marcature con metodi che non danneggino il materiale e/o il prodotto finito, quindi apporre i marchi *CE*, qualora sia in accordo alle disposizioni di legge sul prodotto, e *API* in accordo alle procedure applicabili sulle valvole specifiche *API 6D*;
- mantenere il controllo e le opportune registrazioni per l'univoca identificazione del prodotto.

2.2.1 Verifiche ispettive interne

Per accertare se il sistema di gestione per la qualità risulta conforme ai requisiti della norma di riferimento, la *Tormene Gas Technology* conduce verifiche ispettive in forma sistematica e pianificata.

Il Responsabile della gestione della qualità definisce, nel “piano annuale della verifiche ispettive”, le aree aziendali e i fornitori da sottoporre a verifica, decidendo la frequenza delle ispezioni in funzione alla criticità e dei risultati dei precedenti *audit*.

2.2.2 Monitoraggio e misurazioni

L'azienda ha inoltre stabilito procedure per le misure da eseguire, le tolleranze ammesse e, di conseguenza, la tipologia dei dispositivi di misurazione e monitoraggio adeguati.

Le misurazioni effettuate, i monitoraggi dei processi aziendali sono necessari per soddisfare i requisiti del cliente quindi vengono svolti durante i diversi processi di fabbricazione utilizzando strumenti e tecniche ben definite nei vari piani di controllo.

Ogni strumento di misurazione ha caratteristiche proprie, campo di misura ed incertezza, modalità di manutenzione, controllo e taratura, ed è tutelato da alcuni accorgimenti di protezione che impediscano una modifica accidentale della sua regolazione; è quindi contrassegnato da un'etichetta riportante la data di validità di taratura per evidenziarne lo stato al momento dell'utilizzo. Alla scadenza della medesima lo strumento viene revisionato secondo le modalità per le tarature riportate nelle istruzioni aziendali interne altrimenti non può essere utilizzato.

- Controlli al Ricevimento

Su tutti i materiali in arrivo, prodotti o semilavorati provenienti da fornitori, prima del loro utilizzo viene eseguito il “*controllo in accettazione*” per verificare che corrispondano con quanto ordinato e alla relativa certificazione, di cui devono esser provvisti, che comprende le caratteristiche fisiche e chimiche, proprietà meccaniche, trattamenti subiti ed eventuali test o prove eseguite su un campione.

I documenti di controllo dei prodotti metallici, rilasciati secondo la norma europea *EN 10204*, possono esser redatti sulla base di controlli e prove eseguiti da personale autorizzato dal produttore e quindi considerati autocertificazioni in cui si attesta che i prodotti forniti sono conformi a quanto concordato all'ordinazione oppure rilasciati da personale gerarchicamente indipendente dai servizi di produzione e basati su controlli specifici e collaudi eseguiti in conformità con le prescrizioni tecniche richieste.

Il materiale risultato conforme ai controlli viene immagazzinato e successivamente utilizzato se invece viene identificato come non conforme è emesso *un rapporto di non conformità* (vedere paragrafo 2.2.4 “Rilevazione delle non conformità”).

- Monitoraggio durante il processo produttivo

Durante i diversi processi che intervengono nella fabbricazione dei prodotti sono eseguiti i controlli previsti dai piani di controllo qualità applicabili e dalla procedura “controllo del processo produttivo” che definisce i documenti utilizzati, il responsabile della verifica, la modalità di registrazione e d'identificazione del controllo avvenuto e la conformità ai criteri d'accettazione.

- Controlli non distruttivi (ND)

Oltre a semplici controlli manuali effettuati tramite calibri o manometri per verificare che spessori e grandezze dei pezzi rientrino nei *range* d'accettazione vengono svolti eventuali controlli ND da personale interno qualificato o da un organismo esterno competente in accordo alla "Direttiva 97/23/EC" e in conformità alla normativa EN 473.

Tra questi ci sono i "liquidi penetranti", solitamente eseguiti sui corpi della valvola, che permettono di rilevare (in tempi veloci e a costi irrisori) le eventuali imperfezioni superficiali e quindi la necessità di una revisione e sistemazione.

I pezzi controllati e risultati "accettabili" vengono marcati e possono quindi esser utilizzati in catena montaggio.

Vengono inoltre eseguite "radiografie" (a raggi X o gamma) su parti della valvola ritenute critiche per rilevare eventuali porosità, cricche e/o inclusioni.

Viene quindi stilato un rapportino radiografico riportante i difetti rilevati dallo sviluppo dei filmini che rimane in archivio come "traccia" oggettiva dei controlli effettuati.

Al contrario per controlli come i "magnetici" e "ultrasuoni" (svolti da laboratori esterni) possono esser solo compilati documenti di registrazione di quanto effettuato e riscontrato.

Le parti di valvola dove sono rilevati difetti *NON accettabili* vengono dichiarate *non conformi* perché inadatte a svolgere i loro scopi e quindi soggette a modifiche e ulteriori manutenzioni.

- Prove tecniche

Quando richiesto, allo scopo di dimostrare il raggiungimento delle caratteristiche specificate, il materiale trasformato a caldo e trattato termicamente è sottoposto alle prove fisiche e meccaniche di qualifica svolte presso laboratori esterni in accordo agli standard applicabili e alle richieste del cliente.

I risultati delle prove sono registrati su appositi certificati di prova, successivamente allegati come documentazione di riferimento.

2.2.3 I collaudi finali

Le valvole finite, sono sottoposte alle *prove di pressione* eseguite internamente mediante procedure (prova idraulica, pneumatica, ecc..) previste dalle normative applicabili e dalle richieste del cliente, utilizzando strumenti e "banchi prova" regolarmente funzionanti.

Le procedure definiscono, oltre ai documenti di supporto, le modalità operative e di

registrazione e d'identificazione dell'avvenuto controllo.

Il collaudo finale è solitamente presieduto da un ispettore che è responsabile dell'approvazione del rilascio della valvola.

Per la vendita dei prodotti è indispensabile la *certificazione finale* che comprende la composizione chimica della colata, i rapporti di prove fisiche, meccaniche e non distruttive eseguite sulle valvole e le loro parti, pressione e tipologia delle prove eseguite e risultati del test di collaudo.

Nella pagina successiva si riporta il *form base* utilizzato dai collaudatori e/o ispettori durante il collaudo della valvola per registrare i risultati ottenuti nelle varie prove.

E' necessario venga compilato in tutte le sue parti con precisione; all'inizio vengono richiesti i "dati anagrafici della valvola" (costruttore, descrizione: grandezza nominale in pollici e classe, n° commessa e codice, tipo, n° procedura-test utilizzata).

Nella prima colonna sono riportati i test che solitamente si applicano per verificare il funzionamento della valvola (alcuni clienti possono richiedere ulteriori test o modifiche a quelli standard applicati: in tal caso il form presenta le voci supplementari).

Tra i test standard vi sono: *la prova idrostatica* del corpo e dei seggi effettuata con acqua miscelata con un inibitore diluito (non devono verificarsi perdite), *il relief seat test* (uni o bi-direzionale), *la prova di coppia (torque test)*, *test di tenuta* a alta e bassa pressione (quest'ultimo effettuato con azoto liquido) per verificare la tenuta dei seggi.

Alla colonna "acceptance criteria" corrispondono i criteri di default presi dalle procedure.

Le due colonne "results e official test" si distinguono perché l'una è compilata durante prove interne, l'altra quando il collaudo è presieduto dall'ispettore e quindi è ritenuto ufficiale.

Altri particolari test svolti su richiesta del cliente sono *la prova funzionale degli attuatori*, *il double block and bleed test (DBB)* per verificare non ci siano perdite in cavità e *il double piston effect test (DPE)* che prevede vi sia la stessa pressione sia in cavità che a monte.

La zona "remarks" è riservata ai commenti e per l'annotazione di eventuali problemi o perdite rilevate.

Se il risultato del *collaudo è positivo*, *il CQ pone il timbro* di avvenuto controllo e la valvola è ritenuta pronta per la consegna o per esser montata in un impianto (*pipe line*) mentre se risultata *non conforme* alle normative / procedure di riferimento viene "scartata" quindi riparata e nuovamente collaudata.

Attualmente il *test report* di collaudo viene compilato manualmente e conservato come

testimonianza di controllo avvenuto ma, al fine ridurre i tempi, di eliminare eventuali errori di scrittura, e per potenziare le possibili indagini statistiche, si vorrebbe predisporre dei PC sui vari banchi prova in modo che i *form* vengano compilati direttamente dal *GLOBAL* e quindi visualizzabili in tempo reale in tutta la rete aziendale.


		PRESSURE TEST CERTIFICATE		CERTIFICATE N°. _____ Sheet of _____	
MANUFACTURER: TORMENE GT			CUSTOMER:		
P.O. N°:			PROJECT:		
ITEM:			VALVE DESCRIPTION: DN #		
JOB No:			SERIAL NUMBER:		
Valve type: TE <input type="checkbox"/> FL <input type="checkbox"/> TM <input type="checkbox"/> MTM <input type="checkbox"/> FW <input type="checkbox"/> KS <input type="checkbox"/>					
Test procedure: I 03			QP		Acceptance criteria: API6D
TESTS	ACCEPTANCE CRITERIA	TEST RESULTS	OFFICIAL TEST	COMMENTS	
HYDROSTATIC BODY TEST Pressure _____ Duration _____ Body Leak _____ Bonnet-cover Leak _____ Steam Leak _____	Table 1 bar _____ Table 2 min _____ No leakage _____ No leakage _____ No leakage _____	P= bar _____ T= min _____ OK <input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/>	P= _____ T= _____ OK <input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/>	Pressure gauge: C _____ Test Data:	
RELIEF SEAT TEST (1% of each DN and #) Side A _____ Side B _____	bar _____ bar _____	A _____ B _____	A _____ B _____	Pressure gauge: C _____ Test Data:	
OPERATION TORQUE TEST Definitive gear box Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Gear type _____ Valve differential pressure _____ Break to open case _____ Side A pressurized _____ Side B pressurized _____ Without pressure _____	Delta P= bar _____ Nm _____ Nm _____ Nm _____	Delta P= bar _____ Torque _____ Nm _____ Nm _____ Nm _____	Delta P= bar _____ Torque _____ Nm _____ Nm _____ Nm _____	Pressure gauge: C _____ Wrench D _____ Test Data:	
HIGH PRESSURE SEAT TEST (water) Pressure _____ Duration _____ Side A _____ Side B _____	Table bar _____ Table min _____ Table cm ³ /min _____ Table cm ³ /min _____	P= bar _____ T= min _____ Leak rate: _____ Leak rate: _____	P= bar _____ T= min _____ Leak rate: _____ Leak rate: _____	Pressure gauge: C _____ Test Data:	
LOW PRESSURE SEAT TEST (gas) Pressure _____ Duration _____ Side A _____ Side B _____	Table 1 bar _____ Table 2 min _____ NO LEAKAGE _____ NO LEAKAGE _____	P= bar _____ T= min _____ OK <input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/>	P= bar _____ T= min _____ OK <input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/>	Pressure gauge: C _____ Test Data:	
HIGH PRESSURE SEAT TEST (gas) Pressure _____ Duration _____ Side A _____ Side B _____	Table bar _____ Table min _____ Table 5 cm ³ /min _____ Table 5 cm ³ /min _____	P= bar _____ T= min _____ Leak rate: _____ Leak rate: _____	P= bar _____ T= min _____ Leak rate: _____ Leak rate: _____	Pressure gauge: C _____ Test Data:	
Remarks: _____ _____					
Test results: SATISFACTORY <input type="checkbox"/> NOT SATISFACTORY <input type="checkbox"/> Non conformity report n° _____		Operator Signature _____ _____ QC _____ Date _____		Customer /TPJ _____ _____ Date _____	
				QC Signature _____ _____ Date _____	

Figura 2.3: Form base utilizzato ai banchi prova per registrare i risultati dei collaudi.

2.2.4 Rilevazione delle non conformità

Responsabilità e modalità di gestione e trattamento delle non conformità (NC) sono definite nelle procedure “*controllo delle NC*” e “*gestione delle azioni correttive e preventive*”.

Durante le prove, i controlli e i collaudi previsti nel ciclo produttivo, vengono individuate le parti e i prodotti che si scostano dai parametri richiesti e quindi aperti *Rapporti di NC* con documentazione riguardante l’oggetto e la tipologia di problema riscontrato.

Solitamente per definirne il trattamento avviene una notifica dell’avvenuta NC alle parti interessate (fornitori, ufficio acquisti e responsabile produzione ...), vengono quindi elaborate delle *proposte di risoluzione* che sono analizzate e approvate dal Responsabile gestione della qualità e possono essere di vario tipo:

- rilavorazione del pezzo;
- accettazione in concessione quando pur non essendo rispettati i requisiti specifici, non sono modificate le caratteristiche di funzionalità finali del prodotto.
- accettazione con riparazione per il conseguimento dei requisiti di progettazione e funzionalità richieste;
- scarto o rifiuto.

2.2.5 Azioni correttive e preventive per il miglioramento

La *Tormene Gas Technology* effettua Azioni Correttive per eliminare le cause di non conformità verificatesi e per prevenirne la possibilità che riaccadano.

Al fine di ottimizzare i processi e aumentare il livello qualitativo dei prodotti, attraverso un’analisi approfondita dai dati a disposizione, vengono identificate le cause delle potenziali NC, registrate azioni preventive e le relative responsabilità e tempistiche da rispettare.

Tali piani di miglioramento sono soggetti a verifiche d’attuazione e modifiche da parte del Responsabile gestione della qualità per potenziare le prestazioni dell’azienda e soprattutto per soddisfare le esigenze del cliente.

2.2.6 Statistiche

Attualmente le elaborazioni statistiche sono effettuate dal Responsabile Gestione della Qualità a partire dai fogli “*pressure test certificate*” ma, non essendoci un programma che ne conserva una memoria è difficile tener conto di tutte le caratteristiche dei test eseguiti. Vengono quindi svolte “statistiche semplici” senza utilizzo di particolari metodologie di

analisi. In particolare viene completata una tabella excel che riporta le valvole collaudate (o in un dato mese o appartenenti a una particolare commessa) suddivise, in modo “manuale”, in 4 gruppi per dimensioni nominali con l’ulteriore distinzione, per tenuta soffice e metallica, tra valvole d’acquisto e quelle costruite in Tormene.

Nell’ultima colonna vengono calcolate le percentuali di valvole risultate non conformi al collaudo, indicate come “KO %”, e segnalate le eventuali precisazioni e particolarità verificatesi allo scopo di tenerne una nota storica.

Commessa 20048343

VALVOLE COLLAUD.	TESTATE	FORNITORI	DN<=4"		6"=<DN<16"		16"=<DN<24"		DN>=24"		TOT KO	KO %
			SOFT	MTM	SOFT	MTM	SOFT	MTM	SOFT	MTM		
			TOT	KO	TOT	KO	TOT	KO	TOT	KO		
TOTALE	131										6	4,6 %
TORMENE	123		61	0	50	6	12	0			6	4,9%
ACQUISTO	8	Neway	8	0							0	0%

NOTE: Le 6 valvole a sfera Top Entry (DN 6”x4”) sono risultate “KO” perché presentavano perdite dai seggi al test di tenuta a bassa pressione.

Tabella 2.4: Esempio di tabulazione con i risultati dei collaudi di valvole a sfera “ANSI 600” provenienti da un'unica commessa.

La necessità di svolgere elaborazioni più precise e sofisticate troverà, almeno in parte, soluzione con il potenziamento del *software* gestionale aziendale *Scout by GLOBAL* che con l’aggiunta e il miglioramento di alcune opzioni darà la possibilità di immagazzinare in modo dettagliato i risultati dei collaudi.

2.3 IL SOFTWARE GESTIONALE AZIENDALE: *Scout by GLOBAL*

Fonte ufficiale e sempre aggiornata in rete è il *software* gestionale aziendale *Scout by GLOBAL*, da cui è possibile reperire archivi dati di vario genere.

Dal *menù principale* ogni utente “Tormene” può accedere alle varie finestre operative, a seconda del proprio ruolo aziendale, per trovare ordini di fornitori e produzione, distinte base, gestione di commesse e magazzino e altre particolarità con la possibilità di stampare tutte le finestre video su carta.

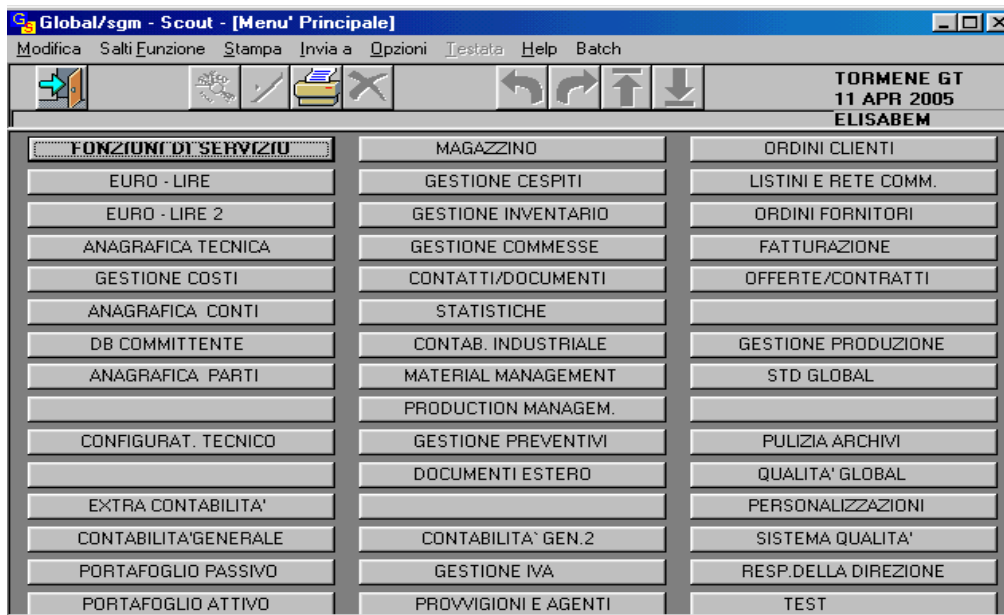


Figura 2.5: Scheda video del menù principale di Scout by Global

Per conoscere le caratteristiche e particolarità di una valvola si può utilizzare la voce “Anagrafica tecnica” da cui è possibile visualizzare le distinte base o dal codice di una valvola reperire la descrizione dettagliata delle sue componenti.

Codice articolo

Descrizione: classe, passaggi tipo valvola tipo tenuta

Tipo materiali utilizzati per: corpo/sfera/stelo/seggio + riporti

descrizione pezzi usati per la costruzione della valvola a sfera

N.riga	Componente	Alt.	Cod.p	Var.	Umi	Umdb	Coeff.	Impiego	Effic
13	4R1148200G2				PZ	PZ	1,000000000	100	
	C.FEMMINA DN10" #600 TM								
	A350 LF2 CRYOG.								
60	4R1148900G4				PZ	PZ	2,000000000	100	
	BASAMENTO VS #600 DN14x10" TM								
	Fe37 TOTAL								
26	5M0215AOUR				PZ	PZ	1,000000000	100	
	GUARNIZIONE DI=50 DE=65 L=7.5								
	GRAFOIL								
35	5ML131HB				PZ	PZ	1,000000000	100	
	MOLLA NO.131 T316								
14	5ML272HB				PZ	PZ	36,000000000	100	
	MOLLA NO.272 T316 ULTIMA SPIRA								
	ALLARGATA D. 14,2								
74	SR1137300K6				PZ	PZ	1,000000000	100	
	MAVETTA STELO DN8/10" #600								

Figura 2.6: Esempio di distinta base

2.3.1 Ampliamento potenzialità del software

E' stato necessario lavorare al miglioramento delle funzioni già presenti e all'ampliamento di potenzialità delle opzioni del menù di *Scout by Global* per permettere di immagazzinare tutte le informazioni relative a una valvola (dalla sua creazione al momento in cui viene rilasciata al cliente) e, dopo un'attenta analisi e discussione col Responsabile di gestione della qualità e l'ideatore del programma, sono state apportate alcune modifiche.

Dalla voce "*Configuratore tecnico*", tramite la nuova opzione "*gestione schede tecniche*", è possibile compilare la scheda tecnica di una valvola, o eventualmente modificarne una già presente, immettendo il codice e inserendone variabili descrittive che la caratterizzano:

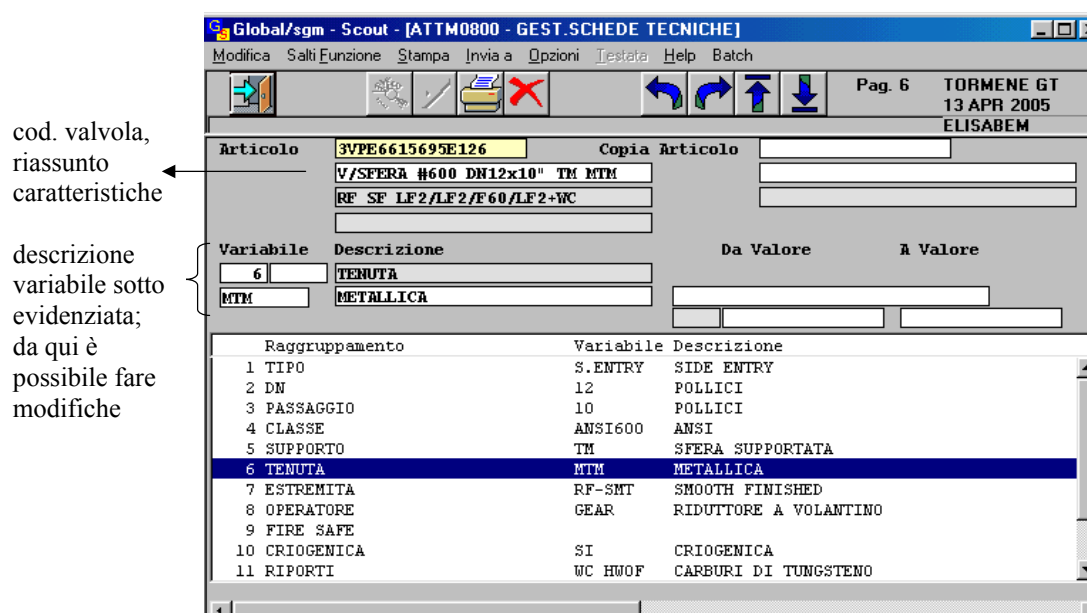


Figura 2.7: Gestione schede tecniche visualizzabile a video

Le 13 variabili visualizzabili a video sono di seguito descritte:

1. tipo: FW = *fully welded*, TE = *top entry*, KS = *konosphaera*, S.ENTRY = *side entry*, SPLIT = *split body* (per eventuali dettagli vedere paragrafo 2.1.1) ;
2. DN: grandezza nominale espressa in pollici;
3. passaggio: ridotto o pieno;
4. classe di massima pressione d'esercizio della valvola;
5. supporto: FL sfera flottante o TM (= *trunnion mounted*) sfera supportata;
6. tenuta: SF soffice o MTM metallica,
7. estremità: *butt weld*, *hub*, *ring joint*, *smooth / stock finished*;

8. operatore: organismo di manovra per apertura o chiusura della valvola (*barshaft, gear, lever*, attuatore pneumatico / elettrico / idraulico);
9. *fire safe*: se è resistente ad alte temperature;
10. criogenica: se è resistente a basse temperature;
11. riporti: se presenti sono in saldatura Inconel 625 / F316 / WC HWOFF;
12. *pups*: saldati o meno,
13. estensione: presente o meno.

Se il raggruppamento non riporta una variabile data o descrizione ciò significa che la valvola in esame non possiede quella specifica caratteristica.

Per creare un'effettiva base dati completa, che riporti anche i risultati in dettaglio dei test di collaudo, sarà necessario qualche altro aggiustamento (in fase d'attuazione) al programma che permetterà ai collaudatori e/o ispettori di compilare il "*pressure test certificate*" (esempio in Figura 2.3) direttamente dai PC presenti alle postazioni di prova con una notevole riduzione di tempi e d'errori di trascrizione.

Ogni utente "Tormene", in tempo reale, dal codice di una valvola potrà reperire oltre alle caratteristiche e il disegno anche i test di collaudo effettuati e le eventuali problematiche riscontrate.

La presenza di questo nuovo "*archivio collaudi valvole effettuati*", anche a distanza di tempo, darà la possibilità di sapere quante valvole sono state collaudate in un dato mese o per una particolare commessa, conoscere con precisione i motivi di un'eventuale scarto e le relative modifiche apportate, dando inoltre la possibilità di svolgere elaborazioni statistiche più precise, senza dover ricercare i vari "*pressure test certificate*" d'interesse tra gli archivi cartacei.

Tale "archivio virtuale" sarà utile per un'eventuale intervento mirato al miglioramento della qualità e al potenziamento delle attività aziendali. Il risultato ottenuto in sede di collaudo, infatti, dipende dal lavoro svolto dai vari uffici (dal commerciale che riceve l'ordine, all'ufficio tecnico che progetta la valvola decidendone i materiali da utilizzare per la costruzione, all'ufficio controllo qualità che verifica che tutto si svolga secondo le normative), dai fornitori ai vari reparti produzione (da chi assembla i pezzi provenienti dai vari fornitori al reparto saldatura o alla carpenteria che sistema gli eventuali difetti), dai collaudatori che verificano il funzionamento della valvola al magazzino che provvede alle spedizioni.

CAPITOLO 3

IL CONTROLLO STATISTICO DELLA QUALITA'

3.1 INTRODUZIONE: TEORIA E METODI UTILIZZATI

Nei primi due capitoli si è fatta la presentazione dell'azienda e una panoramica generale sulla produzione e le attività svolte in *Tormene Gas Technology*; ora che si conosce il contesto di riferimento si descrivono brevemente i principali strumenti teorici e metodi statistici utilizzati per l'analisi dei dati ricavati dai certificati di collaudo delle valvole a sfera. I singoli approcci saranno approfonditi in dettaglio nei paragrafi successivi.

L'analisi esplorativa delle variabili verrà effettuata in modo grafico attraverso istogrammi, *boxplot* e *normal probability plot* e, per saggiare la normalità delle osservazioni, sarà adoperato il test di *Shapiro-Wilk* (1965).

Prima di proseguire nell'analisi dei risultati di collaudi di valvole con metodi per il controllo statistico della qualità per dati autocorrelati e non – normali si verificherà la significatività della differenza tra i due lati A e B relativi al *torque test*.

Tale procedura porterà a considerare le corrispondenti osservazioni come provenienti da un campione casuale semplice d'ampiezza due. La differenza tra i due lati viene verificata adattando un *modello lineare generalizzato Gamma* in quanto i dati che, anche se modellati con trasformazioni logaritmiche o esponenziali, non sono riconducibili ad una distribuzione normale.

Per il controllo della qualità e per ridurre la variabilità del processo nel caso in esame si farà riferimento alle *carte di controllo EWMA* per dati autocorrelati e ai metodi di controllo per dati non normali.

Infine, si presenterà la carta di controllo per attributi, in particolare la *carta p*, per analizzare la frazione di unità non conformi riscontrata nel campione di valvole considerate.

3.2 VERIFICA DELLA NORMALITA': "Il test di Shapiro - Wilk"

Il test di *Shapiro-Wilk* (1965) è considerato in letteratura uno dei test più potenti per la verifica della normalità (soprattutto per piccoli campioni).

Questo test prevede il confronto di due stimatori alternativi della varianza σ^2 : uno stimatore non parametrico basato sulla combinazione lineare ottimale della statistica d'ordine di una variabile aleatoria normale al numeratore, e il consueto stimatore parametrico, ossia la varianza campionaria, al denominatore.

I pesi per la combinazione lineare sono disponibili su apposite tavole mentre la statistica W può essere interpretata come il quadrato del coefficiente di correlazione. Nel caso si rifiuti l'ipotesi che i dati siano distribuiti normalmente (si ottiene un p -value ≤ 0.1) è necessario ricorrere a metodi diversi dalle carte tradizionali di tipo Shewhart.

3.3 IL MODELLO LINEARE GENERALIZZATO

Il modello lineare generalizzato (*GLM*) consente di trattare funzioni non lineari e variabili non normali con l'obiettivo di spiegare la relazione tra una variabile risposta e una o più variabili esplicative.

La classe dei *GLM*, è ottenuta dall'estensione del modello *lineare classico* $Y_i = \mu_i + \varepsilon_i$ con $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$. La componente casuale $Y_i \sim N(\mu_i, \sigma^2)$ e il legame tra il valor medio e il predittore lineare $\mu_i = \eta_i$ vengono generati per mezzo di una distribuzione appartenente alla famiglia esponenziale $Y_i \sim EF(b(\theta_i), \phi)$.

Tra le varie possibilità offerte dalla famiglia esponenziale (Poisson, Bernulliana, Normale e Gamma), per descrivere una variabile risposta positiva e continua, di cui non si conosce la distribuzione, si utilizzerà la *distribuzione Gamma*, $Y \sim Gamma(\gamma, \lambda)$, con $\gamma > 0$ fissato e con funzione di probabilità del tipo:

$$p(y; \lambda, \gamma) = \frac{y^{\gamma-1} e^{-y/\lambda}}{\lambda^\gamma \Gamma(\gamma)} = \exp\left\{-\frac{y}{\lambda} - \gamma \log \lambda + (\gamma - 1) \log y - \log \Gamma(\gamma)\right\}$$

da cui è possibile ricavare il parametro naturale $\theta = -1/\lambda$, e scrivere $Y \sim EF(-\gamma \log(-\theta), \phi)$ con legame canonico reciproco dove $\phi > 0$ è il parametro di scala stimabile per i valori di γ e λ .

3.4 LA VARIABILITA' DEL PROCESSO PRODUTTIVO

Il controllo statistico della qualità (CSQ) consiste nell'insieme di strumenti metodologici e di attività finalizzati a controllare l'insieme di caratteristiche che identificano il livello di produzione e a monitorare costantemente il processo produttivo per renderlo sempre più efficiente.

Come è già stato accennato nel Capitolo 1, il *CSQ* in azienda assume sempre più un ruolo importante derivante dalla complessità dei processi produttivi, dalle norme di sicurezza del lavoro, dagli standard qualitativi richiesti da una competitività sempre maggiore.

Qualsiasi impianto, anche il più sofisticato e tecnologicamente avanzato, è caratterizzato da un produzione che non è mai identica: ogni prodotto finito si differenzia da un altro per delle differenze anche minime ma comunque quantificabili e controllabili.

Proprio perché la produzione è un fenomeno caratterizzato da variabilità e da scostamenti dalle specifiche richieste, è necessario studiarla utilizzando metodi statistici appropriati.

Ogni processo produttivo, indipendentemente dalla progettazione e dalle fasi di cui è composto, è sempre soggetto a una certa *variabilità* provocata da *fattori causali* irrilevanti che lo mantengono comunque sotto controllo ma, vi sono anche *fattori specifici* (macchinari non ben tarati o funzionanti, materiali difettosi, errori degli operatori) che influiscono in modo evidente generando delle non conformità.

Di fondamentale importanza è ricordare che i *limiti di specifica* vengono definiti da procedure standard a cui l'azienda produttrice fa riferimento o da accordi presi col cliente, indipendentemente dal comportamento naturale del processo che invece determina i limiti di tolleranza naturale.

Quando il processo mantiene costante il proprio livello di variabilità si dice *in controllo* e la maggior parte dei valori della grandezza considerata cadono tra i limiti d'accettabilità.

Al contrario quando vi sono delle alterazioni, la variabilità del processo subisce delle modifiche, un elevato numero di specifiche campionarie cade all'esterno dei limiti portandolo così *fuori controllo*.

Per il miglioramento della qualità è necessario il controllo statistico del processo produttivo e quindi l'analisi dei risultati dei collaudi mediante metodi statistici.

3.5 LE CARTE DI CONTROLLO

Uno degli strumenti più importanti per il controllo della qualità e per ridurre la variabilità di una popolazione sono le carte di controllo, introdotte negli anni '20 da *W.A. Shewhart* (1924,1931). Le carte, ottenute a partire da rilevazioni campionarie, utilizzano tecniche statistiche per la comprensione delle dinamiche intrinseche al processo di produzione.

Vari motivi portano ad applicarle anche nel caso di “collaudi di valvole”:

- migliorano e aumentano la produttività riducendo sprechi e diminuendo così i costi;
- sono efficaci per prevenire la produzione di pezzi difettosi;
- evitano di dover apportare inutili aggiustamenti e variazioni sul processo produttivo perché mettono in evidenza la presenza di anomalie;
- forniscono informazioni sulla *capacità del processo* e sulla sua stabilità nel tempo.

Nei grafici rappresentanti le carte si potrà notare una linea centrale (*LC*), corrispondente al valor medio della statistica di controllo e pari a un valore considerato ottimale per il processo in controllo, e altre due linee orizzontali in corrispondenza ai due limiti di accettabilità (*UCL* = limite di controllo superiore e *LCL* = limite di controllo inferiore).

Se i valori campionari cadranno all'interno di questi non sarà necessario nessun intervento correttivo sul processo, altrimenti se qualcuno sarà al di fuori del *range* verrà sottoposto “ad un'analisi interpretativa” che ne determinerà le azioni correttive necessarie perché non si verificano nuovamente situazioni simili.

3.5.1 Scelta della Carta di controllo appropriata

Per scegliere la carta di controllo più appropriata al caso in esame è necessario svolgere un'analisi preliminare dei dati per capire le caratteristiche e i comportamenti delle variabili considerate.

Per essere considerata efficiente la carta di controllo deve minimizzare il numero di falsi allarmi identificando le condizioni anomale e quindi mantenere il processo in condizione stabile.

Poiché un processo è in controllo quando quasi tutti i valori campionari rientrano nei limiti di controllo, la scelta di quale carta di controllo applicare è fondamentale per una giusta interpretazione dei dati e va fatta dopo un'attenta analisi delle possibilità disponibili in letteratura e applicabili alle variabili rilevate nei collaudi di valvole a sfera.

3.6 LE CARTE DI CONTROLLO PER DATI AUTOCORRELATI

Le carte standard per il controllo statistico di processo assumono, quando questo è in controllo, che il processo abbia media costante e risulti incorrelato nel tempo.

Si ricorda, per esempio, che *le carte Shewhart* e le carte di controllo per variabili assumono come ipotesi iniziale per la loro applicazione che i dati provengano da una distribuzione normale e considerano unicamente informazioni rilevate nell'ultimo istante d'osservazione, risultando così insensibili a piccole modifiche del livello del processo.

E' però importante sapere anche come comportarsi quando l'assunzione di indipendenza e di normalità dei dati è violata e scoprire cosa succede nel caso si verifichi un fenomeno di autocorrelazione, causato dall'inerzia o stabilità dei valori osservati, per cui ogni valore è influenzato da quello precedente e determina in parte rilevante quello successivo.

In questi casi in letteratura viene suggerito l'utilizzo delle *carte Exponentially Weighted Moving Average* – EWMA (Roberts, 1959) direttamente sui dati autocorrelati.

3.6.1 Le carte di controllo a medie mobili pesate esponenzialmente

Come già accennato, le carte EWMA costituiscono una valida alternativa alle carte Shewhart in presenza di una forte autocorrelazione tra osservazioni passate ma, anche, nel caso si sia interessati a scoprire salti di livello di entità limitata.

Inoltre sono uno strumento di controllo ideale nel caso di osservazioni singole dal momento che possono esprimersi come media ponderata di tutte le osservazioni passate, e di quella corrente, risultando del tutto insensibili all'assunzione di normalità.

Grazie a queste proprietà, i valori della statistica EWMA:

- sono direttamente una stima del parametro del processo sottoposto a controllo,
- si spostano lentamente verso un nuovo livello seguendo il cambiamento nel processo;
- variano intorno la linea centrale con piccole fluttuazioni quando il processo è in controllo;

L'EWMA, con un valore appropriato di λ , fornisce un buon previsore ad un passo se:

- se le osservazioni sono positivamente correlate;
- se la media del processo non devia troppo velocemente.

L'EWMA è definita come: $w_t = (1 - \lambda)w_{t-1} + \lambda x_t$

dove $0 < \lambda \leq 1$ è una costante che spiega come lisciare il passato.

Se le osservazioni x_t sono determinazioni di variabili casuali indipendenti di varianza

comune σ^2 , la varianza di w_t è pari a $\sigma_{w_t}^2 = \sigma^2 \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) [1 - (1-\lambda)^{2t}]$ ma,

dal momento che $1 - (1-\lambda)^{2t} \rightarrow 1$ la varianza asintotica della statistica EWMA

per $t \rightarrow \infty$, è $\sigma_w^2 = \sigma_0^2 \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right)$.

Quando la carta EWMA è utilizzata per misure individuali la linea centrale e i *limiti di controllo variabili* sono dati da:

$$[LCL; UCL] = \left[\mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2t}]} ; \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2t}]} \right]$$

con $CL = \mu_w = E[w_t] = \mu_0$.

Al crescere di t i limiti di controllo della carta EWMA si stabilizzano intorno ai *valori*

asintotici $\left[\mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} ; \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} \right]$.

Tuttavia, se vengono considerati dei sottogruppi razionali di ampiezza $n > 1$, sarà sufficiente

sostituire nelle equazioni sopra riportate, x_t con \bar{x}_t e σ con $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.

3.6.2 Disegno di una carta EWMA

Le prestazioni di una carta EWMA sono valutate in termini di ARL (*Average Run Length*)

ovvero il numero medio di punti che devono essere osservati prima che un punto cada al di fuori dei limiti di controllo.

L'ARL(δ), con $\delta = \frac{\mu_t - \mu_0}{\sigma_0}$ può calcolarsi risolvendo in modo numerico un'equazione

integrale del tipo Fredholm (Crowder, 1989) o per mezzo dello approccio Catene di Markov (Brook e Evans, 1971). Anche Crowder (1987), Lucas e Saccucci (1990), forniscono tavole dell'ARL della carta EWMA per diverse coppie di valori (λ, L) .

Il disegno ottimale dello schema EWMA consiste pertanto nel trovare il valore di λ che minimizza l'ARL fuori controllo per il valore dello *shift* (δ) prefissato (Normogrammi e tavole di Crowder, 1987, 1989); ovvero fissare il tasso dei falsi allarmi utilizzando la minima ampiezza del salto della media δ che si vuole individuare.

La coppia (λ, L) è la combinazione ottima che produce, per un dato ARL in controllo, l'ARL fuori controllo più piccolo possibile, per un valore di δ specificato.

La scelta di un valore per λ piccolo offre uno schema efficiente nei confronti di cambiamenti del processo di piccola entità mentre uno grande per variazioni di grande entità.

Valori di $L = 3$ (come nel caso della regola del *3-sigma*) sono ragionevoli nel caso in cui $\lambda > 0.1$.

3.7 METODI PER DISTRIBUZIONI NON - NORMALI

Quando l'assunzione di normalità viene a mancare e i dati, tramite trasformazioni logaritmiche o esponenziali, non sono riconducibili alla distribuzione normale, si può ricorrere a metodi specifici nel caso particolare in cui i dati si comportano secondo la distribuzione *Gamma*, *Lognormale* o di *Weibull*.

Choobineh e Ballard (1987) introducono in letteratura il metodo "*Weighted variance*" (varianza pesata) che come idea base scompone la distribuzione asimmetrica in due normali con stessa media μ ma differenti deviazioni standard σ_1 e σ_2 .

I parametri possono quindi essere stimati: μ come $\bar{X} = \sum_{i=1}^n x_i / n$ mentre σ_1 e σ_2 come

$$S_1^2 = \frac{2 \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{X})^2}{2n_1 - 1} \quad \text{e} \quad S_2^2 = \frac{2 \sum_{i=1}^{n_2} (x_i - \bar{X})^2}{2n_2 - 1} \quad \text{rispettivamente.}$$

Quindi, secondo il metodo di Bai e Choi (1995) chiamato "*weighted standard deviations*" (metodo della deviazione standard pesata), si può decomporre la deviazione standard σ in

deviazione superiore σ_U^W e deviazione inferiore σ_L^W (da cui si ottiene $\sigma_U^W + \sigma_L^W = \sigma$) e calcolare i limiti di controllo utilizzando, al posto di σ , $2\sigma_U^W$ e $2\sigma_L^W$:

$$[LCL_{WSD}; UCL_{WSD}] = [\mu - L \frac{2\sigma_L^W}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}; \mu + L \frac{2\sigma_U^W}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}].$$

Definendo la probabilità $P = Pr\{X \leq \mu\}$, i limiti di controllo possono anche essere calcolati come: $[\mu - L \sigma_{EWMA} 2(1-P); \mu + L \sigma_{EWMA} 2P]$, con $\sigma_{EWMA} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}$ ($\sigma = \bar{R}/d_2$).

Utilizzando il numero di osservazioni minori o uguali alla media si può stimare P con

$$\hat{P} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n I(\bar{X} - X_{ij})}{kn}, \text{ dove } k \text{ è pari al numero di campioni, } n \text{ il numero di osservazioni}$$

per campione e $I(x)=1$ se $x \geq 0$ mentre $I(x)=0$ altrimenti.

Un altro possibile approccio ai dati non- normali è utilizzare una carta di controllo non parametrica applicabile indipendentemente dalla distribuzione. Tale carta, introdotta da *Hackl e Ledolter* (1989), assume il nome di *carta EWMA basata sui ranghi* e si definisce come: $T_t = (1-\lambda)T_{t-1} + \lambda R_t$, con $t = 1, 2, \dots$

con $R_t = 2 [F_0(X_t) - 1/2]$, rango standardizzato delle osservazioni, che si distribuisce uniformemente tra ± 1 , con media 0 e varianza 1/3.

Quando, invece, la distribuzione non è specificata, assunta $g-1$ come dimensione di un campione storico proveniente da un processo in controllo, $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_{g-1}\}$, viene definito

$$R_t = \frac{2}{g} \left(R_t^* - \frac{g+1}{2} \right), \text{ dove } R_t^* \text{ è il rango di } X_t, \text{ con media 0 e varianza } (g^2-1)/3g^2.$$

Il valore d'inizio T_0 è usualmente preso uguale a 0, e λ è il parametro di liscio $0 < \lambda \leq 1$ (solitamente scelto tra 0.1 e 0.3).

Il processo si può considerare fuori controllo al tempo t se $|T_t| > h$, con h parametro di limite di controllo.

I parametri λ e h sono scelti secondo particolari tabelle disponibili in letteratura in modo tale che l'ARL sia grande, se il processo è sotto controllo, e piccolo, nel caso sia fuori controllo.

3.8 LE CARTE DI CONTROLLO PER ATTRIBUTI

Molte caratteristiche relative alla qualità di un prodotto o al risultato di un test di collaudo, non possono essere rappresentate con variabili numeriche quantitative. In questi casi si è soliti classificarle come conformi o non conformi rispetto alla qualità d'interesse.

Caratteristiche di questo tipo vengono chiamate *attributi*.

Tra le varie carte di controllo per attributi, verrà presa in considerazione e utilizzata *la carta p*, ovvero la *carta di controllo della frazione di unità non conformi*.

Nei test di collaudo finale, infatti, una valvola può riportare perdite dai seggi venendo così classificata come “non conforme” e quindi rifiutata e revisionata nuovamente.

La frazione di non conformi \hat{p} viene definita come il rapporto tra il numero di valvole scartate ai collaudi (ovvero le unità non conformi) D e il numero totale della popolazione

campionaria n : $\hat{p} = \frac{D}{n}$ ed è riconducibile alla distribuzione binomiale con media $\mu = p$ e

varianza $\sigma_{\hat{p}}^2 = \frac{p(1-p)}{n}$.

3.8.1 Carta p per dimensioni campionarie variabili

Come vedremo, non vengono sempre prodotte o collaudate lo stesso numero di valvole quindi la dimensione campionaria sarà variabile e in tal caso avremo a disposizione tre approcci per determinare se il processo è in controllo:

1) calcolo *dei limiti di controllo per ogni ampiezza campionaria n_i* .

Sugli m campioni considerati si calcola $\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{\sum_{i=1}^m n_i}$, che funge da linea centrale per

i limiti di controllo: $[LCL ; UCL] = [\bar{p} - 3 \hat{\sigma}_{\hat{p}} ; \bar{p} + 3 \hat{\sigma}_{\hat{p}}]$

dove $\hat{\sigma}_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n_i}}$ è la stima della deviazione standard della frazione

campionaria di non conformi \hat{p} .

2) Costruzione dei *limiti di controllo basati sulla dimensione campionaria media*,

calcolata come $\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i}{m}$ e limiti di controllo approssimati:

$$[LCL; UCL] = [\bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}; \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}]$$

3) Utilizzo di *valori standardizzati* $Z_i = \frac{\hat{p}_i - \bar{p}}{\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}}$,

dove \bar{p} è il valore del processo sotto controllo.

La carta risultante avrà linea centrale (*LC*) posizionata sullo 0 e i limiti *LCL* e *UCL* rispettivamente pari a -3 e +3.

CAPITOLO 4

ANALISI DATI DEI COLLAUDI FINALI

4.1 INTRODUZIONE AI DATI OSSERVATI

Nel capitolo precedente si sono introdotti gli argomenti e i metodi che ora si utilizzeranno per l'analisi dei test di collaudo finale effettuati in *Tormene Gas Technology S.p.A.* .

In questo caso specifico, per svolgere il controllo statistico del processo produttivo non è coerente analizzare valvole di dimensioni e caratteristiche completamente diverse perché al variare di classe e specifiche di riferimento variano anche i parametri delle procedure applicabili e le norme da rispettare.

E' stato quindi necessario scegliere di analizzare i dati provenienti da test di collaudo di valvole *simili per dimensione* ($1'' \leq DN \leq 10''$) e di *un'unica classe* di riferimento (*ANSI 600*) per le quali si è applicata la *stessa procedura di collaudo* (*I 03 0005E*).

Secondo questa, le valvole a sfera da collaudare non devono essere verniciate e le condizioni di riferimento per il collaudo finale sono:

- temperatura ambiente $5 + 35^{\circ} \text{C}$;
- pressione atmosferica 1 bar;
- umidità relativa $75 + 90 \%$;

si prevede inoltre l'esecuzione dei seguenti test:

1) HYDROSTATIC BODY TEST:

la *prova idrostatica del corpo* viene effettuata con acqua fresca miscelata con un inibitore anticorrosivo. La valvola assemblata nell'impianto di prova deve essere posizionata con il suo otturatore in modo da permettere una distribuzione uniforme della pressione in tutte le parti del corpo: collaudata alla pressione di 155 bar per 5 minuti non deve presentare perdite dal corpo, dal coperchio e dello stelo e non sono accettabili deformazioni di componenti. La valvola viene depressurizzata dopo il test.

2) TORQUE TEST:

la *prova di coppia* viene effettuata con lo stesso fluido della prova idraulica. Alla valvola in posizione di chiusura viene applicata da un lato la pressione idraulica di 102 bar per 5

minuti mentre l'altro si trova a pressione atmosferica. Poi, una volta aperta la valvola, ne viene misurata la coppia di spunto e di rotazione: è giudicata positiva se la massima coppia sulla leva o volantino non eccede i 500 N/m allo spunto e i 350 N/m nel movimento d'apertura o chiusura effettuato nel comando a leva.

3) HYDROSTATIC SEAT TEST (high pressure):

la prova idrostatica della tenuta dei sedgi ad alta pressione, viene eseguita con il liquido della prova idrostatica.

La valvola è posta nell'impianto di prova con l'otturatore in posizione di chiusura e viene collaudata alla pressione 114 bar per la durata di 5 minuti per verificare non vi siano perdite da ciascun sedgio.

4) LOW PRESSURE SEAT TEST (gas):

il test di tenuta dei sedgi a bassa pressione è effettuato con gas azoto su entrambi i sedgi (side A-B); la valvola posta nell'impianto di prova con l'otturatore in posizione di chiusura è collaudata per 5 minuti alla pressione di 6 bar: per superare il test non deve presentare perdite in nessun dei due lati.

4.2 LE VARIABILI D'INTERESSE

Per svolgere elaborazioni tramite carte di controllo, vengono presi in considerazione i risultati dei vari test nell'ordine precedentemente elencato.

Nella Tabella A.1 (Appendice A), dei dati rilevati dai *test report*, vengono riportate la descrizione della valvola, la data del collaudo e il codice dell'operatore che l'ha effettuato, i risultati relativi al *torque test*, il manometro utilizzato e il tipo di *gear* previsto.

Per tutte le valvole considerate "*hydrostatic body test*" e "*high pressure seat test*" si è verificato un corretto svolgimento della procedura di collaudo e non si sono verificate perdite al raggiungimento della pressione desiderata. Per tali test non vengono dunque riportati i risultati.

Al contrario, le valvole evidenziate sono considerate "*KO*" perché in sede di collaudo hanno presentato perdite al "*low pressure seat test*", e quindi non essendo conformi alla procedura sono state "*scartate*"; quest'ultime verranno revisionate, sistemate e nuovamente ricollaudate.

Nell'ultima colonna, nominata "*result*", viene riportato il risultato finale del collaudo: se la

valvola è risultata positiva a tutti e quattro i test è considerata “OK”, altrimenti “KO”.

Ci si soffermerà per un’analisi più dettagliata sui risultati del *torque test* in quanto le rilevazioni ottenute presentano tre variabili quantitative che offrono molti spunti d’elaborazione.

Nell’analisi dei dati osservati per il *torque test*, le valvole risultate negative al “*low pressure seat test*” vengono comunque considerate in quanto durante la prova in esame non hanno riportato perdite.

4.2.1 Primo approccio ai dati del *TORQUE TEST*

Prima di effettuare un’indagine sulla variabilità del processo si effettua un’analisi esplorativa delle tre variabili rilevate nominate *sideA*, *sideB* e *wout_pres.*

Semplici rappresentazioni delle osservazioni, istogrammi e *boxplot* aiutano a capire come “trattare” le variabili d’interesse e quindi i possibili metodi statistici applicabili.

Dall’*output* riassuntivo delle tre variabili quantitative positive e continue rilevate, subito si nota la somiglianza tra i due *side A* e *B*:

sideA	sideB	wout_pres.
Min. : 28.00	Min. : 24.0	Min. : 5.0
1st Qu.: 38.50	1st Qu.: 38.0	1st Qu.: 8.0
Median : 43.00	Median : 42.0	Median : 8.0
Mean : 66.49	Mean : 65.2	Mean : 17.9
3rd Qu.: 64.00	3rd Qu.: 60.0	3rd Qu.: 11.5
Max. : 480.00	Max. : 460.0	Max. : 210.0

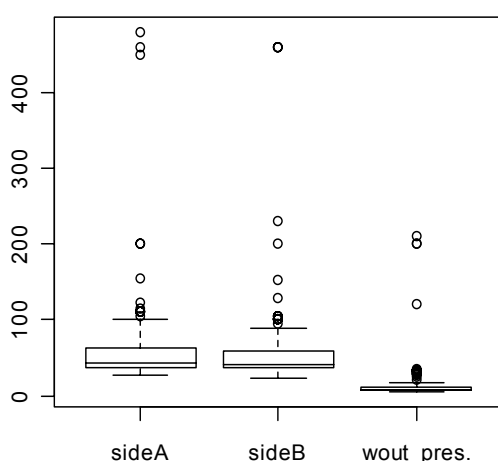


Figura 4.1: Boxplot

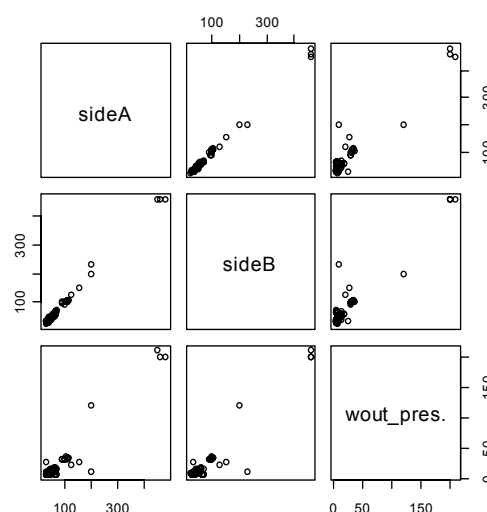


Figura 4.2: Grafico di dispersione

Mettendo a confronto i *boxplot* viene evidenziato un comportamento simile per tutte e tre le variabili: è infatti visibile una bassa variabilità dei dati che si concentrano vicino alla media con la presenza di “dati anomali” che si discostano in modo evidente dal “gruppo”.

In particolare i due *side* presentano scatole a baffi simili con asimmetria positiva.

Dal *grafico di dispersione* e dai *coefficienti di correlazione*:

	sideA	sideB	wout_pres.
sideA	1.0000000	0.9974552	0.9567092
sideB	0.9974552	1.0000000	0.9491534
wout_pres.	0.9567092	0.9491534	1.0000000

si può notare la presenza di una forte relazione lineare positiva soprattutto tra le due variabili *sideA* e *sideB*.

4.2.2 Analisi delle variabili: “sideA” e “sideB”

Le considerazioni che seguono suggeriscono un’analisi simultanea tra “sideA” e “sideB”. Tali dati presentano infatti un’andamento simile e una forte autocorrelazione tra osservazioni.

Inoltre dalla Figura 4.3, è particolarmente visibile, sia per l’una che per l’altra variabile, uno scostamento delle prime osservazioni rispetto alle successive.

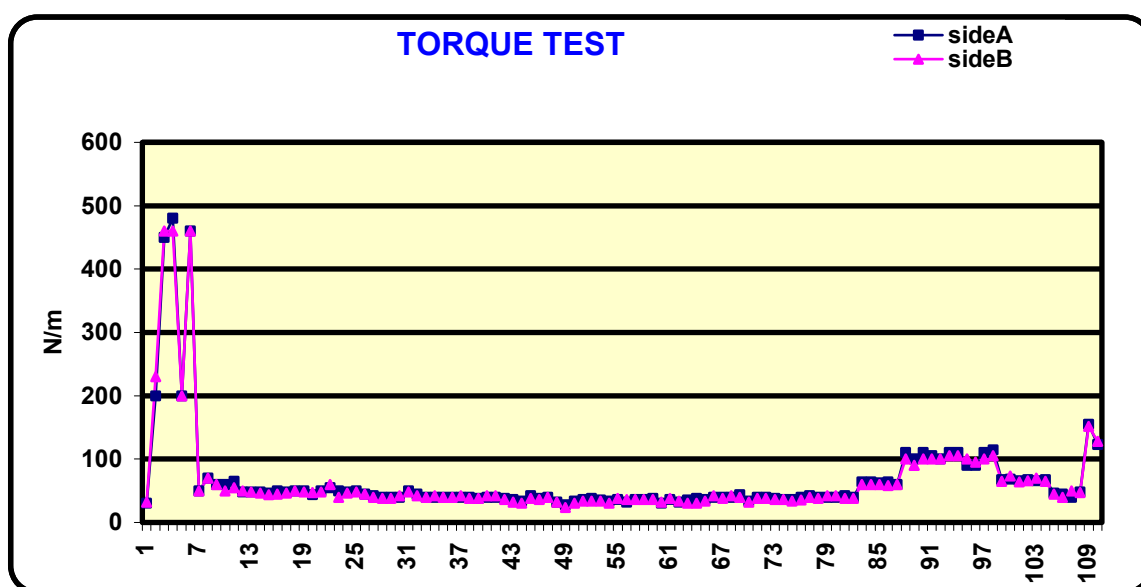


Figura 4.3: Andamento delle osservazioni rilevate per i due side.

Come conferma il p -value ottenuto dal “*Shapiro-Wilk test*” per la verifica della normalità dei dati si rifiuta tale l’ipotesi per entrambe le variabili.

Anche dagli istogrammi e dal *Normality Q-QPlot* si notano dati anomali che si scostano dalle altre osservazioni:

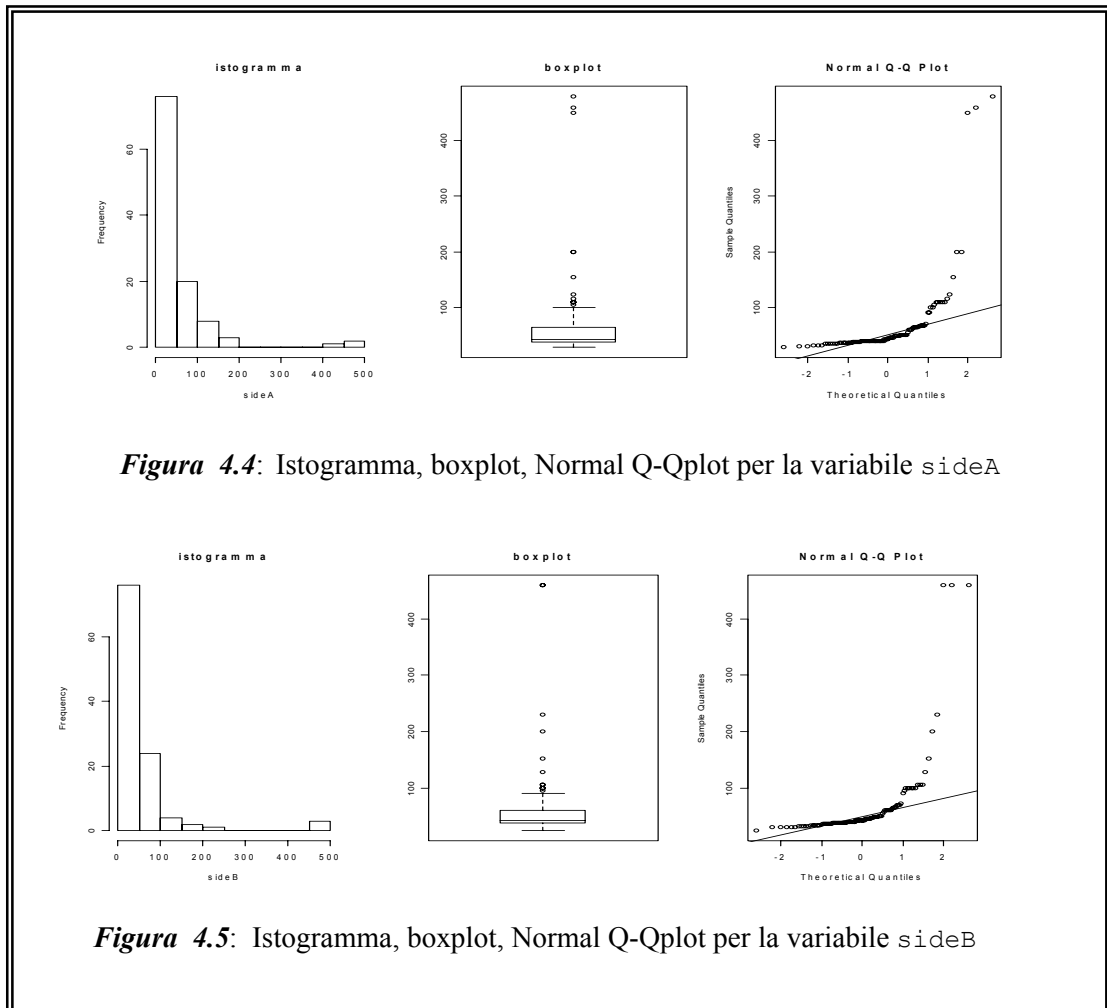


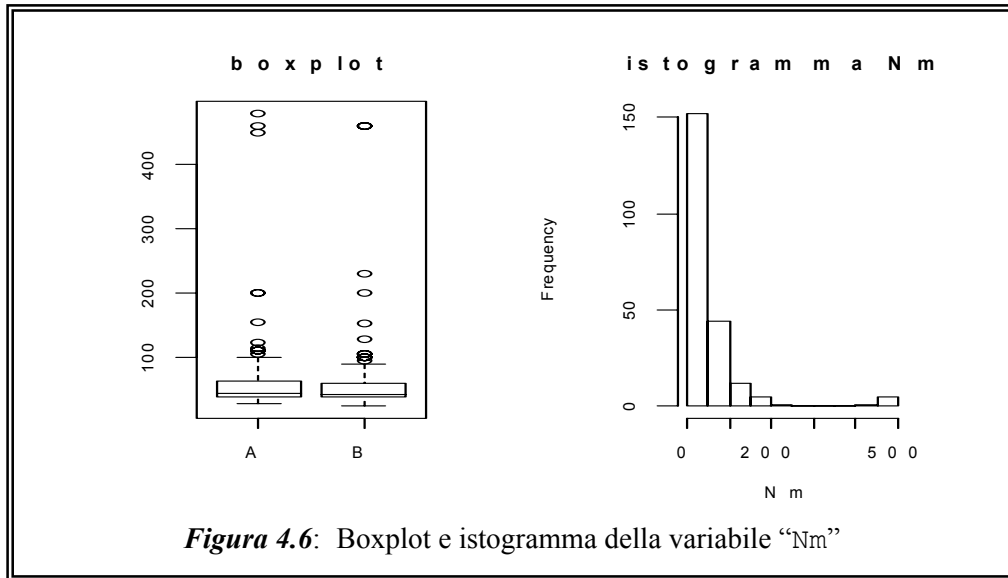
Figura 4.4: Istogramma, boxplot, Normal Q-Qplot per la variabile *sideA*

Figura 4.5: Istogramma, boxplot, Normal Q-Qplot per la variabile *sideB*

Per verificare la significatività della differenza tra i due *side* e quindi poter considerare i dati come provenienti da un unico campione si procede con la creazione di un *dataset* “*torque*” che comprenda:

- una variabile risposta continua positiva “*Nm*” con i tutti i dati rilevati;
- una variabile esplicativa dicotomica “*side*” indicante se il dato appartiene al lato A o B.

Come già visto, i due *boxplot* a confronto evidenziano la somiglianza delle due variabili: entrambe presentano “scatole” piccole, indice di bassa variabilità e medie simili.



Trasformando la variabile risposta “Nm” con funzioni logaritmiche o esponenziali non si verifica comunque l’accettazione dell’ipotesi di normalità.

Mantenendo quindi le variabili originarie, si crea un modello lineare generalizzato (GLM) utilizzando la *famiglia esponenziale Gamma* (legame canonico reciproco) per descrivere la variabile risposta “Nm”:

```
Call:
glm(formula = Nm ~ side, family = Gamma)
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.85938 -0.49771 -0.41220 -0.06133  2.91284
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 0.0150396  0.0016019   9.389  <2e-16 ***
sideB       0.0002551  0.0022847   0.112   0.911
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Gamma family taken to be 1.247894)

Null deviance: 100.81  on 219  degrees of freedom
Residual deviance: 100.79  on 218  degrees of freedom
AIC: 2217.5
Number of Fisher Scoring iterations: 7
```

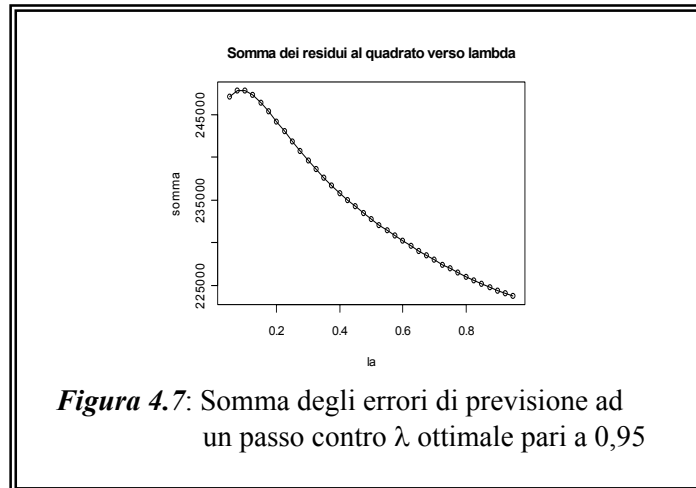
Dal p-value ottenuto (~ 0.9) risulta che la differenza tra “side” non è significativa e quindi si possono considerare i dati come provenienti dallo stesso campione di ampiezza 2 per effettuare il controllo del processo.

L’utilizzo di una carta di controllo *EWMA* per dati autocorrelati (vedere dettagli al paragrafo 3.6.1) sembrerebbe l’approccio più appropriato per procedere alla verifica del

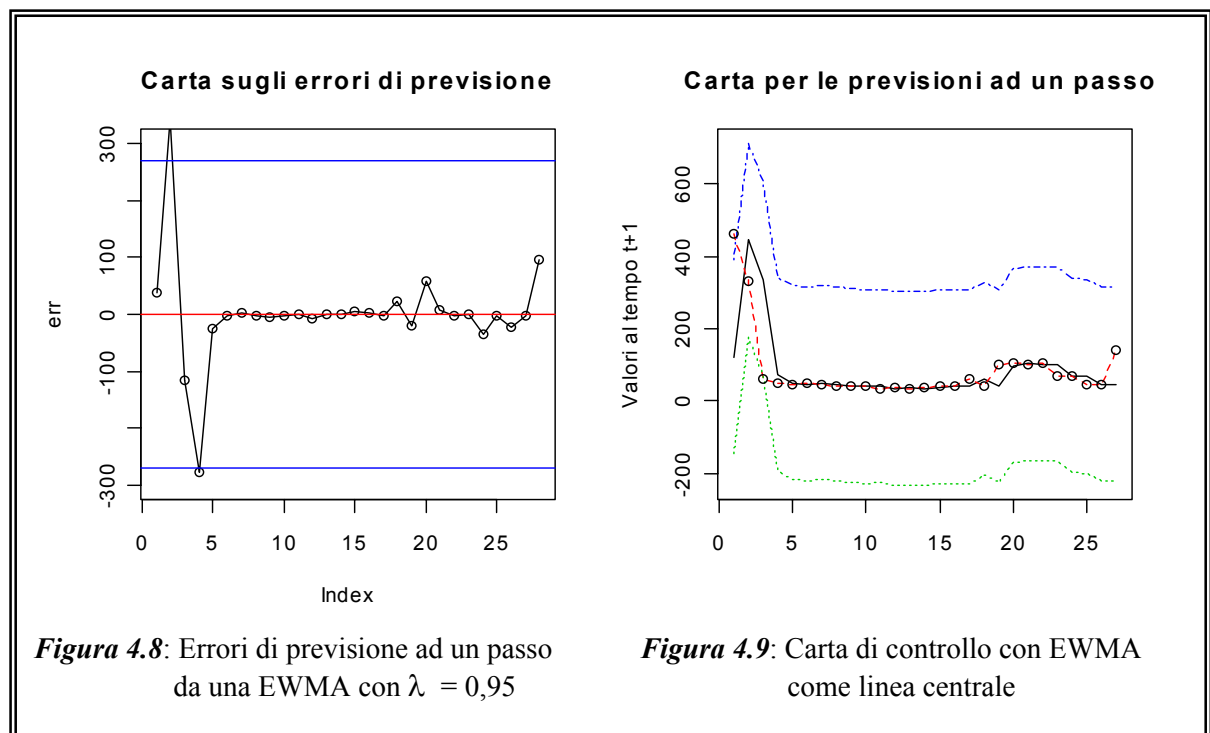
controllo della media del processo di collaudo delle valvole prese in considerazione.

Vengono quindi prese in considerazione le medie giornaliere calcolate dai dati originari (vedere Tabella A.2) ottenendo così 28 campioni d'ampiezza 2 su cui applicare la carta EWMA.

Il valore di λ ottimale, individuabile nella Figura 4.7, risulta pari a 0.95 e coincide con una somma dei residui al quadrato di 223744,0 e la stima di σ_p , indispensabile per il calcolo dei limiti di controllo per gli errori di previsione, è ottenuta di 89,3916.

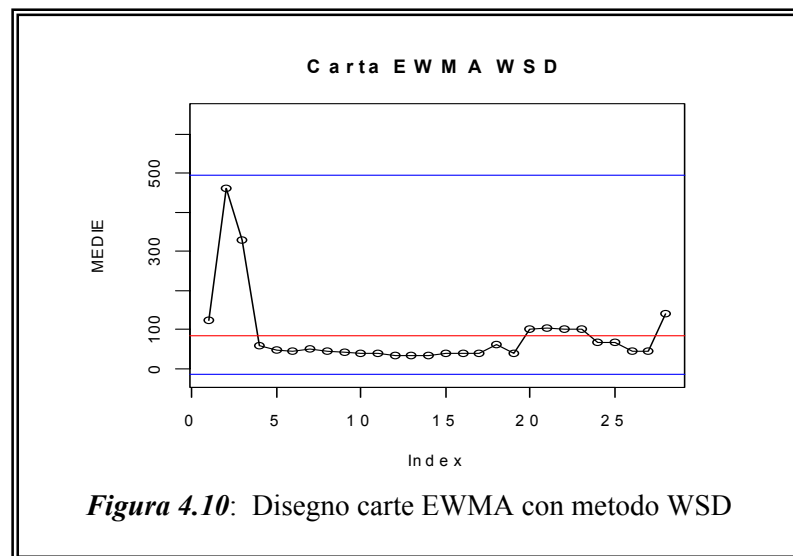


Quindi i limiti di controllo superiore e inferiore disegnati in Figura 4.8 corrispondono ai valori: $[LCL ; UCL] = [- 268.17 ; 268.17]$.



L'analisi delle due carte (Figura 4.8 e 4.9) indica che, anche se si verifica un solo fuori controllo al secondo campione, corrispondente alle rilevazioni effettuate al giorno 1 settembre, i valori centrali del processo si mantengono costanti sulla linea centrale mentre all'inizio e alla fine si verificano dei visibili scostamenti.

Utilizzando il metodo della *deviazione standard pesata* (vedere paragrafo 3.7) si dividono le osservazioni in due parti: i dati $X_i > 85,04$ hanno $\sigma_U^W = 166,54$ mentre quelli inferiori alla media hanno $\sigma_L^W = 40,87$.



Per un ARL in controllo di 100 osservazioni, con $\lambda = 0,65$ si ottiene $L = 2,5$ e i limiti di controllo calcolati per la carta riportata in Figura 4.10 risultano: $[-15.23 ; 493.63]$ e come si può notare le osservazioni rientrano tra le due bande blu indicanti rispettivamente l'LCL e l'UCL, mentre la linea rossa riporta la media calcolata sui dati (ovvero l'LC).

4.2.3 Analisi della variabile "wout_pres."

Il grafico dell'andamento dei dati "wout_pres." si presenta simile a quello per i lati A/B: si notano infatti dei "picchi anomali" tra le prime osservazioni con qualche variazione non particolarmente rilevante verso le ultime e una forte autocorrelazione delle osservazioni.

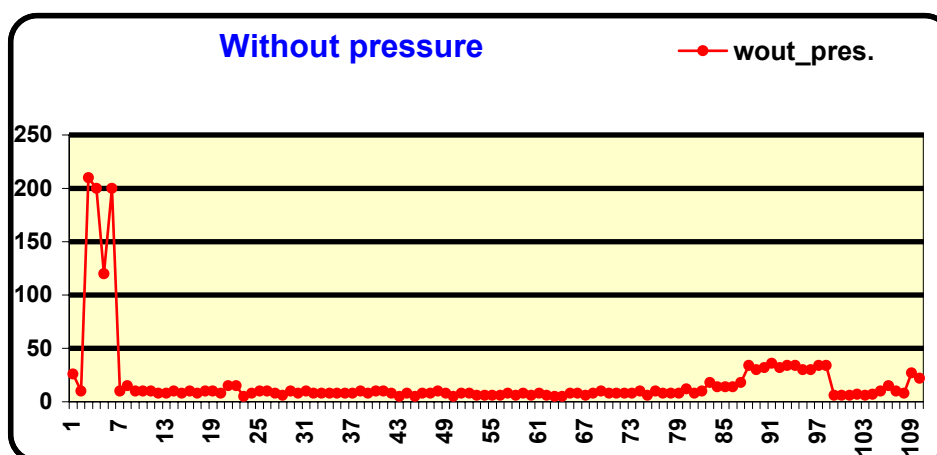


Figura 4.11: Andamento delle osservazioni rilevate per "wout_pres."

Osservando l'istogramma e il *Normality Q-Qplot*, anche visualizzando l'output del "*Shapiro-Wilk test*" si rifiuta l'ipotesi di normalità dati:

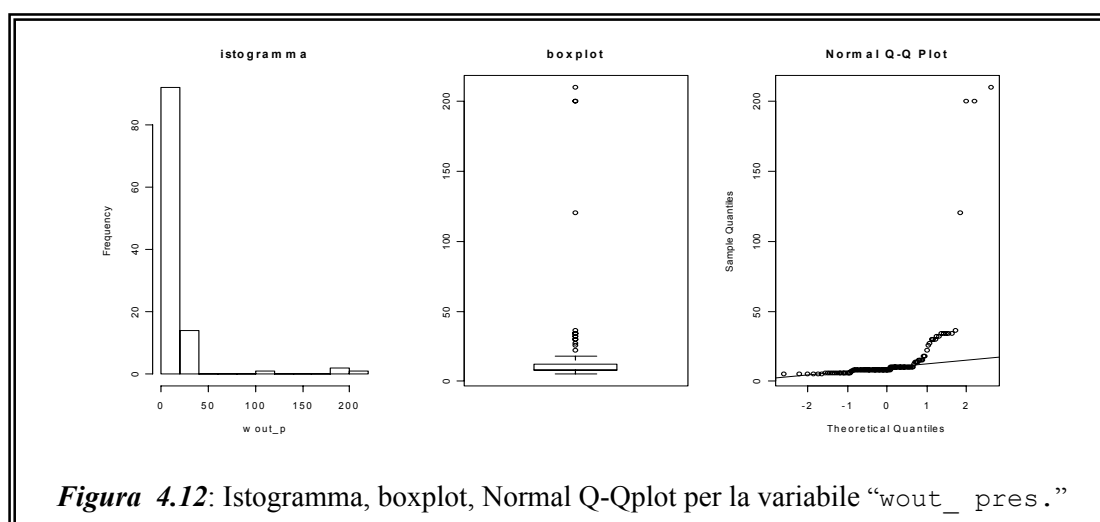
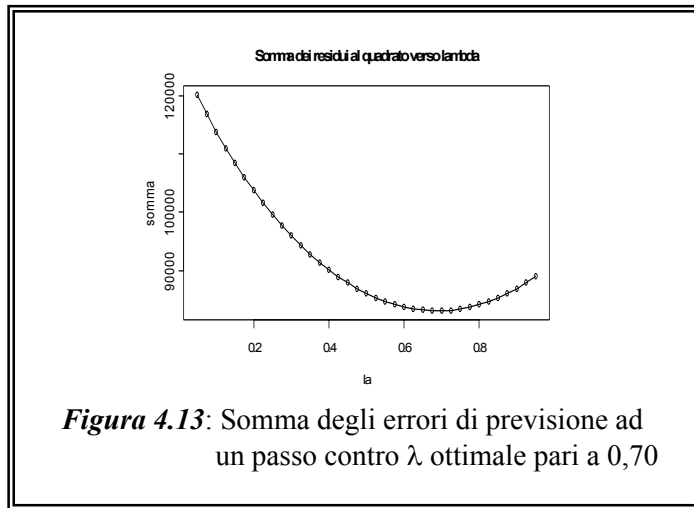


Figura 4.12: Iistogramma, boxplot, Normal Q-Qplot per la variabile "wout_pres."

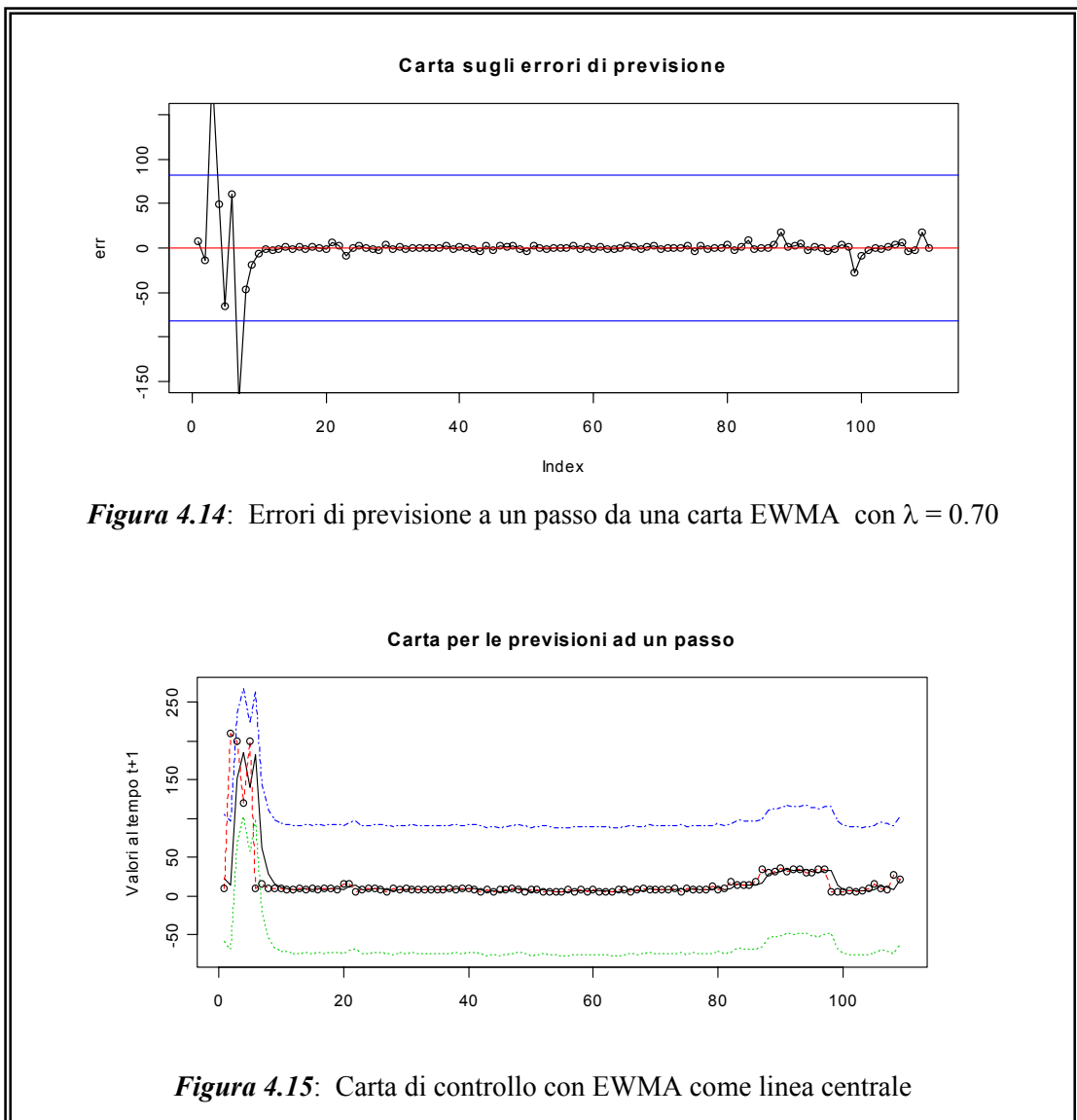
Avendo una forte autocorrelazione e non riuscendo ad ottenere normalità modellando i dati, si applica una carta di controllo *EWMA per misure singole*.

Per il λ ottimale pari a 0.70 si ottiene una stima della somma dei residui al quadrato pari a 83076,09.



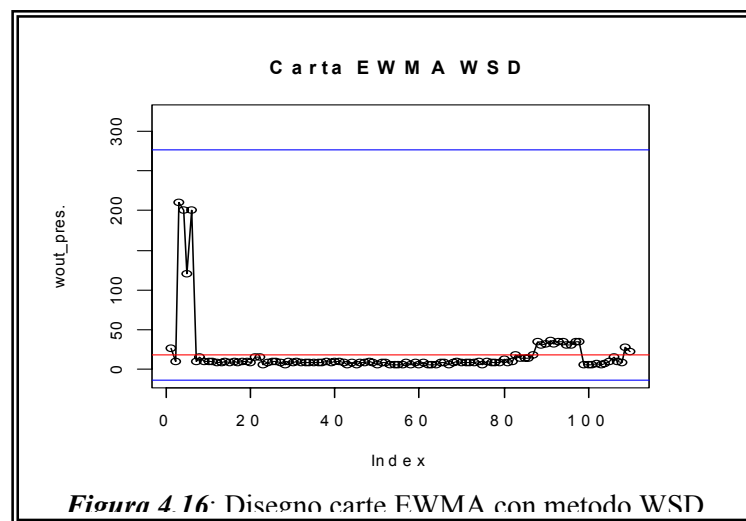
Dalla stima di σ_p (circa 27,48) si possono calcolare i limiti riportati alla Figura 4.14:

$$[LCL ; UCL] = [-82.44 ; 82.44]$$



La Figura 4.15 rappresenta la carta EWMA con linea centrale mobile applicata ai dati “wout_pres.”, con $\lambda = 0.70$; si possono notare delle uscite dai limiti di controllo nelle prime osservazioni, poi però il processo si stabilizza intorno alla linea centrale.

Utilizzando il metodo della *deviazione standard pesata* (vedere paragrafo 3.7) si dividono la osservazioni in due parti: i dati $X_i > 17,9$ hanno $\sigma_U^W = 77,22$ mentre quelli inferiori alla media hanno $\sigma_L^W = 9,68$.

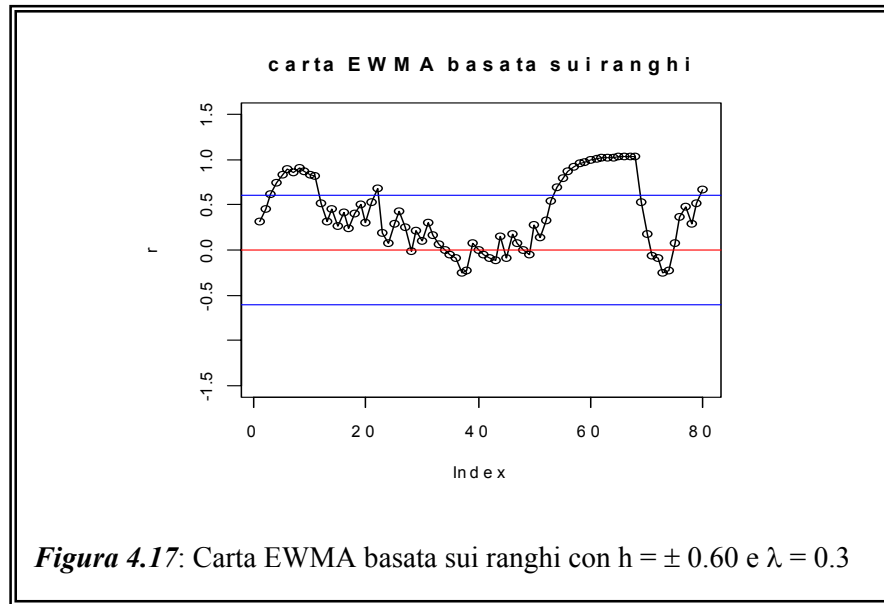


Per un ARL in controllo di 100 osservazioni, con $\lambda = 0.5$ si ottiene $L = 2.8$ e i limiti di controllo calcolati per la carta EWMA con il metodo *WSD*, illustrata in Figura 4.16, risultano $[LCL ; UCL] = [-7.82 ; +222.98]$.

Infine, avendo a disposizione un campione originario di 110 osservazioni per questa variabile “wout_pres.”, è possibile applicare la *carta EWMA basata sui ranghi*.

Scelte come campione storico 30 osservazioni dai dati originari (dalla 35 alla 64) che si mantengono in controllo nell’applicazione delle precedenti carte considerate, si può calcolare la statistica $T_t = (1 - \lambda)T_{t-1} + \lambda R_t$ (si vedano i dettagli al paragrafo 3.7).

Nella Figura 4.17, si riportano i valori di T_t ottenuti per i rimanenti 80 dati scegliendo come parametro di lisciamiento $\lambda = 0,30$ e quindi come parametro per i limiti di controllo inferiore e superiore della carta $h = 0,60$.



Dalla rappresentazione grafica si può notare che il processo non è in controllo in quanto la statistica considerata T_t assume valori maggiori di h .

4.2.4 Analisi dati *LOW PRESSURE SEAT TEST (con gas)*

Il test di tenuta dei sedgi a bassa pressione richiede che la valvola non presenti perdite quindi, a differenza del *torque test*, è possibile rilevare un'unica variabile dicotomica che tenga memoria di quanto si è verificato in sede di collaudo.

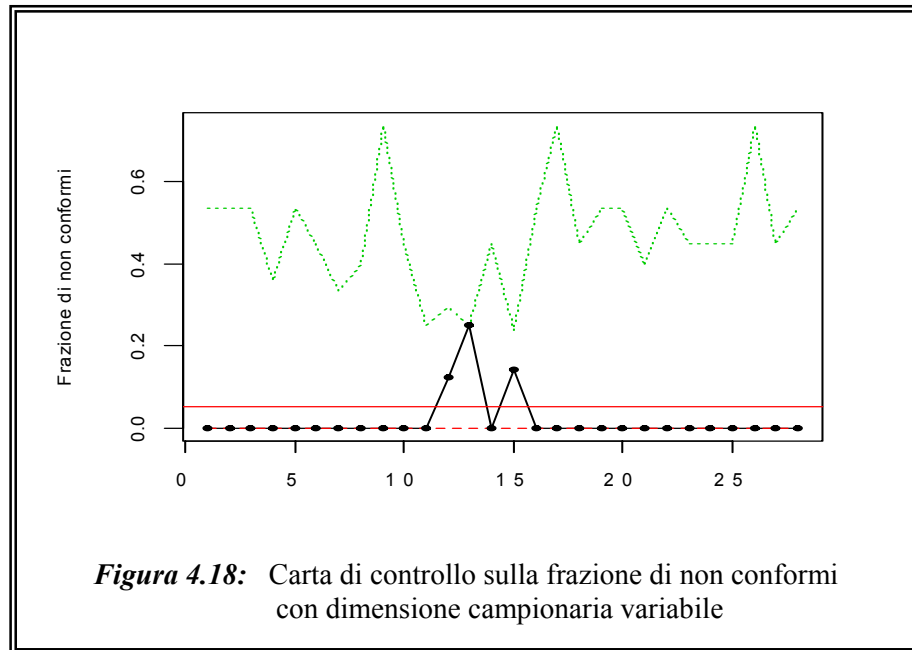
Questa caratteristica che definisce se la valvola è “conforme” o “non conforme”, non potendo essere rappresentata numericamente, può essere esaminata attraverso una carta di controllo p per la frazione di unità non conformi.

In questo caso si raggruppano le valvole collaudate nello stesso giorno in un unico campione rilevando il numero di unità non conformi.

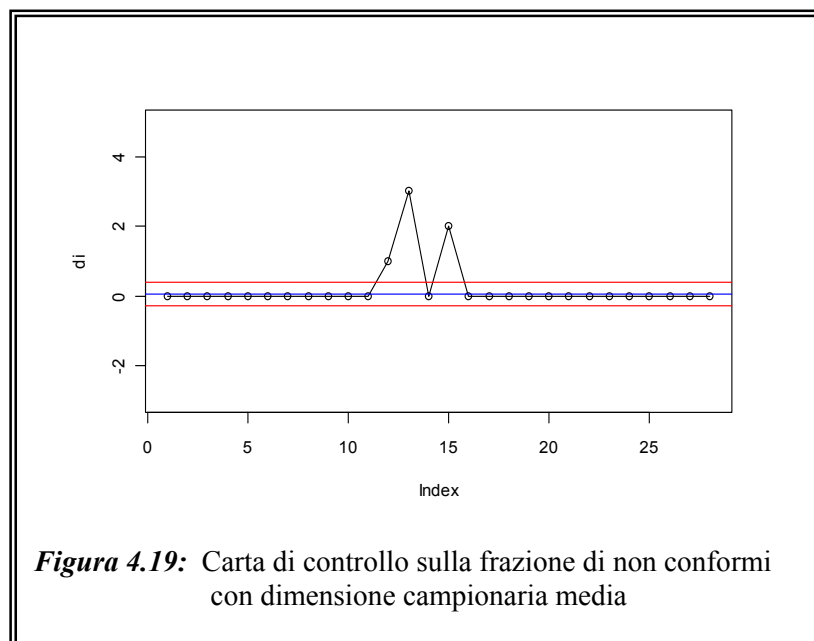
Considerando i 28 campioni d'ampiezza variabile, ottenuti secondo il criterio appena spiegato e visualizzabili nella Tabella A.3 (Appendice A), si calcola:

$$\bar{p} = \frac{6}{110} = 0.0545 \quad (\text{che corrisponde anche alla linea centrale dei limiti}) \quad \text{e} \quad \hat{\sigma}_{\hat{p}} = 0.11457.$$

Come si può vedere dal disegno della carta in Figura 4.18, i relativi limiti di controllo variano per ogni ampiezza campionaria (questo avviene perché la dimensione campionaria è variabile):



A partire dalla dimensione campionaria media $\bar{n} = 3.93$ si possono costruire invece limiti di controllo basati sulla dimensione campionaria media e ottenere i limiti di controllo approssimativi: $[LCL; UCL] = [-0.29; +0.40]$



La carta riporta un fuori controllo ai campioni corrispondenti ai giorni 7,8 e 11 ottobre in cui si è verificata un'alta percentuale di scarti di valvole.

E' inoltre possibile disegnare anche la carta di controllo con valori standardizzati.

La carta risultante avrà linea centrale posizionata sullo 0 e i limiti corrisponderanno a ± 3 .

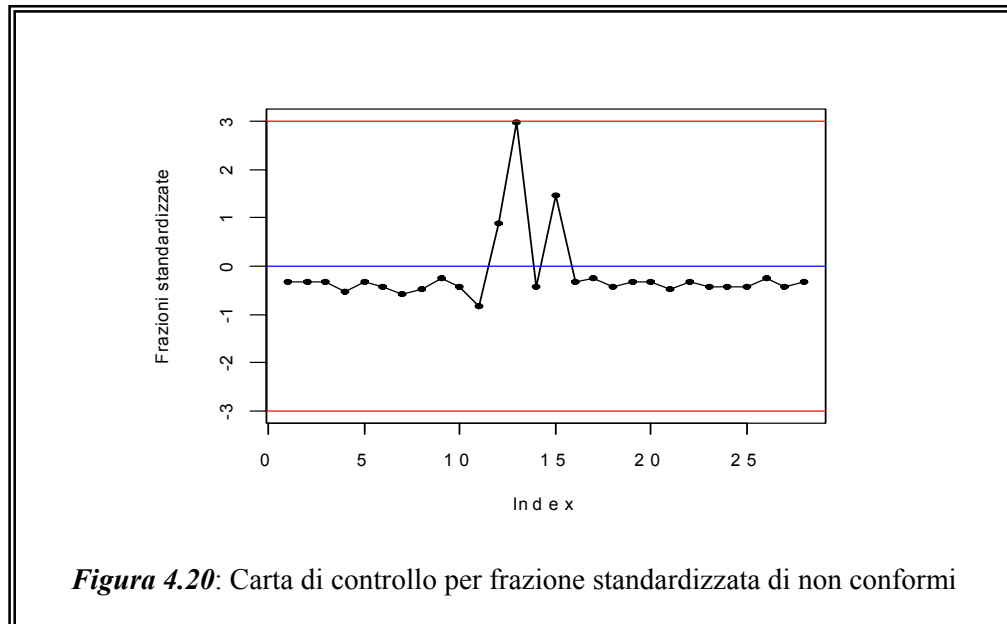


Figura 4.20: Carta di controllo per frazione standardizzata di non conformi

Si può notare che l'osservazione tredicesima si posiziona proprio sul limite superiore; ciò significa che, pur considerando la frazione standardizzata di unità non conformi, l'8 ottobre rimane un giorno con un'alta percentuale di scarti di valvole in sede di collaudo.

CONCLUSIONI

Lo scopo di questa tesi è stato quello di analizzare il controllo del processo di collaudo di valvole a sfera prodotte alla *Tormene Gas Technology S.p.A.*, azienda dove si è svolto lo stage e la raccolta dei dati.

In particolare, per poter effettuare un'analisi attendibile e poter fare considerazioni plausibili è stato necessario scegliere di porre l'attenzione su valvole a sfera simili per dimensioni e caratteristiche e per cui è stata applicata la stessa procedura di collaudo.

Al variare di classe e specifiche di riferimento variano infatti anche i parametri delle procedure e le norme da rispettare.

Quindi dai *test report* si sono ricavate le variabili d'interesse per l'analisi dei risultati dei collaudi finali, processo aziendale conclusivo di fondamentale importanza in quanto il risultato positivo determina l'approvazione e quindi la vendita del prodotto ritenuto conforme alle normative di riferimento.

Tra i campioni di valvole considerate si sono prese in considerazione anche alcune risultate non conformi alla procedura di collaudo perché presentavano perdite durante la prova di tenuta dei seggi a bassa pressione.

Dall'analisi esplorativa - grafica delle tre variabili quantitative rilevate per il *torque test* si è potuto notare la forte relazione di dipendenza, la violazione dell'assunzione di normalità e un'elevata autocorrelazione delle osservazioni.

Inoltre con la creazione di un opportuno modello lineare generalizzato è stata verificata l'ipotesi d'uguaglianza in media del test rilevato sui due seggi; ciò ha permesso di continuare l'analisi considerando i dati provenienti dal *torque test* come campioni di ampiezza pari a due.

Applicando a tali dati la carta di controllo EWMA, considerata la più appropriata per dati autocorrelati perché, seguendo il cambiamento nel processo, ne coglie le piccole fluttuazioni, si è potuto riscontrare che le rilevazioni effettuate nei giorni 1 e 2 settembre, per ogni variabile, si presentano di gran lunga maggiori rispetto le altre osservazioni determinando dei fuori controllo dai limiti. L'unica possibile ma non provata giustificazione, è pensare a un'errata trascrizione manuale degli operatori.

Vengono comunque mantenute nelle varie analisi senza poterle eliminare in quanto rientrano nei limiti di specifica definiti dalla procedura standard di collaudo applicata (la massima coppia sulla leva è 500 N/m allo spunto e 350 N/m nel movimento d'apertura o chiusura effettuato sulla leva).

E' stato possibile applicare la carta di controllo EWMA basata sui ranghi solo per la variabile "wout_pres." mentre per il campione delle medie della variabile "side" si disponeva di un numero ridotto d'unità.

Pur considerando quest'ultima carta citata e il metodo della deviazione standard pesata, ritenuti in letteratura strumenti adeguati ed efficienti per modellare dati autocorrelati e non-normali, non si sono potuti ottenere dei risultati migliori della carta EWMA tradizionale, in termini di controllo del processo. Ciò non significa che tali metodi non possano trovare una corretta e valida applicazione qualora ci si trovi ad operare con delle osservazioni prodotte e raccolte in modo sequenziale secondo un prestabilito metodo di campionamento evitando così picchi anomali citati precedentemente che destano sospetti di anomalie o di errate trascrizioni.

Per analizzare, invece, i risultati relativi al *low pressure seat test* (effettuato con gas), riassumendo le valvole collaudate nello stesso giorno in un unico campione e considerando il numero di unità giornaliere risultate non conformi è possibile applicare *una carta di controllo p* per la frazione di unità non conformi.

L'utilizzo di tali carte risulta appropriato e i risultati ottenuti dall'analisi di questo test, pur ottenendo buone prestazioni durante le altre prove, dimostrano che il 5.45% di valvole collaudate (in particolare nei giorni 7,8 e 11 ottobre) sono state scartate per perdite dai seggi.

Le valvole non andate a buon fine sono un'ulteriore spesa di manodopera e di eventuali ricambi di pezzi per l'azienda, risulta quindi fondamentale per il miglioramento della qualità in termini d'efficienza e di risparmio economico cercare di capire i motivi che hanno determinato tali perdite; solitamente le cause sono dovute dal materiale di tenuta scelto per i seggi che può talvolta può risultare scadente o inadatto alle prestazioni richieste oppure il relativo montaggio può verificarsi scorretto.

L'intervento immediato con azioni correttive opportune quali l'utilizzo di un materiale di qualità superiore e/o eventuali attenzioni a un montaggio corretto portano a una visibile rientranza nei limiti di controllo e quindi risultati positivi in sede di collaudo.

APPENDICE A

I dati osservati

Tabella A. 1:

I 110 dati osservati, riportati in ordine cronologico, provengono da collaudi di valvole di classe di pressione *ANSI 600*, di dimensione variabile tra $1'' \leq DN \leq 10''$.

n° oss.	DN	TIPO	data collaudo	cod. operat	TORQUE TEST N/m					RESULT
					A	B	wout pres.	wrench	gear-type	
1	1"	FL	31-ago	33	30	32	26	796-794	LEVER	OK
2	2"	TM	31-ago	33	200	230	10	796-794	LEVER	OK
3	3"	TM	01-set	11	450	460	210	793	LEVER	OK
4	3"	TM	01-set	3	480	460	200	793	LEVER	OK
5	1"	TM	02-set	3	200	200	120	794	LEVER	OK
6	3"	TM	02-set	3	460	460	200	793	LEVER	OK
7	6"	TE	10-set	4	50	50	10	795	MG 100	OK
8	6"	TE	10-set	4	70	70	15	795	MG 100	OK
9	6"	TE	10-set	4	60	60	10	795	MG 100	OK
10	6"	TE	10-set	22	60	50	10	795	MG 100	OK
11	6"	TE	10-set	4	65	55	10	795	MG 100	OK
12	6"	TE	11-set	4	48	50	8	794	MG 100	OK
13	6"	TE	11-set	37	48	48	8	794	MG 100	OK
14	6"	TE	13-set	37	48	46	10	794	MG 100	OK
15	6"	TE	13-set	37	46	44	8	794	MG 100	OK
16	6"	TE	13-set	8	50	45	10	794	MG 100	OK
17	6"	TE	14-set	37	48	46	8	794	MG 100	OK
18	6"	TE	14-set	37	50	50	10	794	MG 100	OK
19	6"	TE	14-set	37	50	48	10	794	MG 100	OK
20	6"	TE	14-set	37	44	47	8	794	MG 100	OK
21	6"	TE	14-set	39	50	48	15	794	MG 100	OK
22	6"	TE	14-set	4	55	60	15	796	MG 100	OK
23	6"	TE	15-set	36	50	40	5	794	MG 100	OK
24	6"	TE	15-set	33	48	46	8	794	MG 100	OK
25	6"	TE	15-set	33	50	48	10	794	MG 100	OK
26	6"	TE	15-set	33	45	45	10	794	MG 100	OK
27	6"X4"	TE	28-set	37	42	40	8	794	MG 50	OK
28	6"X4"	TE	29-set	36	40	38	6	794	MG 50	OK
29	6"X4"	TE	29-set	37	40	38	10	794	MG 50	OK
30	6"X4"	TE	29-set	37	40	42	8	794	MG 50	OK
31	6"X4"	TE	30-set	33	50	48	10	794	MG 50	OK
32	6"X4"	TE	30-set	33	45	42	8	794	MG 50	OK
33	6"X4"	TE	30-set	33	40	40	8	794	MG 50	OK
34	6"X4"	TE	30-set	33	40	42	8	794	MG 50	OK
35	6"X4"	TE	30-set	33	40	40	8	794	MG 50	OK
36	6"X4"	TE	30-set	37	40	40	8	794	MG 50	OK
37	6"X4"	TE	30-set	33	40	42	8	794	MG 50	OK
38	6"X4"	TE	30-set	33	40	38	10	794	MG 50	OK
39	6"X4"	TE	30-set	37	38	38	8	794	MG 50	OK
40	6"X4"	TE	30-set	37	40	42	10	794	MG 50	OK

41	6"X4"	TE	30-set	37	40	42	10	794	MG 50	OK
42	6"X4"	TE	30-set	37	38	36	8	794	MG 50	OK
43	6"X4"	TE	07-ott	36	36	32	5	794	MG 50	OK
44	6"X4"	TE	07-ott	36	34	30	8	794	MG 50	OK
45	6"X4"	TE	07-ott	36	42	38	5	794	MG 50	OK
46	6"X4"	TE	07-ott	37	38	36	8	794	MG 50	OK
47	6"X4"	TE	07-ott	37	40	40	8	794	MG 50	OK
48	6"X4"	TE	07-ott	36	32	32	10	794	MG 50	OK
49	6"X4"	TE	07-ott	36	28	24	8	794	MG 50	OK
50	6"X4"	TE	07-ott	36	34	30	5	794	MG 50	KO
51	6"X4"	TE	08-ott	33	36	34	8	794	MG 50	KO
52	6"X4"	TE	08-ott	33	38	34	8	794	MG 50	KO
53	6"X4"	TE	08-ott	33	35	34	6	794	MG 50	OK
54	6"X4"	TE	08-ott	33	34	30	6	794	MG 50	OK
55	6"X4"	TE	08-ott	33	36	38	6	794	MG 50	OK
56	6"X4"	TE	08-ott	37	32	36	6	794	MG 50	OK
57	6"X4"	TE	08-ott	37	36	36	8	794	MG 50	OK
58	6"X4"	TE	08-ott	37	36	36	6	794	MG 50	KO
59	6"X4"	TE	08-ott	33	38	36	8	794	MG 50	OK
60	6"X4"	TE	08-ott	37	30	32	6	794	MG 50	OK
61	6"X4"	TE	08-ott	37	36	38	8	794	MG 50	OK
62	6"X4"	TE	08-ott	37	32	34	6	794	MG 50	OK
63	6"X4"	TE	09-ott	4	35	30	5	794	MG 50	OK
64	6"X4"	TE	09-ott	4	38	30	5	794	MG 50	OK
65	6"X4"	TE	09-ott	37	36	34	8	794	MG 50	OK
66	6"X4"	TE	11-ott	22	40	42	8	798	MG 50	OK
67	6"X4"	TE	11-ott	37	40	38	6	798	MG 50	OK
68	6"X4"	TE	11-ott	22	40	42	8	798	MG 50	KO
69	6"X4"	TE	11-ott	3	44	40	10	798	MG 50	OK
70	6"X4"	TE	11-ott	3	34	32	8	798	MG 50	OK
71	6"X4"	TE	11-ott	3	40	38	8	798	MG 50	OK
72	6"X4"	TE	11-ott	3	40	38	8	798	MG 50	OK
73	6"X4"	TE	11-ott	37	38	36	8	798	MG 50	OK
74	6"X4"	TE	11-ott	37	36	36	10	798	MG 50	OK
75	6"X4"	TE	11-ott	37	36	34	6	798	MG 50	OK
76	6"X4"	TE	11-ott	22	40	35	10	798	MG 50	OK
77	6"X4"	TE	11-ott	22	42	40	8	798	MG 50	OK
78	6"X4"	TE	11-ott	22	40	38	8	798	MG 50	OK
79	6"X4"	TE	11-ott	22	40	42	8	798	MG 50	KO
80	6"X4"	TE	12-ott	22	40	42	12	798	MG 50	OK
81	6"X4"	TE	12-ott	22	42	38	8	798	MG 50	OK
82	6"X4"	TE	13-ott	22	40	38	10	798	MG 50	OK
83	10"	TM	04-nov	22	64	60	18	796-794	MG 100	OK
84	10"	TM	04-nov	22	64	60	14	794-793	MG 100	OK
85	10"	TM	04-nov	22	62	60	14	793-794	MG 50	OK
86	10"	TM	05-nov	22	64	58	14	796-794	MG 100	OK
87	10"	TM	05-nov	22	60	60	18	796-794	MG 100	OK
88	8"	TE	28-gen	22	110	100	34	794-796	MG 100	OK
89	8"	TE	28-gen	22	100	90	30	794-796	MG 100	OK
90	8"	TE	31-gen	22	110	100	32	794-796	MG 100	OK

91	8"	TE	31-gen	37	105	100	36	794-796	MG 100	OK
92	8"	TE	31-gen	22	100	100	32	794-796	MG 100	OK
93	8"	TE	31-gen	22	110	105	34	794-796	MG 100	OK
94	8"	TE	01-feb	22	110	105	34	796-794	MG 100	OK
95	8"	TE	01-feb	22	90	100	30	796-794	MG 100	OK
96	8"	TE	02-feb	37	90	95	30	796-794	MG 100	OK
97	8"	TE	02-feb	37	110	100	34	796-794	MG 100	OK
98	8"	TE	02-feb	37	115	105	34	796-794	MG 100	OK
99	6"	TM	23-feb	37	67	65	6	798	MG 100	OK
100	6"	TE	23-feb	37	68	73	6	798	MG 100	OK
101	6"	TE	23-feb	37	66	64	6	798	MG 100	OK
102	6"	TE	24-feb	37	67	66	7	798	MG 100	OK
103	8"	TM	24-feb	37	66	70	6	798	MG 100	OK
104	8"	TM	24-feb	37	67	65	7	798	MG 100	OK
105	10"	TE	24-mar	22	46	45	10	794	MG 250	OK
106	10"	TE	25-mar	39	45	40	15	794	MG 250	OK
107	10"	TE	25-mar	39	40	50	10	794	MG 250	OK
108	10"	TE	25-mar	22	48	47	8	794	MG 250	OK
109	10"	TE	31-mar	44	155	152	27	796-794	MG 250	OK
110	10"	TE	31-mar	44	123	128	22	796-794	MG 250	OK

KO valvole scartate perché risultate negative al low pressure seat test (hanno riportato perdite)

Tabella A. 2:

Dati osservati raggruppati considerando la media giornaliera per "side"

N° campione	data	sideA	sideB	N° campione	data	sideA	sideB
1	31-ago	115	131	15	11-ott	39,29	37,93
2	01-set	465	460	16	12-ott	41	40
3	02-set	330	330	17	13-ott	40	38
4	10-set	61	57	18	04-nov	63,33	60
5	11-set	48	49	19	05-nov	40,86	39,07
6	13-set	48	45	20	28-gen	105	95
7	14-set	49,5	49,8	21	31-gen	106,25	101,25
8	15-set	48,25	44,75	22	01-feb	100	102,5
9	28-set	42	40	23	02-feb	105	100
10	29-set	40	39,3	24	23-feb	67	67,33
11	30-set	40,92	40,8	25	24-feb	66,67	67
12	07-ott	35,5	32,75	26	24-mar	46	45
13	08-ott	34,92	34,8	27	25-mar	44,33	45,67
14	09-ott	36,33	31,33	28	31-mar	139	140

Tabella A. 3 :

Dati per una carta di controllo p sulla frazione di non conformi.
(28 campioni di dimensione variabile)

Numero del campione i	Data collaudo	dimensione campionaria n_i	Numero unità non conformi D_i	frazione campionaria non conformi $\hat{p} = D_i / n_i$
1	31-ago	2	0	0
2	01-set	2	0	0
3	02-set	2	0	0
4	10-set	5	0	0
5	11-set	2	0	0
6	13-set	3	0	0
7	14-set	6	0	0
8	15-set	4	0	0
9	28-set	1	0	0
10	29-set	3	0	0
11	30-set	12	0	0
12	07-ott	8	1	0.125
13	08-ott	12	3	0.250
14	09-ott	3	0	0
15	11-ott	14	2	0.143
16	12-ott	2	0	0
17	13-ott	1	0	0
18	04-nov	3	0	0
19	05-nov	2	0	0
20	28-gen	2	0	0
21	31-gen	4	0	0
22	01-feb	2	0	0
23	02-feb	3	0	0
24	23-feb	3	0	0
25	24-feb	3	0	0
26	24-mar	1	0	0
27	25-mar	3	0	0
28	31-mar	2	0	0
		$\sum_{i=1}^{28} n_i = 110$	$\sum_{i=1}^{28} D_i = 6$	$\bar{p} = 0.0545$

Il 5,45 % di valvole collaudate sono state rifiutate per perdite dai seggi riscontrate durante il “*low pressure seat test*”.

APPENDICE B

Analisi dei dati *Torque test* con R

Le analisi dei dati, i grafici, l'elaborazione dei vari modelli statistici sono state realizzate utilizzando il pacchetto statistico RGui (Copyright 2004, Versione 1.9.1).

Si riportano qui di seguito i comandi essenziali perché si possano comprendere i vari risultati ottenuti e riportati ai paragrafi 4.2.2 e 4.2.3.

Analisi delle tre variabili rilevate per il TORQUE TEST

```
> dati
      sideA  sideB  wout_pres.
1         30    32         26
2        200   230         10
...
110      123   128         22

> summary(dati)
      sideA          sideB          wout_pres.
Min.   : 28.00   Min.   : 24.0   Min.   : 5.0
1st Qu.: 38.50   1st Qu.: 38.0   1st Qu.: 8.0
Median : 43.00   Median : 42.0   Median : 8.0
Mean   : 66.49   Mean   : 65.2   Mean   : 17.9
3rd Qu.: 64.00   3rd Qu.: 60.0   3rd Qu.: 11.5
Max.   :480.00   Max.   :460.0   Max.   :210.0

> boxplot(dati)
> plot(dati)
> cor(dati)      # coefficienti di correlazione
      sideA      sideB      wout_pres.
sideA  1.0000000  0.9974552  0.9567092
sideB  0.9974552  1.0000000  0.9491534
wout_pres. 0.9567092  0.9491534  1.0000000
```

Analisi variabili "sideA" e "sideB"

```
# test "Shapiro-Wilk" per la verifica della normalità
> shapiro.test(sideA)
Shapiro-Wilk normality test
data:  sideA
W = 0.4279, p-value < 2.2e-16
```

```

> shapiro.test(sideB)
Shapiro-Wilk normality test
data:  sideB
W = 0.4295, p-value < 2.2e-16

# Istogrammi e boxplot e Normal Q-Qplot
> hist(sideA, main= "Istogramma side A")
> boxplot(sideA, main= "Boxplot side A")
> qqnorm(sideA)
> hist(sideB, main= "Istogramma side B")
> boxplot(sideB, main= "Boxplot side B")
> qqnorm(sideB)

# creazione del dataset "torque" per verificare l'uguaglianza sideA e sideB
> torque
      Nm side
1     30   A
2    200   A
...    ...  ...
219  152   B
220  128   B

> attach(torque)
> boxplot(Nm ~ side, main= "boxplot")
> plot(Nm)
> points(Nm[side=="A"], col=2)
> hist(Nm, main = "istogramma Nm")

> summary(torque)
      Nm      side
Min.   : 24.00   A:110
1st Qu.: 38.00   B:110
Median : 42.00
Mean   : 65.94
3rd Qu.: 62.50
Max.   :480.00

# test normalità per la variabile risposta "Nm"
> shapiro.test(Nm)
Shapiro-Wilk normality test

```

```

data: Nm
W = 0.4283, p-value < 2.2e-16
# trasformazioni variabile risposta
> shapiro.test(log(Nm))          # trasformazione logaritmica
      Shapiro-Wilk normality test
data:  log(Nm)
W = 0.7711, p-value < 2.2e-16

> shapiro.test((Nm)^2)          # trasformazione esponenziale
      Shapiro-Wilk normality test
data:  (Nm)^2
W = 0.2363, p-value < 2.2e-16

# Modello lineare generalizzato (famiglia Gamma) per verificare
# la significatività della variabile "side"
> y<-glm(Nm ~side, family=Gamma)
> summary(y)
> plot(y)

# vettore medie giornaliere: 28 campioni d'ampiezza 2
> rilevazioni<- c(115,131,465,460,330,330,61,57, ... ,45.67,139,140)
> matrix(rilevazioni,ncol=2,byrow=T)
      [,1] [,2]
[1,] 115.00 131.00
...
[28,] 139.00 140.00
> wcamp(rilevazioni,2)
      medie      stdi      ri
[1,] 123.000 11.31370850 16.00
[2,] 462.500  3.53553391  5.00
[3,] 330.000  0.00000000  0.00 ...

> vaR(rilevazioni,2)
dbar = 85.0434      # LC = media delle medie
rmedio = 2.8382
stimaR = 2.5161
vaR = 4.2598
sigmaR = 2.1463

> MEDIE<-(wcamp(rilevazioni,2)[,1])
> MEDIE
 [1] 123.000 462.500 330.000 59.000 48.500 46.500 49.650 46.500 41.000
[10] 39.650 40.860 34.125 34.860 33.830 38.610 40.500 39.000 61.665
[19] 39.965 100.000 103.750 101.250 102.500 67.165 66.835 45.500 45.000
[28] 139.500

```

```

# applicazione carta EWMA

# stima  $\lambda$  ottimale
> grafl(MEDIE,85.04)
lambda ottimale= 0.95
somma dei residui al quadrato= 223744.0
sigma2p= 7990.859
sigmap= 89.3916

# limiti di controllo per gli errori di previsione

> LC<- 0
> UCL<- +3* 89.39
> LCL<- -3* 89.39
> UCL
[1] 268.17
> LCL
[1] -268.17

> err<- ewmae(MEDIE,0.95,85.04)[,1]
> plot(err,type="l",ylim=c(-300,300),
      main="Carta sugli errori di previsione")
> abline(a=UCL,b=0, col="blue" )
> abline(a=LCL,b=0, col="blue" )
> points(err)
> abline(a=0,b=0, col="red")

> grafEWMAc(MEDIE,0.95,3,89.39,85.04,"Carta per le previsioni ad
  un passo ")

# metodo Weighted Standard Deviation (WSD)

> media<- mean(MEDIE)
> media
[1] 85.0434

> L<-MEDIE[MEDIE<= 85.04]
> nL<-length(L) # nL = 20
> U<-MEDIE[MEDIE> 85.04]
> nU<-length(U) # nU = 8
> SL<- 2*sum((L-media)^2) /((2*nL)-1) # SL = 1670.825
> sigmaL<-sqrt(SL)
> sigmaL # calcolo di  $\sigma_L^W$ 
[1] 40.87573

> SU<- 2*sum((U-media)^2) / ((2*nU)-1) # SU = 27736.6
> sigmaU<-sqrt(SU)
> sigmaU # calcolo di  $\sigma_U^W$ 
[1] 166.5431

```

```

# calcolo limiti di controllo per carta EWMA WSD
> L<- 2.5
> la<- 0.65
> UCL<- media + L* (sigmaU*2/sqrt(2)) * sqrt(la/(2-la))
> UCL
[1] 493.618
> LCL<- media - L* (sigmaL*2/sqrt(2)) * sqrt(la/(2-la))
> LCL
[1] -15.23568

> plot(MEDIE,type="l",ylim=c(-20,650),main="Carta EWMA WSD")
> abline(a=UCL,b=0, col="blue")
> abline(a=LCL,b=0, col=" blue")
> points(MEDIE)
> abline(a=media,b=0, col="red")

```

Analisi "wout_pres."

```

# vettore con i 110 dati relativi alla variabile without pression
> wout_pres.<-c(26,10,210,200,120, ... ,6,7,6,7,10,15,10,8,27,22)
> par(mfrow=c(1,3))

# Istogrammi e boxplot e Normal Q-Qplot
> hist(wout_pres., main= "Istogramma")
> boxplot(wout_pres., main= "Boxplot")
> qqnorm(wout_pres., main= "Istogramma")
> qqline(wout_pres.)

# test Shapiro-Wilk per verifica normalità dati:
> shapiro.test(wout_pres.)

      Shapiro-Wilk normality test
data:  wout_pres.
W = 0.3375, p-value < 2.2e-16

> m<-mean(wout_pres.)      # Media dei dati
> m
[1] 17.9

> vaMR2(wout_pres.)
MRmedio = 7.7064
stimaMR = 6.8319          # stimaMR = MRmedio/d2
vaMR = 7.7064
sigmaMR = 5.8276

```

```

# carta EWMA per misure singole

# stima  $\lambda$  ottimale
> grafl(wout_pres.,17.9)
lambda ottimale = 0.7
somma dei residui al quadrato = 83076.09
sigma2p = 755.2372
sigmap = 27.48158

# limiti di controllo per gli errori di previsione
> LC<- 0
> UCL<- +3* 27.48
> LCL<- -3* 27.48
> UCL
[1] 82.44
> LCL
[1] -82.44

> err<- ewmae(wout_pres.,0.7,17.9)[,1]
> plot(err,type="l",ylim=c(-150,150),
      main=" Carta sugli errori di previsione ")
> abline(a=UCL,b=0, col="blue")
> abline(a=LCL,b=0, col="blue")
> points(err)
> abline(a=0,b=0, col="red")

> grafEWMAC(wout_pres.,0.7,3,27.48,17.9,
            " Carta per le previsioni ad un passo ")

# metodo WEIGHTED STANDARD DEVIATION

> L<-wout_pres.[wout_pres.<= 17.9]
> U<-wout_pres.[wout_pres.> 17.9]
> nL<- length(L)
> nL
[1] 90
> nU<- length(U)
> nU
[1] 20

> SL<- 2*sum((L-m)^2) / ((2*nL)-1) # SL = 93.7933
> sigmaL<-sqrt(SL)
> sigmaL
[1] 9.684694

> SU<- 2*sum((U-m)^2) / ((2*nU)-1) # SU = 5962.738
> sigmaU<-sqrt(SU)
> sigmaU
[1] 77.21877

> L<- 2.8
> la<- 0.5 # ARL = 250

```



```

# calcolo dei limiti carta di controllo WSD
> UCL<- m + L* (sigmaU*2/sqrt(1)) * sqrt(la/(2-la))
> UCL
[1] 222.9785
> LCL<- m - L* (sigmaL*2/sqrt(1)) * sqrt(la/(2-la))
> LCL
[1] -7.820719

# disegno della carta EWMA WSD

> plot(wout_pres.,type="l",ylim=c(-10,320),main="Carta EWMA WSD")
> abline(a=UCL,b=0, col="blue")
> abline(a=LCL,b=0, col=" blue")
> points(wout_pres.)
> abline(a=m,b=0, col="red")

# carta EWMA basata sui ranghi

# scelgo il campione storico (g=30) tra le osservazioni
# comprese tra la 35 e la 64

> camp
[1] 8 8 8 10 8 10 10 8 5 8 5 8 8 10 8 5 8 8 6 6 6 6 8 6
[25] 8 6 8 6 5 5

# wout_pres senza il campione storico

> dati
[1] 26 10 210 200 120 200 10 15 10 10 10 8 8 10 8 10 8 10 10
[20] 8 15 15 5 8 10 10 8 6 10 8 10 8 8 8 8 8 8 6 8
[39] 10 8 8 8 8 10 6 10 8 8 8 12 8 8 10 18 14 14 14 18
[58] 34 30 32 36 32 34 34 30 30 34 34 6 6 6 7 6 7 10 15
[77] 10 8 27 22

# n° campioni g = 30

> g<-length(camp)

> ranghi(dati,camp)
      Rstar      Rt
[1,]    31  1.0333333
[2,]    27  0.7666667
[3,]    31  1.0333333
...     ...     ...
[78,]   13 -0.1666667
[79,]   31  1.0333333
[80,]   31  1.0333333

# parametro di lisciamento

> la<- 0.3

```

```

# parametro per limite di controllo

> h<- 0.60

> Tt <-ewma_ranghi(dati,camp, 0.3)

> Tt

[1] 0.3100000000 0.4470000000 0.6229000000 0.7460300000 0.8322210000
...
[76] 0.3588258607 0.4811781025 0.2868246718 0.5107772702 0.6675440892

# disegno della carta EWMA basata sui ranghi:

> plot(Tt,type="l",ylim=c(-1.5,1.5),
      main="Carta EWMA basata sui ranghi")
> abline(a=h,b=0, col="blue")
> abline(a=-h,b=0, col=" blue")
> points(Tt)

```

APPENDICE C

Analisi dei dati LOW PRESSURE SEAT TEST con R

Perché si possano comprendere i risultati e i disegni per la *carta di controllo p* per frazioni non conformi ottenuti al Cap. 4.2.4. si riportano i vari comandi R utilizzati:

```
# creazione del vettore con i dati  $n_i$  e  $D_i$ 
> lowpst
[1] 2 0 2 0 2 0 ... 3 0 2 0

# organizzazione in matrice con 1° colonna  $n_i$  e 2° colonna  $D_i$ 
> low<-matrix(lowpst,ncol=2,byrow = T)
> low
      [,1] [,2]
[1,]    2    0
[2,]    2    0
...
[28,]    2    0

# dimensione campionaria totale
> N<- sum(low[,1])[1]
> N
[1] 110

# numero totale di unità difettose (non conformi)
> D<- sum(low[,2])[1]
> D
[1] 6

# calcolo di  $\bar{p}$ 
> pmedio<- D/N
> pmedio
[1] 0.05454545

#  $\bar{n}$  è la dimensione campionaria media
> nmedio<-N/28
> nmedio
[1] 3.928571

# calcolo di  $\hat{\sigma}_{\hat{p}}$ 
> sigmap<-sqrt(pmedio*(1-pmedio)/nmedio)
```

```

> sigmap
[1] 0.114573

# LIMITI di CONTROLLO ad ampiezza variabile
> lpvar(lowpst,3)
  pmedio = 0.055
  pi~sigmapi~lcli~ucli
      [,1] [,2] [,3] [,4]
[1,] 0.000 0.161  0  0.536
[2,] 0.000 0.161  0  0.536
...
[26,] 0.000 0.227  0  0.736
[27,] 0.000 0.131  0  0.448
[28,] 0.000 0.161  0  0.536

# disegno della carta corrispondente ai limiti appena calcolati
> cartapv(lowpst,3,"carta P con dimensione campionaria variabile")
  pmedio = 0.055
  pi~sigmapi~lcli~ucli

# LIMITI approssimativi per una carta di controllo sulla
# frazione di non conformi con dimensione campionaria media
> LC <-pmedio
[1] 0.05454545

> LCL <-pmedio-3*sigmap
> LCL
[1] -0.2891735

> UCL <-pmedio+3*sigmap
> UCL
[1] 0.3982645

# disegno della carta:
> plot(low[,2],type="l", col="black", ylim=c(-3,5))
> points(low[,2])
> abline(h=LCL,col="red")
> abline(h=UCL,col="red")
> abline(h=LC,col="blue")

```

```

# frazioni di difettosità p standardizzate
> pstand(lowpst,3)
muw = 0.05454545
pmedio = 0.055
pi~sigmapi~lcli~ucli
 [1] -0.3387916 -0.3387916 -0.3387916 -0.5347594 -0.3387916 -0.4163775
 [7] -0.5865103 -0.4784689 -0.2402883 -0.4163775 -0.8264463 0.8806818
[13] 2.9614325 -0.4163775 1.4500745 -0.3387916 -0.2402883 -0.4163775
[19] -0.3387916 -0.3387916 -0.4784689 -0.3387916 -0.4163775 -0.4163775
[25] -0.4163775 -0.2402883 -0.4163775 -0.3387916

```

```

# carta di controllo con valori standardizzati

```

```

> cartaz(lowpst,3,"carta p con fraz.stand")
muw = 0.05454545
pmedio = 0.055
pi~sigmapi~lcli~ucli
muw = 0.05454545
LCL = -3
LC = 0
UCL = 3
sigmaz = 1

```


APPENDICE D

Funzioni R utilizzate

Perché si possano comprendere i vari *output* e poter disegnare le carte di controllo ottenute da particolari funzioni, si riportano le istruzioni R utilizzate e le relative spiegazioni necessarie alla comprensione di quanto effettuato.

Funzioni R

Per stimare il valor atteso e la varianza della v.c R(m campioni di ampiezza n):

```
"vaR"<-function(dati,n){
w<-wcamp(dati,n)
m<-apply(w,2,FUN=mean)      # calcola double bar x, smedio, rmedio
dbar<-rmedio<-m[1]
cat("dbar = ", round(dbar,digits=4), "\n")
rmedio<-m[3] #calcola R medio
cat("rmedio = ", round(rmedio,digits=4), "\n")
d2<-c(1.128,1.693,2.059,2.326,2.534,2.70,2.847,2.970,3.078)
d3<-c(0.853,0.888,0.880,0.864,0.848,0.833,0.820,0.808,0.80)
stimaR<-rmedio/d2[n-1]     # stima di sigma basata su R
cat("stimaR = ", round(stimaR,digits=4), "\n")
vaR<-d2[n]*stimaR         # stima del valore atteso di R
cat("vaR = ", round(vaR,digits=4), "\n")
sigmaR<-d3[n-1]*stimaR    # stima della deviazione standard di R
cat("sigmaR = ", round(sigmaR, digits=4), "\n")
risR<-round(c(rmedio,vaR,sigmaR,stimaR),digits=4)
}
```

Per stimare il valor atteso e la varianza della v.c. MR_2 (m campioni di ampiezza 1):

```
"vaMR2"<-function(dati)
{
wi <- wsing(dati)
Mrmedio <- mean(wi)      # calcola MR medio
cat("MRmedio = ", round(MRmedio,digits=4), "\n")
d2<-c(1.128,1.693,2.059,2.326,2.534,2.70,2.847,2.970,3.078)
d3<-c(0.853,0.888,0.880,0.864,0.848,0.833,0.820,0.808,0.80)
stimaMR <- Mrmedio/d2[1] # stima di sigma basata su MR(2)
cat("stimaMR = ", round(stimaMR, digits=4), "\n")
vaMR <- d2[1]*stimaMR    # stima del valore atteso di MR(2)
cat("vaMR = ",round(vaMR, digits=4), "\n")
sigmaMR <-stimaMR*d3[1]  #stima della deviazione standard di MR(2)
cat("sigmaMR = ", round(sigmaMR,digits=4), "\n")
risMR <-round(c(MRmedio,vaMR,sigmaMR,stimaMR),digits=3)
}
```

Per il calcolo delle statistiche di controllo w
(medie campionarie, *range* campionari, scarti tipo):

```
"wcamp"<- function(dati,n)          # leggi osservazioni con n>1
{
  datic<-matrix(dati,ncol=n,byrow=TRUE) # trasforma dati in matrice
  medie<-apply(datic,1,FUN=mean)        # m medie campionarie
  stdi<-sqrt(apply(datic,1,FUN=var))    # m deviazioni standard s
  rangei<-apply(datic,1,FUN=range)
  ri<-t(rangei)[,2]-t(rangei)[,1]      # m range campionari
  w <- cbind(medie, stdi, ri)
  w }
```

Funzioni R utilizzate per la carta EWMA

Ritorna la somma degli errori di previsione residui al quadrato per un dato λ e media:

```
"ewmae"<-function(dati,la,w0){
  k<-length(dati)
  x<-c(rep(0,k))
  e<-c(rep(0,k))
  for (t in 1:length(dati)){
    if (t==1){
      x[1]<-w0+la*(dati[1]-w0)
      e[1]<-(dati[1]-w0)}
    else {
      x[t]=x[t-1]+la*(dati[t]-x[t-1]);
      e[t]<-(dati[t]-x[t-1])}
    t<-t+1
  }
  ris<-cbind(e,e^2)
  ris}
```

Per il calcolo di λ ottimale:

```
"grafi"<-function(dati,w0){          # w0= media calcolata sui dati
  la<-seq(0.05,0.95,by=0.025)
  x<-1:length(la)
  somma<-numeric(length(la))
  y<-matrix(0,ncol=length(la),nrow = length(dati))
  for (i in x){
    y[,i]<-ewmae(dati,la[i],w0)[,2]
    somma[i]<-sum(y[,i])}
  i<-i+1
  plot(la,somma,type="l",main="Somma dei residui al quadrato verso
  lambda")
  points(la,somma)
  ris<-cbind(la,somma)
  j<-min(ris[,2])
  lott<-ris[ris[,2]==j,1]
  cat("lambda ottimale = ", lott, "\n")
  cat("somma dei residui al quadrato = ", j, "\n")
  cat("sigma2p= ", j/length(dati), "\n")
  cat("sigmap= ", sqrt(j/length(dati)), "\n")}
```


Per disegnare il grafico della carta EWMA con $lott = \lambda$ ottimale:

```
"grafEWMA" <- function(dati, lott, L, sigmap, w0, tit) {
w <- ewma(dati, lott, w0)
limc <- lim(dati, lott, L, sigmap, w0)
k <- length(dati) - 1
matplot(cbind(w[1:k], dati[2:length(dati)]), limc[1:k, ], type="l",
lty=1:4,
ylab="Valori al tempo t+1", main = tit)
points(dati[2:length(dati)]) }
```

Per calcolo di R_t^* e R_t , per la CARTA EWMA basata sui ranghi:

```
"ranghi" <- function(x, y) {
g <- length(y)
k <- length(x)
Rstar <- c(rep(0, k))
Rt <- c(rep(0, k)) {
for (t in 1:k) {
Rstar[t] <- 1 + sum(x[t] > y)
Rt[t] <- 2/g * ((Rstar[t]) - ((g+1)/2))
t <- t+1
cbind(Rstar, Rt)
}} }
```

Calcola la statistica EWMA T_t basata sui ranghi:

```
"ewma_ranghi" <- function(x, y, la) {
k <- length(x)
Tt <- c(rep(0, k))
Rt <- ranghi(x, y)[, 2]
for (t in 1:k) {
if (t==1)
Tt[t] <- la*Rt[t]
else
Tt[t] = (1-la) * Tt[t-1] + (la*Rt[t])
t <- t+1
}
Tt
}
```

Funzioni R utilizzate per la carta di controllo p per frazioni non conformi

Per calcolare i *LIMITI di CONTROLLO* ad ampiezza variabile:

```
"lpvar" <- function(dati, L) {
pi <- wcamp2(dati)
dati2 <- matrix(dati, ncol=2, byrow=TRUE) # I colonna ampiezza camp.
muw <- sum(dati2[, 2]) / sum(dati2[, 1]) # II colonna numero difetti
ni <- dati2[, 1]
sigmapi <- c(rep(0, length(ni)))
lcl <- c(rep(0, length(ni))) }
```

```

ucl<-c(rep(0,length(ni)))
for (j in 1:length(ni)){
sigmapi[j]<-sqrt((muw*(1-muw))/ni[j])
lcl[j]<-muw-(L*sqrt((muw*(1-muw))/ni[j]))
if (lcl[j]<0) lcl[j]<-0
ucl[j]<-muw+(L*sqrt((muw*(1-muw))/ni[j]))}
j<-j+1
cat("pmedio = ", round(muw,digits=3), "\n")
cat("pi~sigmapi~lcli~ucli", "\n")
cbind(round(pi,digits=3),round(sigmapi,digits=3),round(lcl,digits=
3),round(ucl,digits=3))}

```

Per disegnare la Carta p con dimensione campionaria variabile:

```

"cartapv"<-function(dati,L,tit)
{
dati2<-matrix(dati,ncol=2,byrow=TRUE) #I colonna amp. camp., II
colonna numero difetti
pmedio<-sum(dati2[,2])/sum(dati2[,1])
x<-lpvar(dati,L)
matplot(x[,c(1,3,4)],main=tit,ylab="Frazione di non conformi",
type="l")
points(x[,1],pch=20)
abline(a=pmedio,b=0,col="red")}

```

Per calcolare le frazioni standardizzate di difettosità p:

```

"pstand"<-function(dati,L){
dati2<-matrix(dati,ncol=2,byrow=TRUE) # I colonna amp. camp.,
# II colonna numero difetti
muw<-sum(dati2[,2])/sum(dati2[,1]) # calcolo di pmedio
cat("muw = ", muw, "\n")
x<-lpvar(dati,L)
pi<-x[,1]
dspix<-x[,2]
righe<-dim(x)[1]
zi<-c(rep(0,righe))
for (t in 0:righe){
zi[t]<-(pi[t]- muw)/dspix[t]}
t<-t+1
zi}

```

Disegno Carta p con frazioni pi standardizzate:

```

"cartaz"<-function(dati,L,tit){
dati2<-matrix(dati,ncol=2,byrow=TRUE) # I colonna amp. camp.,
muw<-sum(dati2[,2])/sum(dati2[,1]) # II colonna numero difetti
zi<-pstand(dati,3)
LCL<- -3
LC<- 0

```

```
UCL<- 3
cat("muw = ", muw, "\n")
cat("LCL = ", LCL, "\n")
cat("LC = ", 0, "\n")
cat("UCL = ", UCL, "\n")
cat("sigmaz = ", 1, "\n")
maxzi<-max(zi)
minzi<-min(zi)
ylim1<-min(c(minzi,LCL))
ylim2<-max(c(maxzi,UCL))
plot(zi,ylim=c(ylim1,ylim2),main=tit,ylab="Frazioni
standardizzate", type="l")
points(zi,pch=20)
abline(a=LCL,b=0,col="red")
abline(a=LC,b=0,col="blue")
abline(a=UCL,b=0,col="red") }
```


BIBLIOGRAFIA

- BONOLLO G., *Applicazioni statistiche con excel*, Franco Angeli, Milano, 2001, Cap. 5 - Produzione e logistica pag. 211 – 220.
- BRAZZALE A., *Raccolta di statistiche test disponibili nell'ambiente R*, versione del 03/04/03, reperibile al sito: <http://www.isib.cnr.it/~brazzale/DEI/Mod-1/test-in-R.pdf>
- Catalogo *Tormene Gas Technology S.p.A.* 2004/2005.
- HACKL P., LEDOLTER J., “*A control chart based on ranks*”, 1991, *Journal of quality technology*, vol. 23, pag. 117 – 124.
- HITOSHI KUME, *Metodi statistici per il miglioramento della qualità*, Isedi 1993, Petrini editore, Torino.
- IACUS S. M. e MASAROTTO G., *Il linguaggio in R*, Mc Graw-Hill, Milano, 2003
- *Manuale aziendale del Sistema di gestione per la Qualità*, rev. 1 del 10 novembre 2003 conforme a UNI EN ISO 9001:2000 e API Specification Q1 – Seventh Edition, 2003
- MONTGOMERY D. C., *Controllo statistico della qualità*, Mc Graw-Hill, Milano, 2000

- *Pipeline Valves*, API Specification 6D, Twenty-second Edition January 2002
- VENABLES W. N., SMITH D. M. and the R Development Core Team,
An Introduction to R, versione 2.0.1 del 18/04/05, reperibile al sito:
<http://cran.r-project.org/doc/manuals/R-intro.pdf> [consultato il 13/05/2005]
- WILEY J. & Sons, *A weighted variance capability index for general non-normal processes*, Quality and Reliability Engineering International, 1999, n° 15: pag. 397-402.
- WILEY J. & Sons, *Control charts for positively-skewed populations with weighted standard deviations*, Quality and Reliability Engineering International, 2001, n° 17: pag. 397- 406.

Software utilizzati:

- RGui 1.9.1 (Copyright 2004)
- Microsoft Excel 2000
- Global/sgm versione Scout per Windows95-98 NT, Versione 4.0.61

Ringraziamenti ...

Mi sembra doveroso spendere qualche riga per ringraziare tutte le persone che in qualche modo mi sono state vicine e sono state importanti per portare a termine questi miei studi universitari triennali.

Anch'io, come credo tutti gli studenti, avevo il sogno di laurearmi...se sono riuscita a raggiungere questa meta lo devo ai miei genitori, a cui va il "primo grazie", che con il loro sostegno morale ed economico mi hanno sempre incoraggiata a realizzare quanto più desideravo e con i loro appoggio costante mi hanno aiutata a superare gli ostacoli che si man mano si presentavano.

Nel mio cammino ho anche incontrato molte persone, tra le quali parenti, compagni di corso ed amici, che in vari modi hanno saputo spronarmi e ricaricarmi per affrontare i momenti più difficili.

Un speciale grazie va anche a quanti mi sono stati vicini in questi ultimi mesi, a quanti mi hanno fornito dati, spunti, consigli e materiale vario per la stesura di questa tesi.

In particolare l'Ing. Paolo Ceccarello che mi ha introdotta nella realtà aziendale della Tormene, all'ufficio CQ in cui ho trascorso le mie giornate di stage, a tutti coloro che in azienda con un sorriso, una parola, un gesto di simpatia mi hanno fatto sentire "una del gruppo".

L'ultimo grazie, ma solo per ordine cronologico, va alla prof.essa Giovanna Capizzi che con i suoi indispensabili consigli ha saputo darmi sostegno e supporto nella stesura della tesi dedicandomi pazienza e parte del suo tempo.

Se oggi mi sento realizzata e posso essere felice lo devo anche a tutti voi!

*Grazie, grazie ancora ...
Elisabetta*