

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI SCIENZE STATISTICHE
CORSO DI LAUREA IN STATISTICA E TECNOLOGIE INFORMATICHE



TESI DI LAUREA

CARTE DI CONTROLLO CON INTERVALLI DI
CAMPIONAMENTO VARIABILE: IL CASO MINIGEAR

Relatrice: Ch.ma Prof.ssa GIOVANNA CAPIZZI

Lureando: CANDEO ENRICO
Matr. nr. 490628

ANNO ACCADEMICO 2005-2006

Indice

CAPITOLO I°	5
1.1. L'azienda	5
1.2. Lo Stage	5
1.3. La Tesi	6
1.4. Rilevazione dei Dati.....	7
CAPITOLO II°	9
2. Il Codice 427.....	9
2.1. Analisi Esplorativa dei Dati.....	9
2.2. Cenni sulle Carte di Controllo	15
2.2.1. La Carta Shewhart	15
2.2.2. Carte Ewma per gli errori di previsione a un passo	16
2.3. Le Carte di Controllo	19
2.4. Indici di Capacità.....	21
2.5. Capacità 427	22
CAPITOLO III°	25
3. Carte di Controllo Basate Sui Ranghi	25
3.1. Ranghi Standardizzati	25
3.2. Exponentially Weighted Moving Averages	26
3.3. Il codice 1896	28
3.4. Carte EWMA per Ranghi Standardizzati.....	30
3.4. La Raccolta dei Dati	28
3.5. Carta Ewma per le osservazioni.....	31
3.6. Osservazioni	32
CAPITOLO IV°	33
4. VSI-FT	33
4.1. Le Carte Shewhart VSI-FT per le Medie	34
4.2. Carte EWMA VSI-FT.....	35
4.3. Il codice 1737	37
4.4. Raccolta dei Dati.....	37
4.5. Analisi Esplorativa dei Dati	38
4.6. Carte di Controllo	40
4.7. Osservazioni	41
CAPITOLO V°	43
5. Conclusioni	43

CAPITOLO I°

Introduzione

1.1. L'azienda

La mG miniGears S.p.A. di Padova si trova nella zona industriale di Camin. Sin dall'inizio ha orientato la propria idea aziendale verso la produzione di ingranaggi conici e cilindrici in acciaio, di piccole e medie dimensioni.

Nel corso degli anni ha introdotto all'interno del processo produttivo un reparto specializzato nella produzione di ingranaggi sinterizzati che la porta ad essere attualmente, un'azienda leader a livello mondiale. La ricerca di nuovi mercati ha portato mG a insediare la propria produzione sia in America, con uno stabilimento in Virginia Beach, sia in Cina più precisamente a Suzhou.

I settori in cui mG opera sono molteplici e in questi ultimi anni sta rafforzando la posizione nel campo dell'automotive.

Tutte le attività produttive sono certificate ISO 9001:2000 e nell'autunno del 2003 l'azienda ha conseguito anche la certificazione ISO/TS 16949:2002 e ISO 14001:1996.

1.2. Lo stage

L'esperienza di stage che ho svolto presso la miniGears della durata di 4 mesi, mi ha permesso di prendere visione di una grande realtà aziendale, di cominciare a conoscere alcuni strumenti di misura indispensabili per il controllo di processo oltre che a rafforzare le mie conoscenze su alcuni software statistici come R e Minitab.

Lo stage può essere riassunto in 4 fasi distinte. Una prima parte è stata rivolta all'ambientamento in azienda con conseguente sistemazione in reparto Collaudo Dimensionale Area 1. Qui ho potuto prendere confidenza con gli strumenti di misura, quali i micrometri per interni ed esterni e i comparatori centesimali, per poi poter successivamente raccogliere i dati nel modo più preciso possibile.

La seconda fase si è svolta all'interno del reparto rettifiche. La scelta è stata quella di raccogliere per ogni macchina campioni di 50 o 100 pezzi consecutivi per analizzare

al meglio i vari processi. Le misurazioni sono state ripetute una seconda volta per confrontare i valori degli indici di capacità e performance e vedere se, a distanza di tempo i processi mantenevano la stessa capacità.

La parte finale dello stage è stata utile per applicare sul “campo” sia gli schemi di controllo con intervallo di campionamento variabili, sia quelli basati sui Ranghi.

L'utilizzo di queste carte per studiare il processo è il risultato delle prime analisi esplorative che evidenziavano una tendenza dei dati a seguire una distribuzione non normale.

1.3. Tesi

L'elaborato presenta l'analisi di un singolo codice per ogni fase. Durante la prima fase ho deciso di studiare il particolare 427 effettuando le rilevazioni su due macchine differenti. Ho scelto questo particolare, in quanto da precedenti controlli erano evidenti dei problemi di stabilità di processo.

La seconda fase, riguardante le carte di controllo basate sui Ranghi (Ledolter J. , 1991), viene presentata con l'applicazione di queste alle misurazioni di una corona dentata con codice 1869. I dati che verranno riportati in seguito evidenziano bene l'esistenza di fuori controllo.

Per finire, nell'ultima parte, è stato sviluppato un metodo di controllo a intervalli di campionamento variabili (VSI-FT) (Reynolds, 1995) su una seconda corona dentata di codice 1737. L'obiettivo di questa applicazione è quella di arrivare a ricavare una differente frequenza di controllo, rispetto ai classici 3 pezzi l'ora.

1.4. Rilevazione Dei Dati

Le misurazioni dei pezzi sono state effettuate all'uscita dalla lavorazione della macchina. La lavorazione avviene tramite una mola, che rettifica il diametro. Durante il periodo di rettifica il pezzo viene raffreddato con un getto d'acqua mischiata ad olio e poi trasportato fuori dalla macchina o con un braccio meccanico o con l'utilizzo di nastri trasportatori. Per non falsare le misurazioni, i pezzi, vengono asciugati con delle pistole ad aria compressa. Una volta misurati vengono riposti in apposite cassette o rastrelliere in seguito oliate per evitare la formazione di ossido. Per la raccolta dei dati sono stati utilizzati appositi strumenti di misura come i micrometri per interni e per esterni tarati con appositi blocchetti o anelli.

CAPITOLO II°

Analisi del Codice 427

2. Il codice 427

Il codice studiato è un particolare pignone conico sinterizzato che viene prodotto, in grande serie, da due macchine del reparto rettifiche. L'analisi è stata effettuata su due campioni di 150 pezzi raccolti consecutivamente. Questa scelta è stata fatta in base alla reale frequenza di controllo del processo che è del 100%, grazie a un tampone passa/non passa. Un controllo così programmato quindi dovrebbe descrivere nel modo migliore il processo proprio come si presenta in fase di lavorazione all'operatore.

L'obiettivo di questa analisi è quello di ottenere una stima degli indici di capacità del processo che ci permetterà di fare un confronto tra le due macchine.

La lavorazione di questi particolari avviene in macchine sprovviste di misuratori. Con il continuo consumo della mola, l'incidenza di questa sul pezzo è minore e quindi porta alla produzione di pezzi con diametro sempre più stretto fino a quando l'operatore non provvede a una modifica.

I dati si riferiscono alla misura del diametro del foro che ha come valore nominale 8 con tolleranza di: $+0.005 / +0.014$. I limiti di specifica dunque sono pari a $[8.005 ; 8,014]$.

2.1. ANALISI ESPLORATIVA DEI DATI

Il dataset è composto da due campioni, uno per macchina, di ampiezza 150. Le variabili rilevate sono:

- "dati.427" : variabile continua quantitativa contenente l'insieme delle misure dei diametri.
- "intervento.427" : variabile qualitativa con 2 modalità (0 in assenza di intervento, 1 se vi è stata una modifica).
- "gruppo.427" : variabile qualitativa con 2 modalità: (1 se la macchina è la 129 C e 2 se è la 129 A).

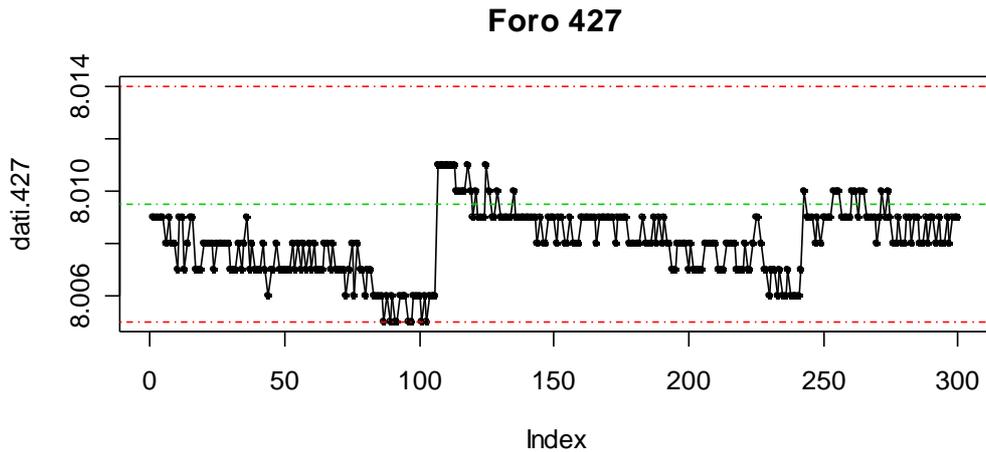


Figura 2.1.1: Dataset codice 049600427

La figura 2.1.1 si riferisce ai dati dell'intero dataset. Le linee rosse corrispondono ai limiti di tolleranza mentre la linea centrale verde corrisponde al valore centrale dell'intervallo di tolleranza.

Dal grafico notiamo una prima deriva che dai valori iniziali di 8.010, porta i dati al limite della tolleranza, vi è poi un salto, dovuto plausibilmente all'intervento dell'operatore, che porta il processo vicino al limite centrale. I successivi 150 dati presentano invece una iniziale stabilità, per poi subire una leggera flessione fino all'osservazione 240 in corrispondenza della quale l'operatore ha apportato una modifica, evidenziata da un salto verticale dei dati.

Andiamo ora ad analizzare i boxplot della variabile diametro "dati.427" per macchina, "gruppo.427", e per intervento, "intervento.427".

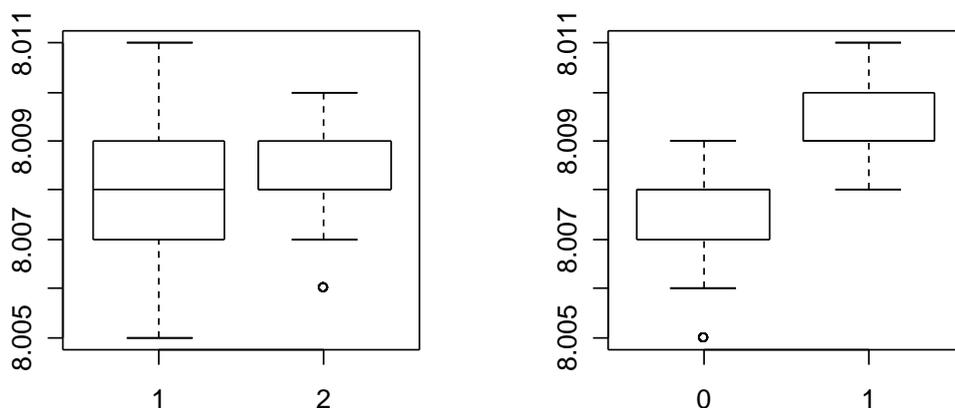


Figura 2.1.2: Boxplot dei dati divisi per macchina e per intervento

Il primo grafico nella figura 2.1.2, si riferisce ai dati suddivisi per macchina. I boxplot ci segnalano che la macchina 129 C presenta una variabilità della variabile diametro di gran lunga maggiore di quella osservata per la macchina 129 A. Si evidenzia di contro una uguaglianza in media. Il secondo grafico invece descrive i dati prima e dopo la modifica. A differenza di quanto detto prima qui possiamo vedere una sostanziale differenza in media, mentre per quanto riguarda la variabilità i due gruppi sono molto simili.

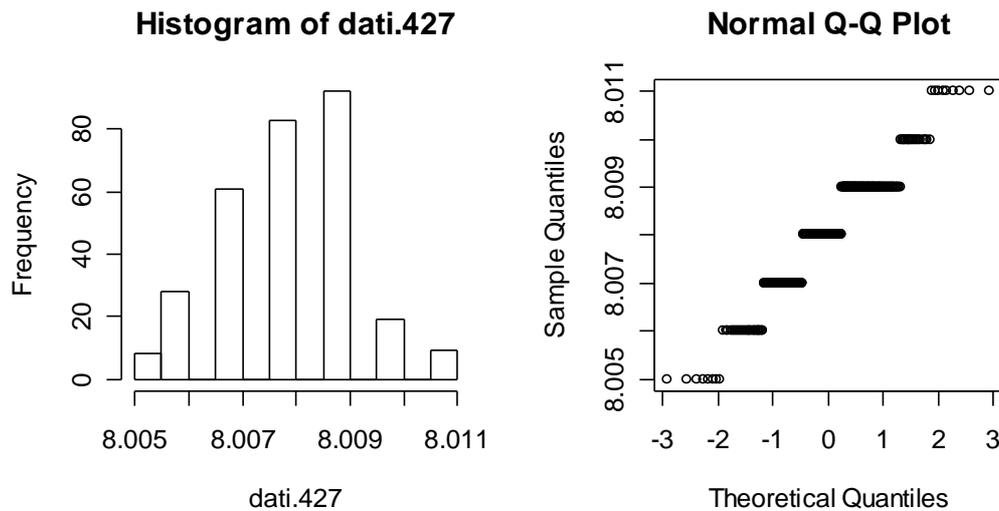


Figura 2.1.3: Istogramma e Normal Probability Plot dei dati.

Il *normal probability plot* presenta un andamento che non approssima una retta normale e inoltre abbiamo delle code pesanti che escono dai limiti 2, -2.

Il test di Shapiro-Wilk porta a rifiutare l'ipotesi di normalità dei dati con un p-value che è circa 0.

Andiamo ora ad analizzare l'autocorrelazione dei dati.

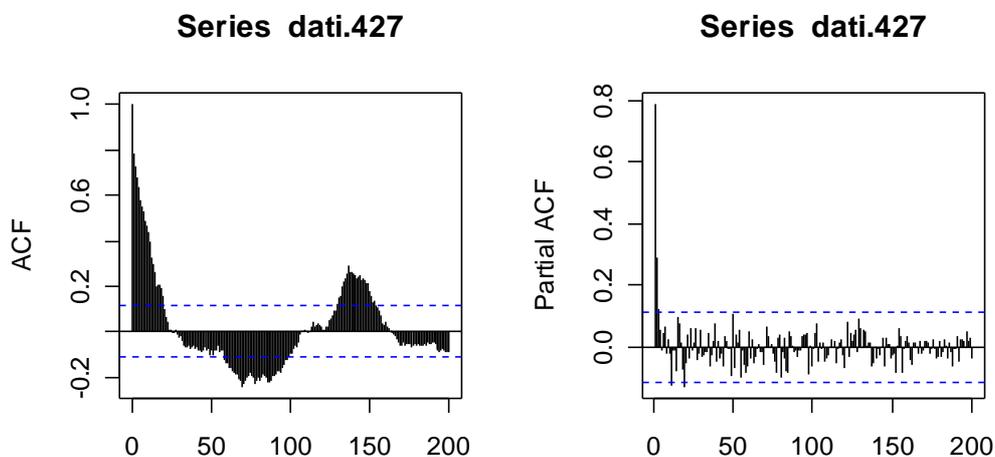


Figura 2.1.4: Grafico dell'autocorrelazione totale e parziale per il codice 427

I grafici mostrano una forte autocorrelazione con coefficienti negativi e positivi. Il grafico dell'autocorrelazione parziale ci mostra valori diversi da zero, a ritardi maggiori di 1 e quindi supponiamo che i nostri dati, non possano essere modellati perfettamente da un modello AR(1).

L'output del test di Box-Ljung ci fornisce un p-value di 0.4469. Per decidere se possiamo accettare il nostro modello, consideriamo anche il grafico di autocorrelazione dei residui.

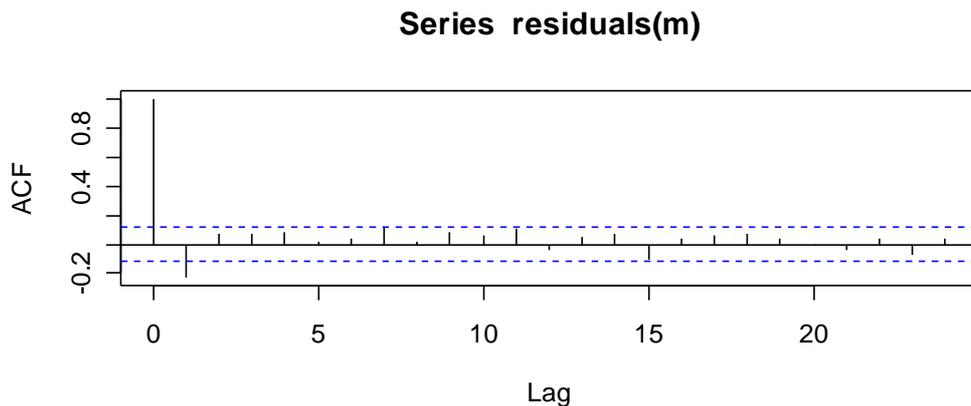


Figura 2.1.5: Grafico dell'autocorrelazione dei residui stimati da un modello AR(1)

Quest'ultimo grafico mostra che sono ancora presenti dei valori diversi da 0 a ritardo maggiore di 1 e così proviamo a modellare con un modello ARMA(1,2)

In questo caso il test Box fornisce un p-value di 0.9919 che porta ad accettare la bontà del modello.

La distribuzione dei residui del modello ARMA(1,2) mostra che, a causa di alcuni dati pesanti sulle code, una violazione dell'ipotesi di normalità (il test di Shapiro ha un p-value pari quasi a 0).

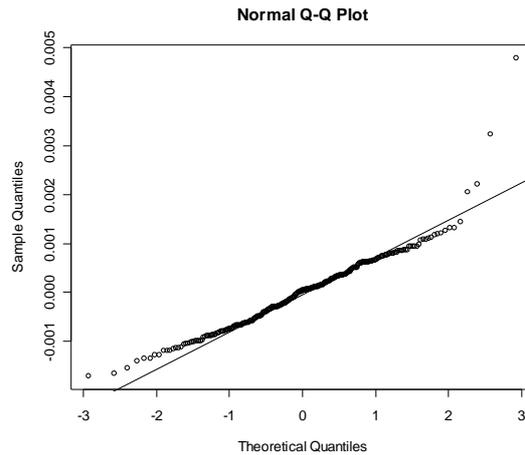


Figura 2.1.6: *QQNORM* dei residui di un *ARMA(1,2)*

Quindi siamo in presenza di dati distribuiti non normalmente e fortemente autocorrelati. Al momento di applicare le carte di controllo si preferirà una carta con la statistica Ewma come linea centrale e la carta Shewhart per gli errori di previsione a un passo. Le carte Shewhart per le misure singole infatti risultano poco efficaci in condizione di non normalità e autocorrelazione.

Proviamo ad adattare un modello su questi dati per osservare se vi è un effetto “macchina” oltre che un effetto “intervento” sul livello medio del diametro.

Tabella 1: *Output del modello*

```
Call:
lm(formula = dati.427 ~ gruppo.427 + intervento.427)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.345e-03 -6.137e-04 -3.328e-05  6.553e-04  1.967e-03

Coefficients:
            Estimate Std. Error  t value Pr(>|t|)
(Intercept)  8.007e+00  8.806e-05 90935.238  <2e-16 ***
gruppo.4272  2.691e-04  1.145e-04   2.349   0.0195 *
intervento.4271 1.689e-03  1.209e-04  13.967  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.0009871 on 297 degrees of freedom
Multiple R-Squared:  0.4132,    Adjusted R-squared:  0.4092
F-statistic: 104.5 on 2 and 297 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Nella Tabella 1 sono riportate le stime dei coefficienti, i relativi standard error, i valori della statistica t di Student, i p-value associati, e il valore di R^2 .

Tutte le variabili risultano significative. Il valore dell' R^2 è pari a 0.4132. Il modello dunque non tenendo conto di tutte le variabili non misurabili proprie delle macchina, spiega meno del 50% della variabilità.

I grafici dei residui mostrano una violazione dei principali assunti (*Figura 2.1.7*).

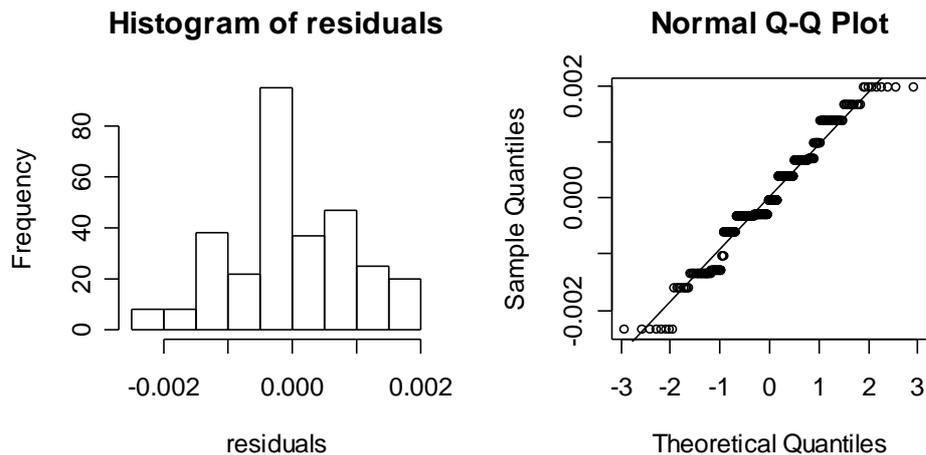


Figura 2.1.7: Istogrammi e Normal Probability Plot dei residui stimati dal nostro modello.

Tabella 2: Output Test Anova

Analysis of Variance Table

Response: dati.427

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
gruppo.427	1	1.3653e-05	1.3653e-05	14.012	0.0002181	***
intervento.427	1	1.9009e-04	1.9009e-04	195.082	< 2.2e-16	***
Residuals	297	2.8940e-04	9.7400e-07			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Il test anova suggerisce che i dati possono essere divisi in 2 gruppi essendo molto significativo l'effetto gruppo. Per tale ragione le carte di controllo saranno applicate ai dati divisi per macchina.

2.2. CENNI SULLE CARTE DI CONTROLLO

Le carte di controllo sono uno strumento statistico utile al controllo di processo per verificare se il processo generatore dei dati sia più o meno stabile.

Il disegno di una carta prevede che vengano tracciati due limiti che delimitano la regione di accettazione dell'ipotesi di stabilità, un limite di controllo inferiore (LCL), e un limite di controllo superiore (UCL). All'interno di questi viene delineata una linea centrale (LC), che indica il valore medio della nostra statistica di controllo. Se la statistica cade nella regione esterna ai limiti si conclude che il processo è fuori controllo e si segnala un allarme. Se vi è una segnalazione di allarme, ma il processo è in uno stato di in-controllo si parla di falso allarme.

Per verificare se il processo analizzato è in-controllo o meno, utilizzeremo due tipi di carte per i dati autocorrelati: una di tipo Ewma e una carta di tipo Shewhart per gli errori di previsione a un passo.

2.2.1. La Carta Shewhart

Le carte di controllo di tipo Shewhart, (Shewhart 1931), fanno parte delle carte di controllo senza memoria. La statistica di controllo, funzione dei dati osservati, non tiene conto infatti delle informazioni provenienti dagli istanti precedenti. Gli assunti che devono essere soddisfatti perché possano applicarsi le carte di tipo Shewhart sono la normalità e l'indipendenza delle osservazioni.

La statistica di controllo nelle carte di tipo Shewhart assume la seguente forma:

$$w = g(\underline{x})$$

con media $E[w] = \mu_w$ e deviazione standard $\sqrt{V[w]} = \sigma_w$

Di volta in volta la regola di decisione si basa sull'ultimo campione estratto all'istante t : $w_t = g(\underline{x}_t)$.

I limiti di controllo e la linea centrale sono definiti:

- linea centrale: $LC = \mu_w$;
- limiti di controllo inferiore: $LCL = \mu_w - L\sigma_w$;
- limiti di controllo superiore: $UCL = \mu_w + L\sigma_w$

dove L è la costante che determina l'ampiezza della nostra regione di accettazione. Usualmente L viene posta pari a 3 (per la regola dei 3-sigma). In questo modo si assume che le regioni di accettazione contengano sotto l'ipotesi nulla il 99,7% dei dati.

2.2.2. Carte di Controllo Ewma basata sugli errori di previsione a un passo, Ewma Center Line

Le carte di controllo di tipo Ewma (*Exponentially Weighed Moving Average*), (Roberts, 1959), sono carte di controllo con memoria, che tengono conto quindi delle informazioni ricavate dai campioni precedenti all'ultimo osservato. Questa carta è meno sensibile, rispetto a carte di tipo Shewhart, alla violazione dell'assunto di normalità dei dati e consente di trattare anche il caso di correlazione dei dati.

La statistica di controllo delle carte Ewma è definita dalla funzione:

$$w_t = \sum_{j=0}^{t-1} \lambda(1-\lambda)^j w_{t-1} + (1-\lambda)^t w_0$$

dove $\lambda \in (0,1)$ e $w_0 = \theta_0$.

I limiti di controllo della carta EWMA, non asintotici e asintotici rispettivamente, sono definiti da:

$$LCL = \mu - L \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2t}]}$$

$$LC = \mu$$

$$UCL = \mu + L \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2t}]}$$

$$LCL = \mu - L \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} \tag{1}$$

$$LC = \mu$$

$$UCL = \mu + L \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} \tag{2}$$

Nel caso in cui μ e σ non siano noti si possono approssimare con:

$$\hat{\mu} = \bar{x} = \frac{\sum \bar{x}_i}{n} \quad \text{e} \quad \hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{dove } d_2 \text{ è una costante legata alle dimensione}$$

campionaria e \bar{R} è la media dei range campionari.

Nel caso in cui i dati siano autocorrelati e il processo possa essere modellato con un modello di tipo ARIMA(p,d,q), la carta EWMA fornisce un ottimo previsore ad un passo.

La statistica w_t in questo caso diventa \hat{X}_{t+1} , ovvero la previsione fatta al tempo t per il periodo t+1.

$$\hat{X}_{t+1}(t) = w_t = w_{t-1} + \lambda[X_t - \hat{X}_t(t-1)]$$

da cui si ricava

$$\hat{X}_{t+1}(t) = w_t = w_{t-1} + \lambda[X_t - w_{t-1}] = w_{t-1} + \lambda e_t$$

dove: $e_t = X_t - \hat{X}_t(t-1) = X_t - w_{t-1}$ prende il nome di errore di previsione a un passo.

Nel nostro caso abbiamo visto che l'ipotesi di normalità e di autocorrelazione non viene rispettata e quindi considereremo una carta basata sugli errori di previsione ad un passo:

$$e_t = y_t - w_{t-1}$$

dove il valore di w_{t-1} indica il valore della statistica EWMA al tempo t-1 che corrisponde alla previsione di μ_w .

2.3. LE CARTE DI CONTROLLO

Per quanto detto in precedenza possono utilizzarsi la carta SHEWHART per gli errori di previsione a un passo ed una carta avente la statistica Ewma come linea centrale. Utilizziamo queste perché sono le meno sensibili all'autocorrelazione dei dati e inoltre le più robuste nel caso in cui i dati non siano normalmente distribuiti.

Carta Shewart per gli errori a un passo per il 1° Gruppo

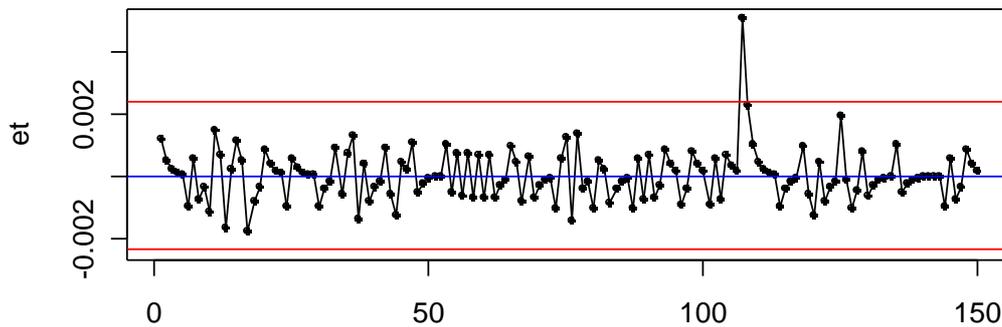


Figura 2.3.1: Carta Shewart per gli errori di previsione a un passo per il 1° Gruppo.

Il grafico ci mostra un solo fuori controllo all'osservazione 107 che corrisponde al momento in cui l'operatore ha apportato una modifica per riportare i dati verso la metà tolleranza.

Carta Shewart per gli errori a un passo per il 2° Gruppo

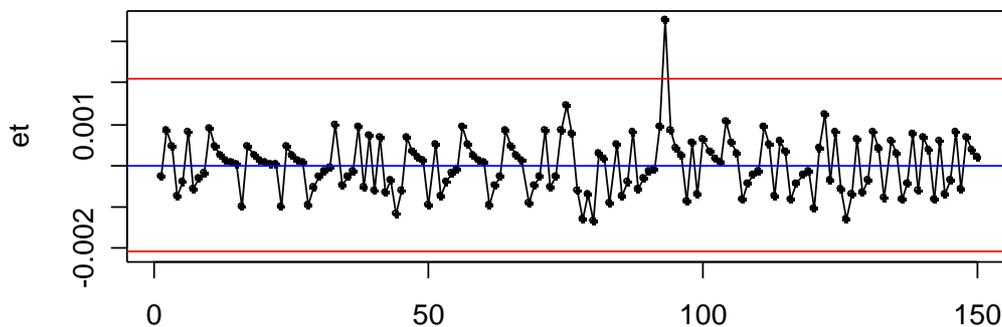


Figura 2.3.2: Carta Shewart per gli errori di previsione a un passo per il 2° Gruppo.

Anche in questo caso, il grafico mostra un unico fuori controllo in corrispondenza all'intervento dell'operatore.

Carta EWMA sugli errori di previsione a un passo

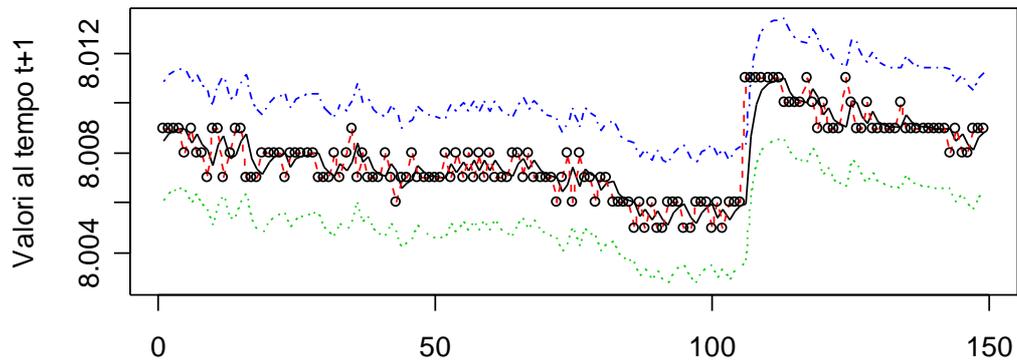


Figura 2.3.3: Carta EWMA CenterLine il 1° gruppo

Le carte di controllo avente come linea centrale la statistica Ewma sono molto efficaci in caso di dati autocorrelati. Queste carte mostrano solo quanto siano buone le previsioni e graficamente si ha solo un'idea della dinamica del processo originale. Dal grafico si nota l'andamento del processo evidenziando ancora una volta il salto in media dei dati una volta che viene apportata una modifica.

Carta EWMA sugli errori di previsione a un passo

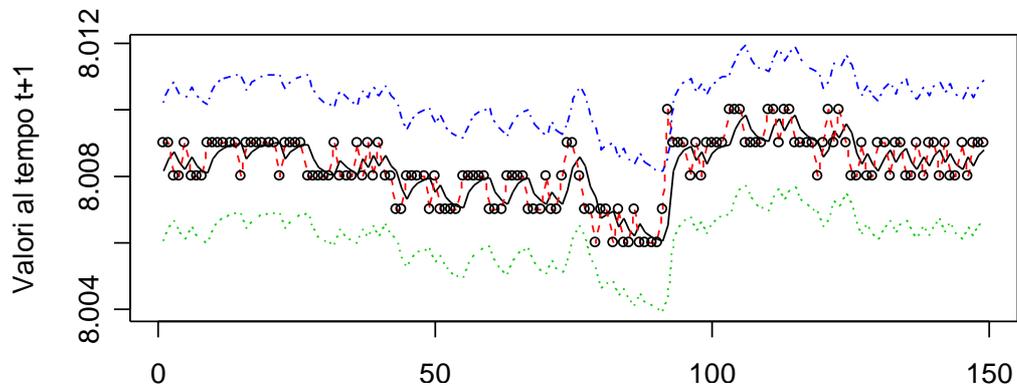


Figura 2.3.4: Carta EWMA Center Line 2° gruppo

Anche questo grafico evidenzia la deriva del processo seguita da un salto una volta che interviene l'operatore.

Per concludere possiamo dire che il processo sembra sostanzialmente stabile a meno di alcuni salti nel livello medio del processo in corrispondenza agli interventi dell'operatore.

Purtroppo le macchine studiate sono prive di misuratori della mola. Con il consumo, questa va ad asportare sempre meno materiale. Si va dunque ad agire su una leva che

gestisce la frizione della mola aumentandone il raggio d'azione. Il processo viene così riportato intorno al valore centrale dell'intervallo di specifica, ma questo non è altro che un passaggio temporaneo fino alla nuova deriva in seguito a un nuovo intervento.

2.4. INDICI DI CAPACITA'

Gli indici di capacità del processo rappresentano l'abilità del processo preso in esame di generare prodotti conformi alle specifiche. Hanno il vantaggio di essere valori adimensionali e quindi facilmente interpretabili e paragonabili tra loro.

Nello specifico presentiamo quattro indici di capacità:

- C_p : indice di capacità potenziale del processo a breve termine;
- C_{pk} : indice di capacità effettiva del processo a breve termine;
- P_p : indice di capacità potenziale del processo a lungo termine;
- P_{pk} : indice di capacità effettiva del processo a lungo termine.

In particolare:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}} \quad \text{con} \quad \hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{dove } \bar{R} \text{ è il range medio}$$

$$\text{o} \quad \hat{\sigma} = \frac{\overline{MR(2)}}{d_2} \quad \text{dove } \overline{MR(2)} \text{ è l'escursione media}$$

dove d_2 è una costante in funzione della dimensione campionaria. In caso l'analisi venga effettuata sulle singole osservazioni andiamo ad stimare σ calcolando l'escursione mobile, in caso di campioni con $n > 1$ utilizzeremo il range medio.

Il punto debole di questo indice è il non tener conto della centratura rispetto i limiti di specifica del nostro processo.

Un secondo indice che tiene conto della posizione del processo rispetto ai limiti di specifica e C_{pk} definito da:

$$C_{pk} = \frac{\min(-Z_{LSL}, Z_{USL})}{3} \quad \text{con} \quad Z_{LSL} = \frac{LSL - \mu}{\hat{\sigma}} \quad \text{e} \quad Z_{USL} = \frac{USL - \mu}{\hat{\sigma}}$$

con $\mu = \bar{x}$ pari alla media delle medie.

L'interpretazione di tali indici è la seguente:

- $C_{pk} < 1$ processo con bassa capacità;
- $1 < C_{pk} < 1.66$ processo con media capacità;
- $C_{pk} > 1$ processo con alta capacità.

Se il processo è centrato sulla metà tolleranza avremo che $C_p = C_{pk}$. Mentre se $C_{pk} < C_p$ significa che il processo non è centrato rispetto all'intervallo di specifica ma risulta spostato o verso destra o verso sinistra.

Gli indici P_p e P_{pk} sono calcolati nello stesso modo solo che $\hat{\sigma} = \sqrt{V(\bar{X})}$ cioè la deviazione standard di tutte le osservazioni.

2.5. CAPACITA' CALCOLATE PER IL CODICE 427

Gli indici che andiamo a calcolare ci forniranno un indice di capacità del processo. Studieremo prima gli indici di capacità e poi gli indici di performance per macchina.

$$C_p = \frac{8.014 - 8.005}{6 \cdot 0.0005} = 3 \quad \text{per il primo gruppo}$$

$$C_p = \frac{8.014 - 8.005}{6 \cdot 0.0004} = 3.75 \quad \text{per il secondo gruppo.}$$

I valori sono di gran lunga più grandi del valore limite 1.66 e questo indica una buona capacità anche se non sappiamo se il nostro processo sia centrato o meno all'interno dei nostri limiti poiché questo indice non tiene conto della posizione del processo all'interno dei limiti di specifica.

$$C_{pk} = \frac{LTI}{3} = 1.8933 \quad \text{per il gruppo 1}$$

$$C_{pk} = \frac{LTI}{3} = 2.72 \quad \text{per il gruppo 2}$$

dove LTI è il minimo tra $-Z_{LSL}$ e Z_{USL} che sono pari a:

$$\begin{aligned} Z_{LSL} &= -5.68; & e & & Z_{LSL} &= -8.166 \\ Z_{USL} &= 12.32 & e & & Z_{USL} &= 14.33. \end{aligned}$$

Anche in questo caso entrambi gli indici ci dicono che il nostro processo ha un'alta capacità ma data la differenza tra i valori di C_p e C_{pk} , possiamo affermare che le nostre macchine non lavorano centrate entro i limiti di specifica.

Gli indici calcolati quindi ci dicono che a breve termine, i processi esaminati sono ottimali in quanto entrambi i valori, C_p e C_{pk} , di entrambi i processi sono maggiori di 1.66.

Per concludere diciamo che il primo campione, riferito ai dati provenienti dalla macchina 129 C ha una qualità non sufficiente dovuta alla grande variabilità dei dati dentro i limiti di specifica come si può anche notare dal boxplot in figura 2.1.2. Il secondo campione invece, anche se di poco ha una capacità maggiore del primo grazie al valore più piccolo della variabilità.

Tuttavia il calcolo degli indici di capacità del nostro processo può portare a risultati fuorvianti data la violazione dell'assunto sia di normalità sia di stabilità del processo.

CAPITOLO III°

Carte di controllo basate sui ranghi

3. CARTE DI CONTROLLO BASATE SUI RANGHI

Le carte di controllo basate sui ranghi sono una valida alternativa alle carte di controllo standard per i processi che non presentano una distribuzione del tutto normale. A tal proposito Hackl e Ledolter, 1991, formularono una carta Ewma, dove i ranghi delle osservazioni venivano calcolati su un campione di dati ritenuti in controllo di numerosità 30, 50 o 100.

Ora definiamo i ranghi di un osservazione al tempo t relativo a una distribuzione in controllo. Se invece la distribuzione in controllo e i suoi parametri non sono specificati, si definiscono i ranghi relativi a un campione di osservazioni originati da un processo in controllo. Questa carta è efficace rispetto a trend lineari del processo, ma al contrario poco robusta in presenza di salti nella media.

3.1. Ranghi Standardizzati

Sia X_t con $t=1,2,\dots$, una sequenza casuale di variabili indipendenti da una distribuzione di probabilità $F(x)$. Il processo è considerato in controllo se $F(x)=F_0(x)$. I ranghi standardizzati, R_t , delle osservazioni X_t da un distribuzione in controllo, sono così definiti:

$$R_t = 2 \left[F_0(X_t) - \frac{1}{2} \right]. \quad [1]$$

La statistica R_t risulta essere uniformemente distribuita tra -1 e 1 , con media 0 e varianza $1/3$. I ranghi tra loro sono indipendenti.

Se la distribuzione in controllo non è definita, come nel nostro caso, è possibile utilizzare un campione di dati $g-1$, $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_{g-1}\}$, estratto da un processo in controllo e si definiscono i ranghi standardizzati X_t come:

$$R_t = \frac{2}{g} \left(R_i - \frac{g+1}{2} \right) \quad [2]$$

dove R_i sono i ranghi di X_t rispetto a $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_{g-1}\}$ pari a

$$R_i = 1 + \sum_{i=1}^{g-1} I(X_t > Y_i)$$

dove $I(X_t > Y_i) = 1$ se $X_t > Y_i$ e 0 altrimenti

I ranghi [2] seguono una distribuzione uniforme nei punti di g con media 0 e varianza $(g^2 - 1)/3g^2$.

L'indice di correlazione è $\text{Corr}(R_t, R_{t+1}) = (g+1)^{-1}$ per tutti i valori di t . Se g aumenta di numerosità questo valore tende a 0 e torniamo nel caso dei ranghi standardizzati al caso [1].

3.2. EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGES

Per controllare la media del processo Hack e Ledolter hanno introdotto l'utilizzo della carta Ewma basata sui ranghi. La statistica di controllo è data da:

$$T_t = (1 - \lambda)T_{t-1} + \lambda R_t \quad [3]$$

Per ogni $t=1,2,\dots$, il valore iniziale T_0 viene posto uguale a 0 e λ , con $0 < \lambda < 1$, è il parametro di lisciamento. Generalmente si usa un λ compreso tra 0.1 e 0.3 in modo da dare peso maggiore ai dati più vicini nel tempo. Si ha un segnale di fuori controllo al tempo t se $T_t > h$, dove h è un parametro opportunamente scelto. In particolare la coppia (λ, h) viene scelta in modo da avere il numero medio di osservazioni per identificare un fuori controllo (ARL), il più grande possibile in uno stato di controllo e il più piccolo nel caso di fuori controllo. Per esempio una carta con un h compreso tra 0.5 e 0.6 e con $\lambda=0.3$ da un ARL compreso tra 100 e 430 nel caso in cui si conosca la distribuzione di riferimento, $F(x)$. Nel caso questa sia invece ignota l'ARL va da 200 a 1050 con un campione di riferimento, g , di ampiezza 50.

La carta Ewma basata sui ranghi non è esente da svantaggi. In caso di variabili di controllo normalmente distribuiti la carta Ewma standard basata sulle osservazioni è

leggermente più efficace di una carta Ewma non parametrica. Questa perdita però è trascurabile in confronto ai vantaggi che si hanno nell'applicare queste nel caso in cui l'assunto della normalità sia violato.

Un'altra differenza la riscontriamo in presenza di *outliers*. La carta basata sui ranghi è meno sensibile alla presenza di questi valori anomali e questo implica una sensibilità inferiore nei confronti di grandi cambiamenti nella media.

3.3. Il codice 1869

La tecnica appena descritta è stata utilizzata per controllare una particolare corona dentata. Inizialmente abbiamo raccolto un campione di 30 dati che assumiamo sia in controllo. Successivamente, a intervalli di 10 minuti, abbiamo misurato dei campioni di 3 pezzi e calcolato i ranghi sulla media. I parametri per il disegno della carta sui ranghi sono stati scelti in base agli studi di Hackl e Ledolter che dimostrano che con un λ pari a 0.3, un $h=0.5$ e un numero di osservazioni in controllo minore di 50, il numero di osservazioni minimo per osservare un fuori controllo è 3.

3.4. La Raccolta dei Dati

I dati si riferiscono a 2 diametri, uno interno e uno esterno. Il primo, misurato con un micrometro per interni, ha come valore nominale 37 con una tolleranza di $+0.000/+0.025$. Il secondo diametro misurato con un micrometro per esterni, ha come valore target 43 e come specifica $-0.004/-0.065$. Si ha quindi dei limiti di specifica per i diametri di $[37 ; 37.025]$ e di $[42.935 ; 42.996]$.

I dati che abbiamo raccolto per i diversi diametri si distribuiscono così:

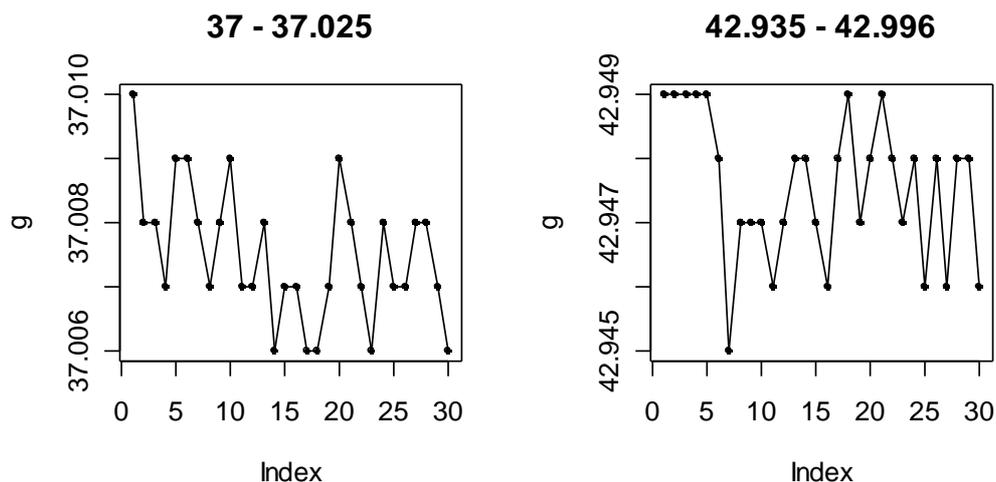


Figura 3.4.1: Dati rilevati da un processo in controllo per i diametri 37 e 43

I grafici della figura 3.4.1 ci mostrano l'andamento del diametro, interno ed esterno, 30 pezzi estratti dal processo in controllo. Queste misurazioni vengono utilizzate come termine di confronto per calcolare i ranghi delle osservazioni successive.

La seconda fase del controllo di processo ha portato alla raccolta a intervalli di 10 minuti, di campioni di ampiezza 3, sui quali viene rilevato il rango della media. Il processo è stato sorvegliato per un'ora per osservare l'andamento delle osservazioni originali e dei ranghi. Prima di calcolare questi ultimi facciamo una breve analisi esplorativa dei dati.

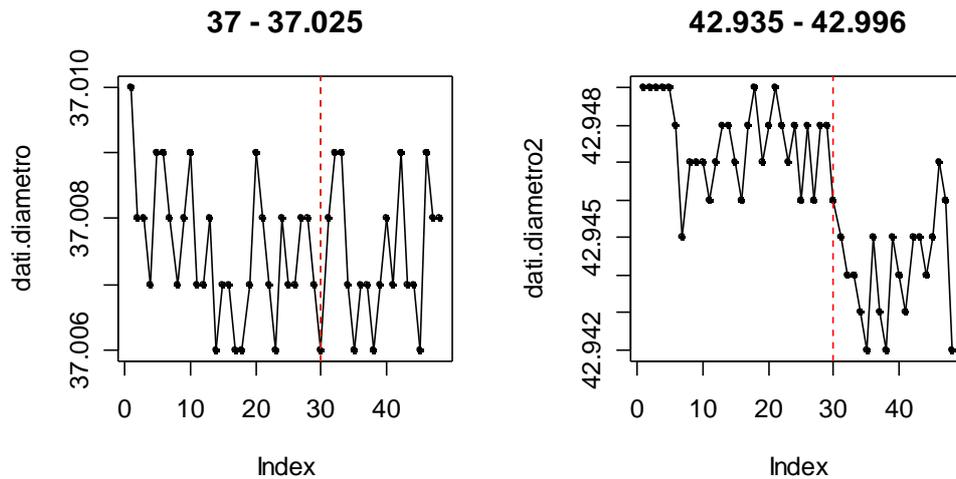


Figura 3.4.2: Grafici di dispersione dei dati

Già i grafici di dispersione forniscono delle importanti informazioni. Per esempio, il primo diametro sembra mantenere lo stesso andamento per quasi la totalità dei dati raccolti. Il secondo grafico invece mostra una sostanziale differenza tra i 2 campioni. Inizialmente il processo infatti sembra stabile in media in un intorno di 42.947, mentre la seconda parte sembra stazionare intorno a 42.944 con una differenza in media di almeno 3 micron pari a 3 millesimi di millimetro.

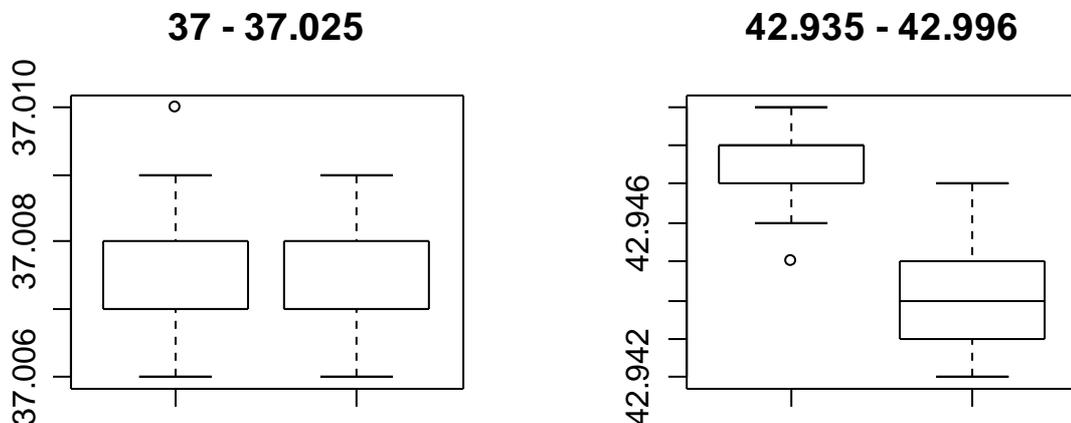


Figura 3.4.3: Boxplot relativi ai dati divisi per campione.

I boxplot dei dati divisi per campione confermano tali ipotesi. Infatti mentre i primi due diagrammi a scatola sono molto simili, i grafici relativi al secondo diametro mostrano una differenza in media, di circa 3 micron, e anche in varianza.

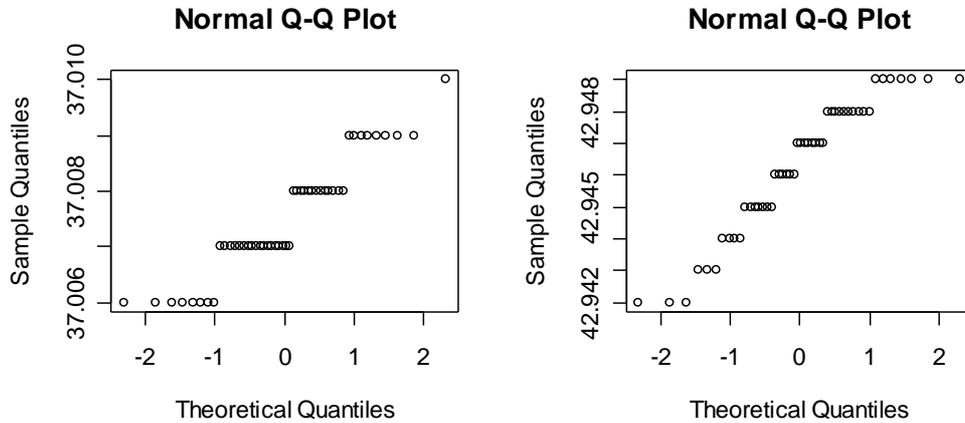


Figura 3.4.4: Normal Probability Plot dei dati per ogni diametro

Dalla figura 3.3.4 si può vedere che i dati non provengono da un processo normale in quanto entrambi hanno un andamento che non descrive pienamente una retta.

3.5. CARTA EWMA PER RANGHI STANDARDIZZATI

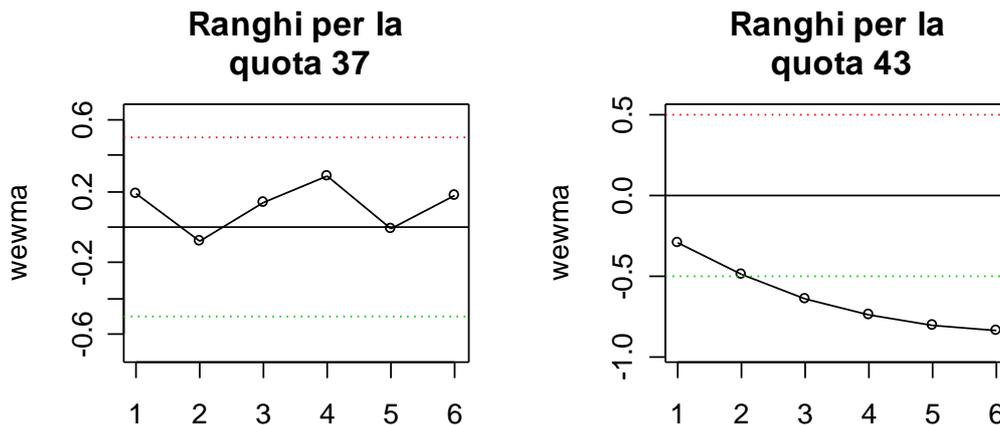


Figura 3.5.1: Carta sui Ranghi con $\lambda=0.3$, $h=0.5$

Osservando i grafici relativi ai ranghi calcolati sulle medie, notiamo come questo schema di controllo descriva al meglio l'andamento dei dati. Constatiamo infatti che le rilevazioni effettuate sul primo diametro descrivono un andamento in-controllo per l'ora in cui è avvenuta la rilevazione. Al contrario, il secondo diametro già dopo il

terzo valore segnala un fuori controllo, per poi stabilizzarsi al di fuori dei limiti. L'operatore durante questo intervallo di tempo non ha effettuato alcun intervento perché, anche se i pezzi si avvicinavano ai limiti inferiori di specifica, erano sempre all'interno dell'intervallo di tolleranza.

3.6. CARTA EWMA PER LE OSSERVAZIONI

Proviamo ad adattare alla totalità dei dati una carta Ewma standard, per confrontarne i risultati con la carta Ewma non parametrica.

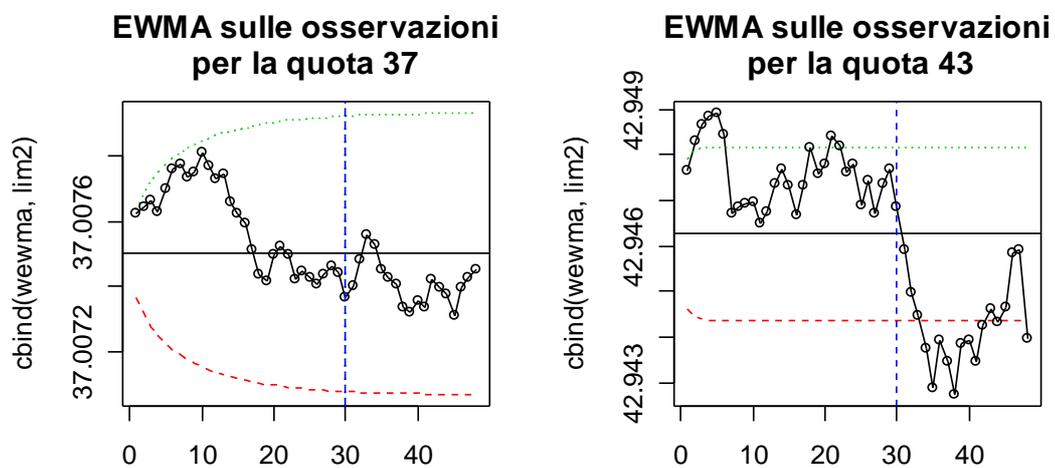


Figura 3.6.1: Carta Ewma standard per la totalità delle osservazioni

Abbiamo tracciato una linea verticale in corrispondenza della trentesima osservazione per individuare meglio i due campioni. Il primo evidenzia un processo in controllo. Osservando il secondo grafico la prima cosa che notiamo invece è la presenza di fuori controllo all'interno già del primo campione. A partire dalla trentesima osservazione inoltre c'è la presenza di una deriva che segnala un fuori controllo alla quarta misurazione per poi ritornare entro i limiti verso la fine della rilevazione. Il cambiamento in media ha portato quindi alla segnalazione di falsi allarmi anche nei prima 30 dati. Il processo comunque viene descritto in modo soddisfacente anche da una carta Ewma per i dati osservati.

3.7. OSSERVAZIONI

Possiamo concludere che grazie alle carte di controllo basate sui ranghi siamo riusciti ad ottenere una descrizione soddisfacente del processo. Un campione di tre osservazioni ogni 10 minuti è stata la nostra scelta, visto che un controllo basato sui tre pezzi ora non è adeguato per descrivere il controllo corrente dell'andamento della macchina. L'operatore infatti controlla molto frequentemente i pezzi lavorati. Nel momento in cui trova valori che si avvicinano ai limiti di specifica, inferiore o superiore, attua subito una modifica per portare i valori verso il valore nominale.

Abbiamo scelto quindi di ridurre la distanza tra gli intervalli di campionamento, aumentando così la frequenza di controllo per avere una visione più realistica della situazione che si presenta in fase di lavorazione. La nostra analisi in quanto non parametrica può essere applicata a tutti i processi produttivi e potrebbe dare dei benefici in fatto di tempo e di velocità nel riconoscere derive del processo di piccole entità.

Abbiamo visto inoltre che la dinamica del processo viene colta anche dalla carta Ewma standard. A differenza delle carte precedenti però, abbiamo la segnalazione di falsi allarmi all'interno del primo campione e un maggiore ritardo nel segnalare un allarme.

CAPITOLO IV°

4. CARTE DI CONTROLLO CON INTERVALLI DI CAMPIONAMENTO VARIABILI

L'idea di base che sta dietro alle carte di controllo con intervalli di campionamento variabili è un mix tra 2 analisi standard: un campionamento a tempi fissi (FSI) e un campionamento a tempi variabili (VSI), (Reynolds 1995). Questo ultimo tipo di carta però risultava, in alcune applicazioni, non conveniente dal punto di vista amministrativo e non appropriata per un'analisi inferenziale del processo. Si è cercato quindi un modello che prevedesse all'interno di intervalli di tempo prefissati, degli intervalli intermedi ugualmente ripartiti. La collocazione di questi tempi intermedi può derivare da scelte di tipo amministrativo oppure da specifiche richieste di controllo del processo.

Studi riguardanti queste carte di controllo hanno dimostrato che carte VSI sono in grado di identificare una deriva del processo più velocemente delle corrispondenti carte FSI. Con l'introduzione di tempi intermedi all'interno dei tempi fissi, quindi uno schema VSI-FT, si è visto che confrontato questo con le carte di controllo VSI i tempi di rilevazione di queste derive risultavano essere gli stessi.

L'obiettivo di introdurre uno schema VSI-FT è quello di ridurre i costi mantenendo un adeguato controllo dei cambiamenti in media.

Lo schema di base consiste nel prendere i tempi fissi, $d_f, 2d_f, 3d_f, \dots$, di controllo di un processo, come possono essere i nostri 3 pezzi ora, e introdurre all'interno di questi alcuni passi intermedi, $d_1, d_2, \dots, d_{\eta-1}$ in modo da suddividere l'intervallo in η sotto-intervalli ugualmente ripartiti. Ad esempio nel caso in cui vengono estratti 3 pezzi ogni ora, posto $d_f = 1$, $\eta = 4$, le misurazioni vengono eseguite ogni ora, ma nel caso di un fuori controllo, il campione successivo viene rilevato non più all'ora successiva, ma allo scadere dei 15 minuti. Se il processo rientra all'interno dei limiti si ritorna a controllare secondo lo schema iniziale altrimenti si prosegue con l'intervallo intermedio successivo. Così facendo si è in grado di controllare al meglio il processo, riuscendo a determinare in tempi più brevi il momento in cui intervenire.

4.1. LE CARTE SHEWHART VSIFT PER LE MEDIE

La carta di controllo VSIFT per il controllo delle medie viene così disegnata la linea centrale è data dalla media delle medie, μ_0 , e i limiti di controllo sono dati da $\mu_0 \pm h\sigma_w$, dove $\sigma_w = \sigma/\sqrt{n}$ e h è posto uguale a 3 secondo la regola del “tre sigma”.

La regione delimitata dai due limiti di controllo viene suddivisa in due zone D_1 e D_2 dove:

$$D_1 = [\mu_0 - h\sigma_{\bar{X}}, \mu_0 - f\sigma_{\bar{X}}) \cup (\mu_0 + f\sigma_{\bar{X}}, \mu_0 + h\sigma_{\bar{X}}]$$
$$D_2 = [\mu_0 - f\sigma_{\bar{X}}, \mu_0 + f\sigma_{\bar{X}}]$$

e $0 \leq f \leq h$. D_2 è la regione entro la quale i controlli vengono effettuati solo alla scadenza dei tempi fissati. Se la nostra statistica invece cade entro D_1 la rilevazione successiva andrà fatta al tempo $(m+1)d_1$. Le decisioni possibili ogni volta che viene calcolata una media campionaria sono:

1. se \bar{X} è fuori dai limiti di controllo allora segnaliamo un allarme;
2. se \bar{X} cade nella regione D_1 il campione successivo viene rilevato al tempo intermedio d_1 ;
3. se \bar{X} cade invece nella regione D_2 la raccolta dei dati avverrà al prossimo tempo fisso $(m+1)d_f$.

La scelta di η e d_f , che indicano rispettivamente il numero di intervalli sia fissi che intermedi, viene effettuata in base a due strategie principali. La prima ha come obiettivo una più veloce identificazione dei cambiamenti in media del processo al costo però di un piccolo incremento nel numero di falsi allarmi e quindi di campionamento. Per definire lo schema di rilevazione dei dati, viene tenuto come valore di d_f lo stesso di una carta a tempi fissi (i.e. tre pezzi ora) e inserendo all'interno di questi η intervalli intermedi.

Il disegno della seconda strategia invece è volta a ridurre i costi di campionamento senza però perdere l'efficienza nell'individuare derive dei processi. Si risulta ottenere il seguente schema definito: il tempo che intercorre tra la rilevazione di due intervalli fissi, d_f , viene allungato (i.e. i tre pezzi ora diventano tre pezzi ogni 2 ore), mentre invece viene mantenuto il numero, η , di intervalli intermedi. I tempi quindi risultano essere più dilatati e da questo appunto si ha una riduzione dei costi di campionamento.

Le carte di controllo Shewhart VSI-FT per le medie sono legate all'assunto che ci si trovi in presenza di dati normalmente distribuiti e non-autocorrelati.

4.2. CARTA EWMA VSI-FT

Il disegno di una carta Ewma risulta necessaria per far fronte alla violazione dei vincoli di normalità dei dati e di indipendenza. La carta Ewma è una carta di controllo con memoria che tiene conto delle informazioni proveniente dagli Y_1 campioni precedenti all'ultimo osservato. La statistica di controllo per questa carta viene definita dalla funzione:

$$Z_t = \lambda Y_{1,t} + (1 - \lambda)Z_{t-1} \quad \text{con} \quad 0 < \lambda \leq 1.$$

Per quanto riguarda i limiti di controllo utilizziamo le formule [1] e [2] già descritte nel primo capitolo (v.pag: 17) solo che poniamo $\sigma = \sigma_{cc}$

dove:

$$\sigma_{CC}^2 = \sigma_{BCC}^2 + \sigma_W^2$$

$$\sigma_W^2 = \frac{1}{nm} \sum_{i=1}^m s_{W_i}^2 \quad (1)$$

e

$$\sigma_{BCC}^2 = \left(\frac{\bar{R}}{d_2} \right)^2 - \sigma_W^2 \quad (2)$$

Queste due componenti della varianza sono così stimate: (1) il risultato della variazione entro i gruppi o *within-sample*; (2) il contributo dalla varianza tra i gruppi detta *between-sample*.

Per il disegno della nostra carta, come per quanto riguarda le carte di tipo Shewhart abbiamo bisogno di un limite che stia a metà tra il limite centrale, LC, dato dalla media delle medie, e i limiti di controllo. Quindi abbiamo dei nuovi limiti così composti:

$$LSL_{Z,F} = TARGET - f \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} \sigma_{cc}}$$

e

$$USL_{Z,F} = TARGET + f \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} \sigma_{cc}}$$

dove $0 < f < h$. Le regioni che si vengono a creare sono quindi tre. Una zona centrale compresa tra LSL e USL, dove gli intervalli di tempo sono quelli di una carta a tempi fissi, mentre le altre due regioni con limiti [USL;UCL] e [LSL;LCL] rappresentano la zona che porta alla misurazione di un nuovo campione nell'intervallo intermedio successivo.

4.3. Il codice 1737

I dati si riferiscono al codice 1737, una corona dentata i cui diametri sono: uno interno 28.8 H7 ed uno esterno 32.9 F7. Il primo ha come range di tolleranza (0 ; +0.021) i cui limiti di specifica sono definiti: [28.800 ; 28,821]; mentre per il diametro esterno abbiamo una tolleranza (-0.025 / -0.050) con limiti di specifica: [32.850 ; 32.875].

4.4. RACCOLTA DEI DATI

La raccolta dei dati è stata effettuata ponendo come intervallo di misurazione a tempi fissi, 20 minuti; dato che un intervallo di tre pezzi l'ora non rispecchia la frequenza dei controlli dell'operatore. Si è deciso poi di porre $\eta = 2$ e quindi dividere il nostro intervallo di tempo in sotto intervalli di 10 minuti. Abbiamo dunque deciso di applicare una carta Ewma sui ranghi per osservare se l'azione congiunta delle due carte insieme porta a una migliore interpretazione dei dati. L'ampiezza di ogni campione pari a 3. Prima di iniziare la nostra analisi abbiamo raccolto un campione più ampio di 30 dati, necessari a calcolare i ranghi sui dati.

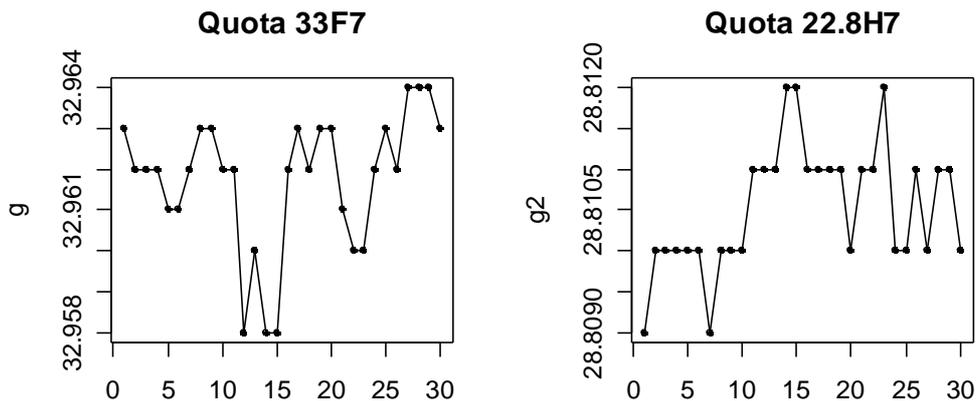


Figura 4.4.1: Grafico di dispersione dei dati relativi ai 2 diametri.

La figura 4.3.1 mostra i grafici di dispersione dei 30 dati su cui calcolare i ranghi di riferimento.

I grafici presentano 2 andamenti interessanti. Il primo mostra uno shift verso il basso verso la 10 osservazione che poi, a seguito di una diamantatura della mola con un ritorno alla stabilità intorno all'osservazione 15. Il secondo invece al contrario evidenzia un salto verso l'alto del processo con una stabilizzazione intorno alla quindicesima osservazione.

4.5. ANALISI ESPLORATIVA DEI DATI

Prima di applicare le nostre carte facciamo una breve analisi esplorativa dei dati.

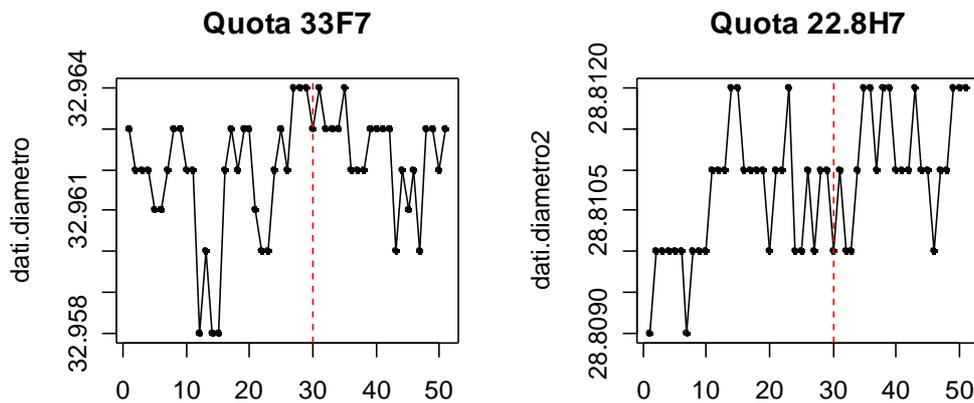


Figura 4.5.1: Grafico di dispersione dei dati relativi a tutti i dati raccolti

I grafici in figura 4.5.1 evidenziano due andamenti diversi. Rispetto alla quota 33F7 la quota 22.8 H7 mostra una differenza in media tra i due differenti campioni.

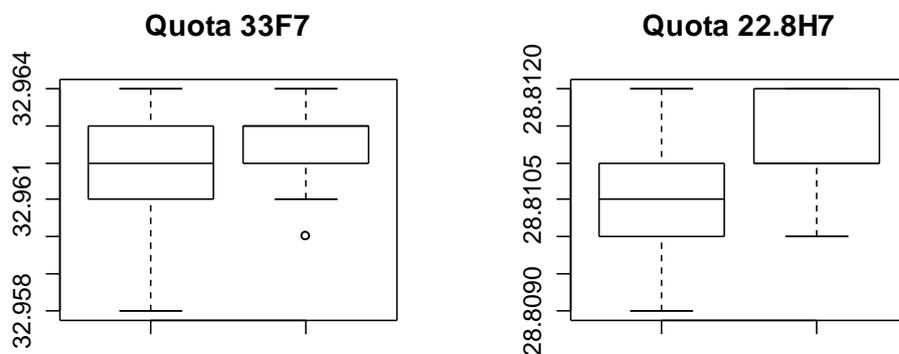


Figura 4.5.2: Box Plot dei dati relativi ai 2 diametri divisi per campione

I boxplot evidenziano due comportamenti diversi per i due gruppi. Il primo sembra mantenere lo stesso andamento anche se con una varianza ridotta, mentre il secondo mostra un salto in media più accentuato. Entrambi comunque presentano una differenza sostanziale in distribuzione tra i gruppi.

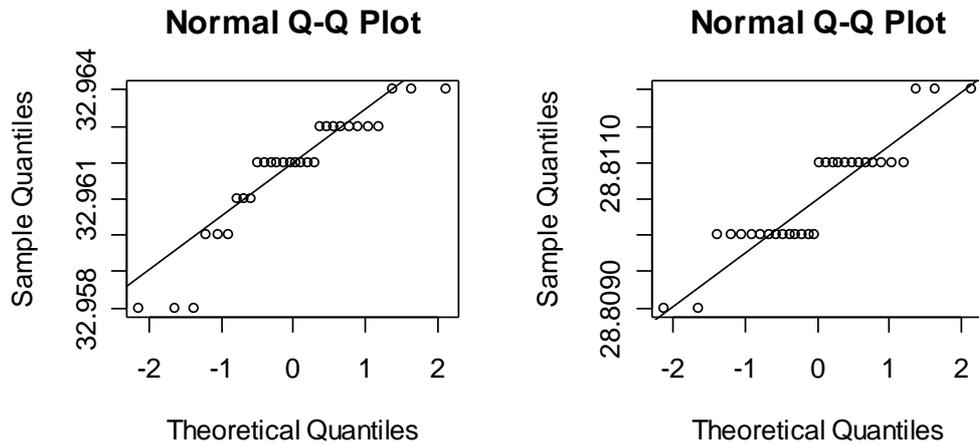


Figura 4.5.3: QQnorm del primo campione di dati.

I grafici in figura 4.5.3 si riferiscono al campione di 30 dati raccolti inizialmente necessari per calcolare i ranghi. Questi evidenziano che non ci troviamo di fronte a dati normalmente distribuiti. Quindi una carta di tipo Shewhart non sarebbe adatta a studiare al meglio il processo. Per tale ragione applicheremo una carta Ewma VSI-FT.

4.6. CARTE DI CONTROLLO

Abbiamo scelto di fissare $L = 3$ e $g=1.5$, in modo da avere due regioni di controllo con la stessa ampiezza, e $\lambda=0.2$ così da dare più peso alle osservazioni più recenti e meno a quelle lontane nel tempo.

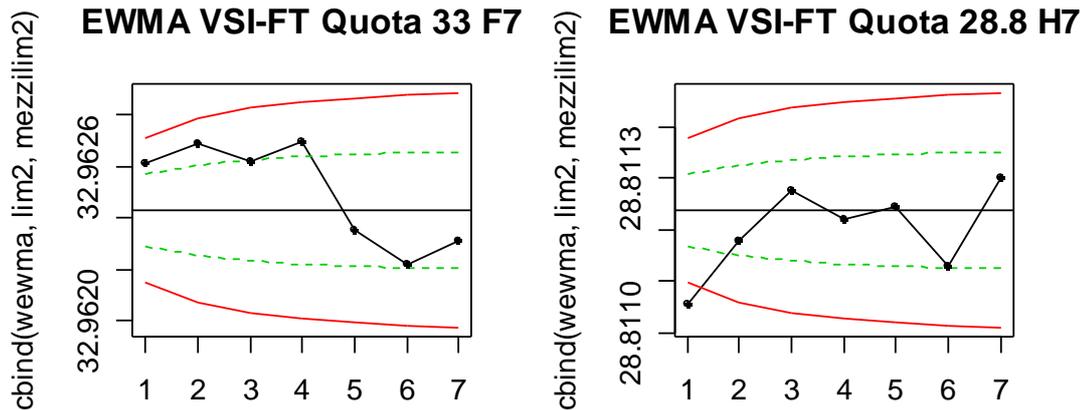


Figura 4.6.1: Carta EWMA VSI-FT a fine controllo.

La figura 4.6.1 si riferisce all'andamento dei nostri dati a fine controllo. Il processo è stato tenuto sotto controllo per due ore. Abbiamo rilevato i campioni a distanza di venti minuti come descritto prima e non siamo dovuti ricorrere a intervalli intermedi in quanto la media dei tre pezzi raccolti cadeva sempre all'interno della zona centrale della carta delimitata dalle linee verdi tratteggiate. Per avere un'ulteriore prova di questo applichiamo la carta EWMA sui ranghi calcolati sugli stessi dati.

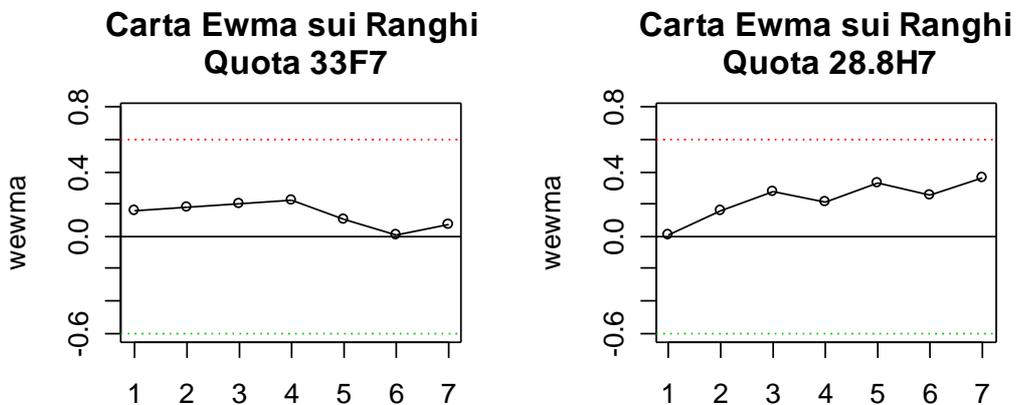


Figura 4.6.2: Grafici dei ranghi relativi alle diverse quote.

Le carte Ewma basate sui ranghi, figura 4.6.2, ci mostrano un processo in controllo per tutta la durata della nostra analisi.

Confrontando questi ultimi grafici con le carte di controllo VSI-FT, figura 4.6.1, si nota che gli andamenti delle carte riferiti alla quota 33F7 sono molto simili. Entrambi infatti evidenziano una fase iniziale di stabilità del processo e poi una deriva dei dati, evidenziata maggiormente nel grafico della carta VSI-FT.

I grafici relativi alla quota 28.8H7 invece hanno andamenti differenti. Il primo in figura 4.6.1, mostra un processo sostanzialmente in controllo, mentre il grafico della carta sui ranghi mostra un lenta ascesa dei dati.

La differenza sostanziale tra una carta Ewma VSI-FT e una non parametrica sui ranghi, sta nel fatto che quest'ultima tiene conto di un campione di dati raccolti precedentemente e quindi può evidenziare maggiormente un salto in media del processo.

Infatti la deriva del secondo grafico è dovuta a quello che avevamo già visto con i boxplot e cioè un salto in media del nostro processo.

4.7. OSSERVAZIONI

Osserviamo quindi che un controllo basato su carte di controllo a intervalli di campionamento variabili con prelievi a tempi fissi permette di identificare al meglio l'andamento della nostro processo.

Lo scopo infatti era quello di esplorare se il processo può essere controllato al meglio con l'uso di questo schema. I grafici presenti in appendice evidenziano quello che abbiamo visto precedentemente e cioè un andamento in controllo. Le carte che si riferiscono a ogni intervallo in cui abbiamo raccolto i nostri dati, evidenziano un curva che rimane all'interno della zona centrale delineata dalle 2 linee tratteggiate in verde (vedi appendice). Con l'ausilio delle carte sui ranghi abbiamo inoltre fornito un'idea ancora più precisa dell'andamento del processo.

CAPITOLO V°

Conclusioni

5. CONCLUSIONI

Il fine ultimo di questa relazione era quello di analizzare tre codici differenti con altrettanti schemi di controllo.

Il primo codice, 427, è stato controllato con la misurazione di un campione sequenziale di dati dalle due macchine in cui il particolare viene prodotto. Su questi è stata svolta un'analisi esplorativa dei dati ed adattato un modello lineare. Abbiamo ricavato che il nostro processo presentava un effetto macchina e un effetto intervento. Si è deciso quindi di dividere il dataset in base all'effetto macchina e quindi di considerare i dati provenienti da due processi distinti. Dall'analisi esplorativa abbiamo constatato la non-normalità dei dati e la forte autocorrelazione. Queste due ultime considerazioni ci hanno portato ad applicare carte di controllo di tipo Shewhart sugli errori di previsione a un passo per controllare se il processo risultasse in controllo e una carta di tipo Ewma Center Line per osservare l'andamento della variabile diametro. Infine abbiamo calcolato gli indici di capacità.

Per quanto riguarda il secondo particolare, la corona dentata 1869, abbiamo rilevato le misure in base allo schema definito dalle carte di controllo sui ranghi. Abbiamo rilevato un campione iniziale sui quali abbiamo svolto una breve analisi esplorativa che ha evidenziato una distribuzione non normale dei dati. La fase successiva prevedeva la raccolta di campioni di ampiezza tre a distanza di 10 minuti. In seguito sono state applicate ai ranghi delle medie una carta Ewma specifica non parametrica, per controllare se il nostro processo sia in uno stato di in-controllo e una carta Ewma standard su tutto l'insieme dei dati osservati.

Il terzo codice, una corona dentata di codice 1737, è stato controllato con un modello di carte di controllo con intervalli di campionamento variabile. Abbiamo anche applicato una carta di controllo basata sui ranghi calcolati sulle medie per verificare se l'azione congiunta delle due carte potesse dare una migliore interpretazione dei dati. Precedentemente però è stato raccolto un campione di trenta dati, sui quali abbiamo fatto un'analisi esplorativa per verificare l'assunto di normalità e abbiamo visto che questo veniva violato.

Alla fine dell'analisi il processo riguardante il codice 427 evidenzia dei fuori controllo solo nel momento in cui l'operatore interviene sulla macchina per riportare il processo verso il valore centrale dell'intervallo di specifica.

Gli indici di capacità calcolati sui due processi distinti presentano un ottimo valore per quanto riguarda il C_p e C_{pk} anche se la differenza di questi evidenzia un processo che non lavora centrato all'interno dei nostri limiti. Dobbiamo anche dire che i coefficienti che abbiamo calcolato, non possono essere considerati completamente attendibili in quanto la normalità dei dati non viene rispettata.

L'obiettivo dell'analisi svolta sul codice 1869 era volta a osservare se l'applicazione di una carta non parametrica potesse descrivere al meglio l'andamento del nostro processo. Quello che siamo riusciti a capire è che lo schema proposto è risultato efficace nel identificare in breve tempo la deriva del processo. Questa potrebbe essere un'alternativa in fase di controllo di processo al costo però di un aumento della frequenza di controllo.

L'obiettivo dell'analisi del codice 1737 era quello di proporre una nuova frequenza di campionamento del processo alternativa a quella attuale. L'attuale tre pezzi ora non è del tutto preciso per spiegare il controllo che viene svolto costantemente da parte degli operatori in fase di lavorazione. Abbiamo deciso quindi di accorciare i tempi fissi ogni venti minuti con l'inserimento di due intervalli intermedi ogni dieci minuti. Come abbiamo visto il processo è risultato in controllo per tutta la durata dell'analisi.

Possiamo concludere dicendo che l'utilizzo di questo schema di controllo potrebbe portare dei vantaggi in termini di descrizione di processo a costo però, di un aumento della frequenza di controllo.

Appendice

⇒ Le funzioni create appositamente per l'applicazione delle carte di controllo sui ranghi e VSI-FT:

- Funzione che calcola i ranghi per le osservazioni singole:

```
"rank"<-function(g,dato)
{
k<-length(g)
x<-c(rep(0,k-1))
for (t in 1:(k-1))
{
if(dato > g[t])
x[t]<-x[t]+1
else
x[t]<-x[t]
}
t<-t+1
x
somma<-sum(x)+1
cat("R* = ", somma, "\n")
rt<-(2/k)*(somma-((k+1)/2))
cat("Rt = ", rt, "\n")
}
```

- Funzione che calcola i ranghi sulla media per campioni di ampiezza > 1:

```
"rankmedie"<-function(g)
{
dati<-scan()
dato<-mean(dati)
k<-length(g)
x<-c(rep(0,k-1))
for (t in 1:(k-1))
{
if(dato > g[t])
x[t]<-x[t]+1
else
x[t]<-x[t]
}
t<-t+1
x
somma<-sum(x)+1
cat("R* = ", somma, "\n")
cat("Media = ", dato, "\n")
rt<-(2/k)*(somma-((k+1)/2))
cat("Rt = ", rt, "\n")
}
```

- Funzione che disegna la carta Ewma di controllo sui ranghi.

```
"EWMAresid"<-function(dati,la,h,g,tit)
{
media<-0
uls<-media+h
lls<-media-h
l<-length(g)
sd<-sqrt(((l^2)-1)/(3*l^2))
cat("SD = ",sd,"\n")
wewma<-ewma(dati,la,media)
matplot(wewma,ylim=c(min(lls,min(dati)),max(uls,max(dati))),type="l"
, lty=1:3,main=tit)
points(wewma)
abline(a=media,b=0)
abline(h=uls,lty=3,col=2)
abline(h=lls,lty=3,col=3)
}
```

- Funzione che disegna la carta di controllo Ewma VSI-FT:

```
"EWMAvsift"<-function(data,la,L,num,tit)
{
dati<-wcamp(data,num)[,1]
media<-mean(dati)
wewma<-ewma(dati,la,media)
sigmacc<-vari(data,num)[3]
lim<-limiti(dati,la,L,media,sigmacc,num)
mezzi<-limiti(dati,la,L/2,media,sigmacc,num)
lim2<-lim[1:length(dati),]
mezzilim2<-mezzi[1:length(dati),]
matplot(cbind(wewma,lim2,mezzilim2),type="l",lty=c(1,1,1,2,2),col=c(
1,2,2,3,3),main=tit)
points(wewma,pch=20)
abline(a=media,b=0)
}
```

- Funzione che calcola i limiti specifici per la carta Ewma VSI-FT:

```
"vari"<-function(data,num)
{
medier<-wcamp(data,num)[,3]
stimaRw<-c(rep(0,length(medier)))
rmedio<-mean(medier)
d2<-
c(1.128,1.693,2.059,2.326,2.534,2.70,2.847,2.970,3.078,3.173,3.258)
d3<-
c(0.853,0.888,0.880,0.864,0.848,0.833,0.820,0.808,0.797,0.787,0.778)
stimaR<-((rmedio/d2[num-1])^2) #stima di sigma basata su R
si2<-(wcamp(data,num)[,2])^2
sigmaw<-(1/(num*length(data)))*(sum(si2))
sigmabcc<-stimaR-sigmaw
sigmacc<-sqrt(sigmaw+sigmabcc)
cat("sigmaW = ", round(sigmaw,digits=4), "\n")
cat("sigmaBCC = ", round(sigmabcc,digits=4), "\n")
cat("sigmaCC = ", round(sigmacc, digits=4), "\n")
risR<-round(c(sigmaw,sigmabcc,sigmacc),digits=4)}
```

⇨ Carte di controllo Ewma VSI-FT calcolate a ogni intervallo:

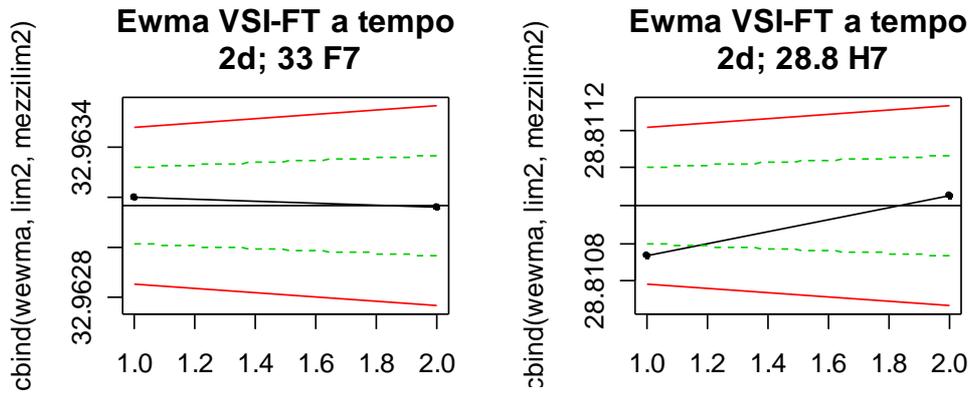


Figura 1: Grafici Ewma VSI-FT dopo la seconda misurazione

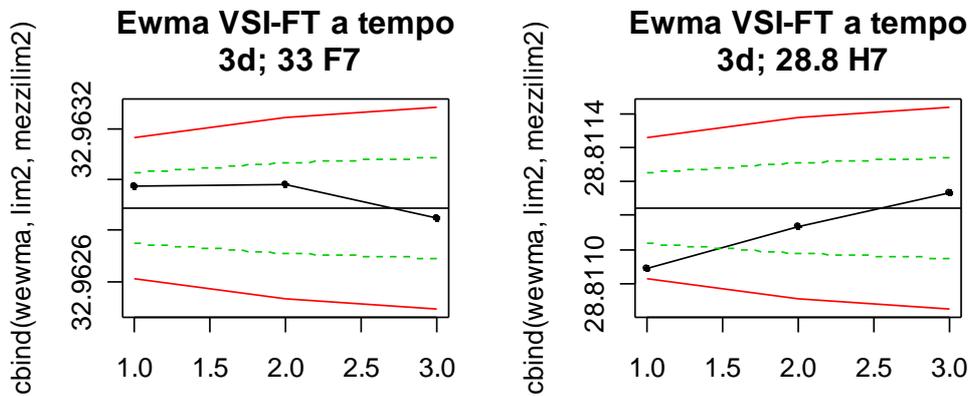


Figura 2: Grafici Ewma VSI-FT dopo la terza misurazione

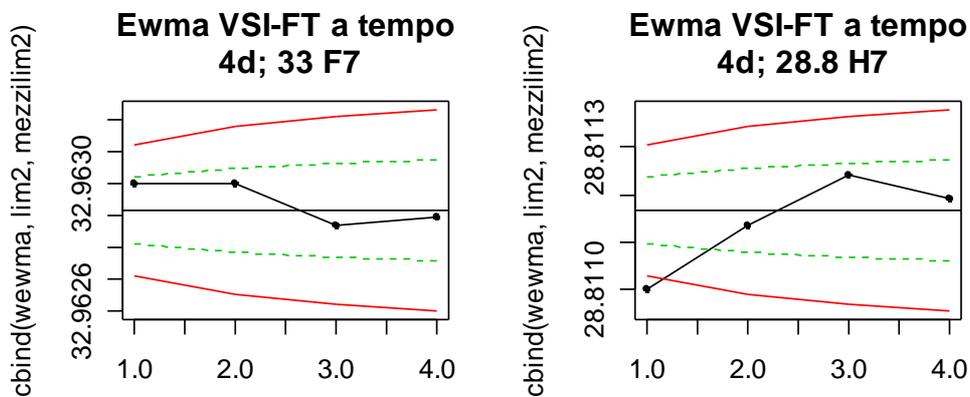


Figura 3: Grafici Ewma VSI-FT dopo la quarta misurazione

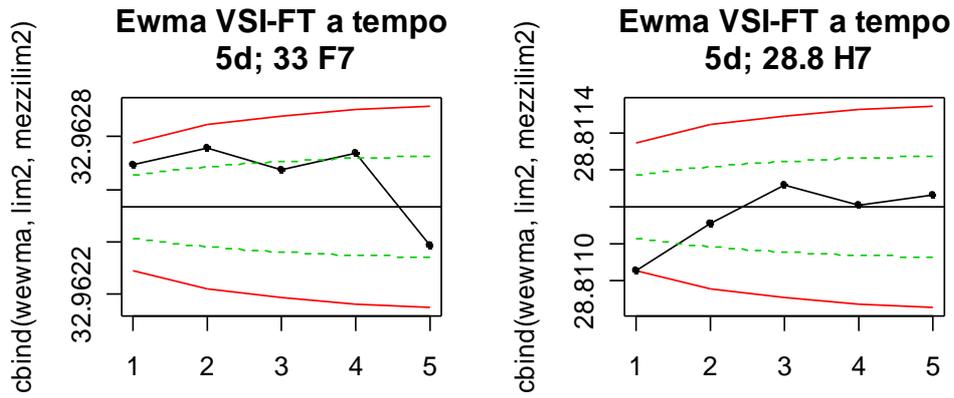


Figura 4: Grafici Ewma VSI-FT dopo la quinta misurazione.

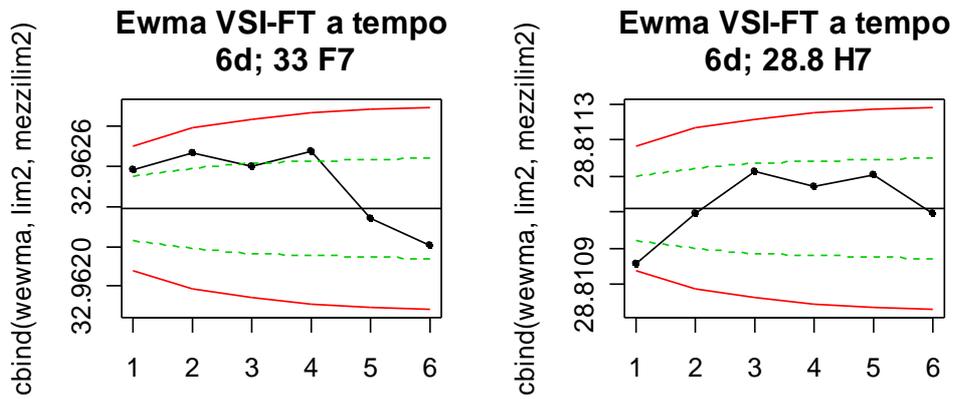


Figura 5: Grafici Ewma VSI-FT dopo la sesta misurazione

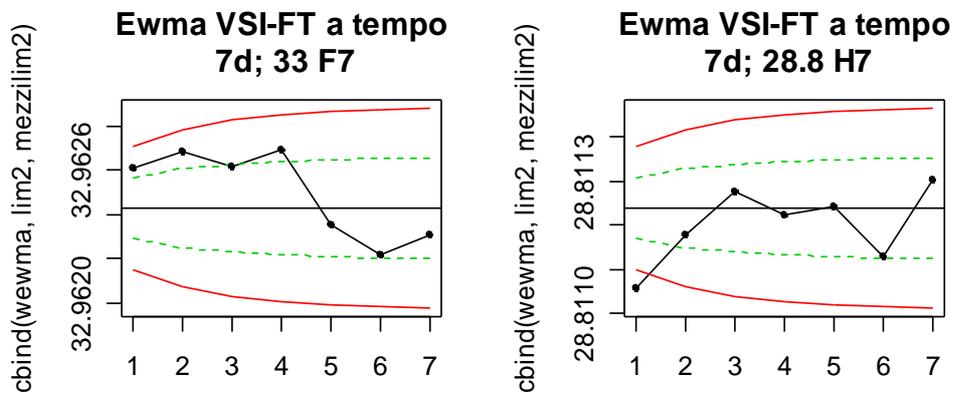


Figura 6: Grafici Ewma VSI-FT dopo la settima misurazione

⇩ Carte di controllo sui Ranghi calcolate a ogni intervallo:

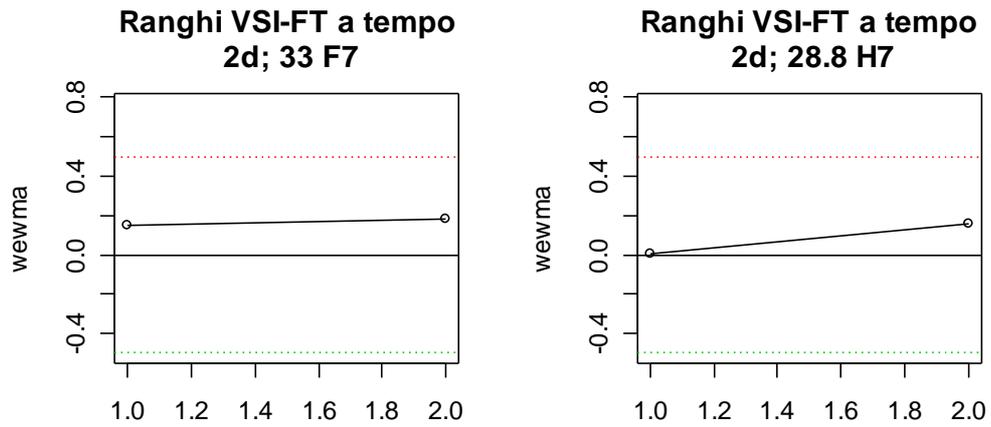


Figura 1: Grafici Ewma Ranghi dopo la seconda misurazione

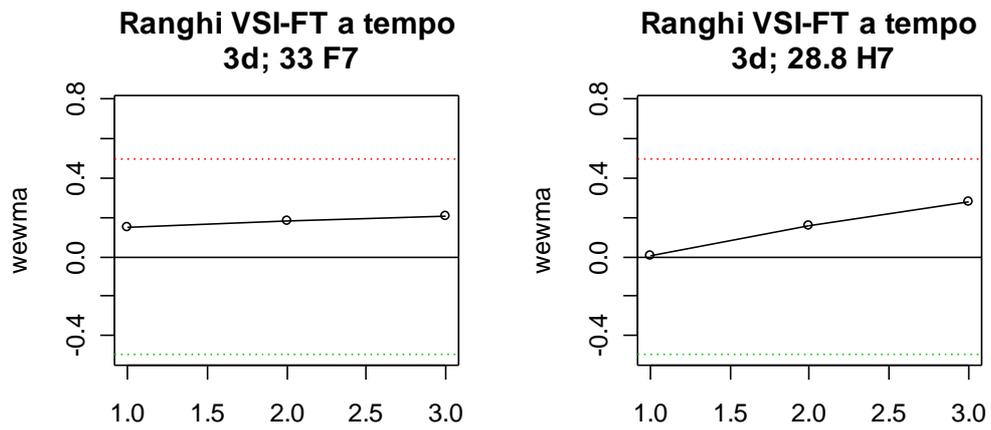


Figura 2: Grafici Ewma Ranghi dopo la terza misurazione

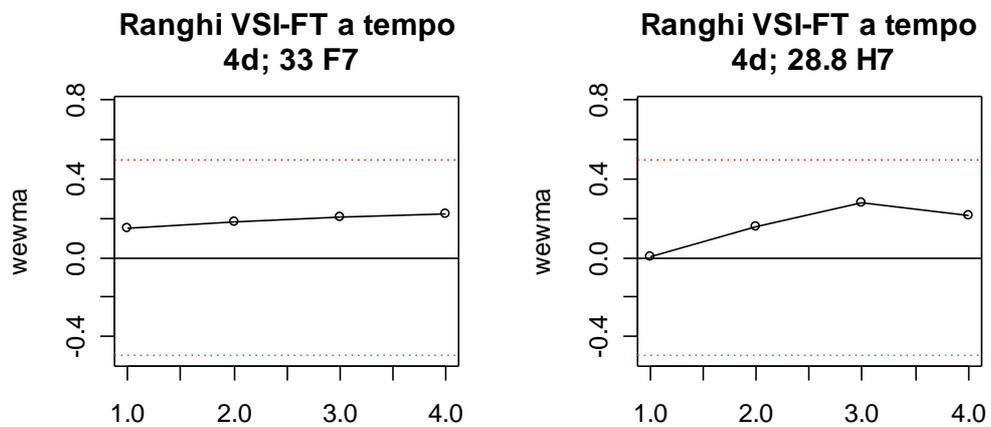


Figura 3: Grafici Ewma Ranghi dopo la quarta misurazione

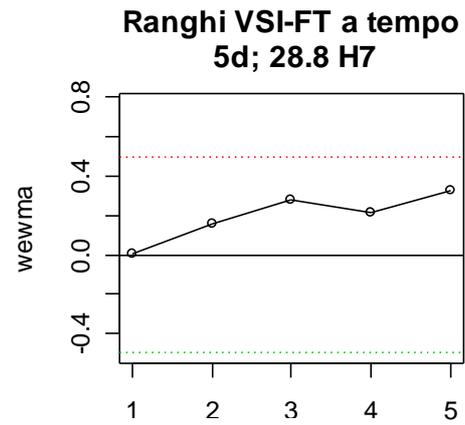
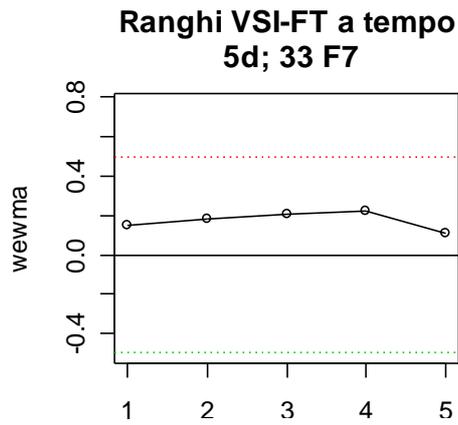


Figura 4:Grafici Ewma Ranghi dopo la quinta misurazione

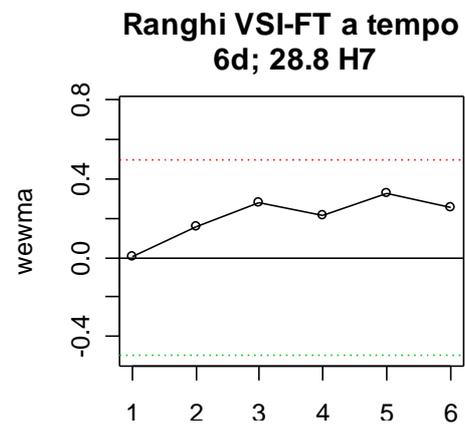
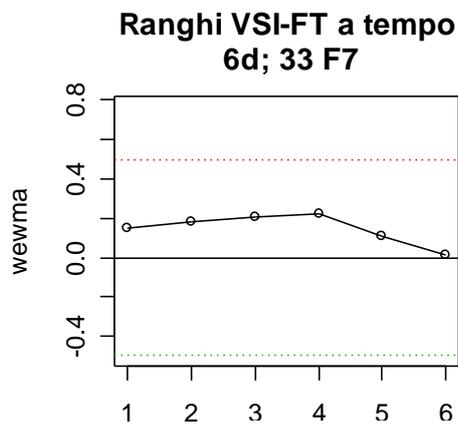


Figura 5:Grafici Ewma Ranghi dopo la sesta misurazione

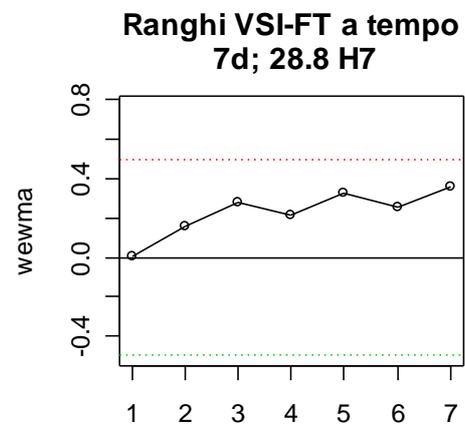
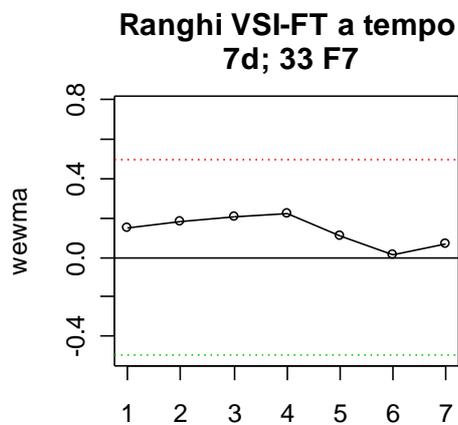


Figura 6:Grafici Ewma Ranghi dopo la settima misurazione

BIBLIOGRAFIA

- Hackl P., Ledolter J. (aprile, 1991), “A Control Chart Based on Ranks”, Journal of Quality Technology 23.
- Marion R. Reynolds, JR (aprile, 1996), “Shewhart and EWMA Variable Sampling Interval Control Charts with Sampling at Fixed Times”, Journal of Quality Technology 28.
- Robert V. Baxley, JR (ottobre, 1995), “An Application of Variable Sampling Interval Control Chart”, Journal of Quality Technology 27.
- “MINITAB Manuale Introduttivo”, GMSL S.r.l., 2003
- MONTGOMERY D.C (2000), “Il controllo statistico della qualità”, McGraw-Hill, 1999.