

# Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

A.a. 2021/2022

Sessione di Laurea: Marzo 2022



## Politecnico di Torino

## **Controllo di qualità dei materiali stradali:**

il caso studio della pavimentazione stradale dei Lotti 1 e 3  
della nuova SS729 Sassari-Olbia

Relatore:

Prof. Ing. Orazio BAGLIERI

Candidato:

Carlo VOLPE  
Matricola: S276360



## **Abstract**

*L'infrastruttura italiana gioca un ruolo molto importante, nel panorama economico nazionale, in quanto rappresenta circa il 40% del patrimonio totale dell'Italia stessa. Per quanto riguarda il costo delle infrastrutture stradali, che indicativamente è stimato essere oltre 1.000 miliardi, aumenta notevolmente se si tiene conto dell'infrastruttura nel suo insieme. In questo contesto, la costruzione moderna di tali opere è di grande importanza non solo in termini di efficienza ma, soprattutto, economici. La realizzazione delle opere stradali, infatti, mira a realizzare un manufatto che nel suo complesso, ed in ogni sua parte, risponda ai requisiti del progetto.*

*Le attività di controllo, di tali opere, oltre ad essere uno strumento indispensabile per validare l'obiettivo preposto, possono anche costituire un valido orientamento per il miglioramento del processo costruttivo. Negli ultimi anni è stata riconosciuta l'importanza di inserire metodi di controllo nei sistemi di assicurazione della qualità. È principalmente nell'interesse del cliente ridurre il rischio di non conformità nelle ispezioni di accettazione finale.*

*La qualità di un prodotto o di un servizio può spesso essere definita dalla sua idoneità all'uso prefissato. Per la costruzione di una strada, questo si traduce nella capacità di adempiere totalmente alla funzione per cui è stata progettata. Pertanto, per garantire la qualità, è necessario considerare la programmazione di appropriati metodi di controllo delle attività di progettazione, costruzione e manutenzione.*

*Di seguito vengono trattati gli aspetti di garanzia e controllo della qualità della fase di realizzazione dei Lotti 1 e 3 della strada statale Sassari Olbia. L'obiettivo finale è, pertanto, quello di valutare se l'opera e le sue parti soddisfino totalmente i requisiti dettati dal Capitolato Speciale d'Appalto Anas.*

*A seguito della summenzionata valutazione, si procede così ad un confronto statistico tra i Lotti degli strati costituenti il manto stradale, che si basa esclusivamente su dati oggettivi, campionati, e non su impressioni riguardanti il processo produttivo, ma opinioni sul prodotto finale.*

# Sommario

<b>1. Premessa.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Controllo e qualità delle opere stradali.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1. Assicurazione qualità.....</b>	<b>8</b>
2.1.1. Qualità e sua determinazione .....	8
<b>2.2. Metodi di controllo statistico.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3. Fondamenti statistici del controllo qualità.....</b>	<b>8</b>
2.3.1. Popolazioni e campioni .....	12
2.3.2. Stima parametrica .....	14
2.3.3. Intervallo di Confidenza .....	15
2.3.3.1. Varianza nota.....	16
2.3.3.2. Varianza incognita .....	18
2.3.4. Intervallo di Tolleranza.....	20
<b>2.4. Verifica del modello.....</b>	<b>21</b>
2.4.1. Verifica di ipotesi statistiche .....	22
2.4.1.1. Procedura del test .....	23
2.4.1.2. Rischio del fornitore e rischio del committente .....	26
2.4.1.3. Rischio di prima specie .....	27
<b>3. Presentazione Caso Studio.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1. Descrizione del tracciato.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2. Lotto 1.....</b>	<b>34</b>
<b>3.3. Lotto 3.....</b>	<b>35</b>
<b>3.4. Sezioni tipo.....</b>	<b>36</b>
<b>4. Controllo di qualità dei conglomerati bituminosi impiegati .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1. Manto Stradale.....</b>	<b>42</b>
4.1.1. Strato di Base .....	42
4.1.1.1. Generalità .....	42
4.1.1.2. Formazione delle miscele .....	42
4.1.1.3. Miscela.....	42
4.1.2. Strato di collegamento (Binder) .....	43
4.1.2.1. Generalità .....	43
4.1.2.2. Miscela.....	43
4.1.3. Strato di Usura Drenante .....	44
4.1.3.1. Generalità .....	44
4.1.3.2. Miscela.....	45
<b>4.2. Controlli e requisiti imposti da Capitolato.....</b>	<b>46</b>
<b>4.3. Modalità di Prova e Parametri ricavati.....</b>	<b>48</b>
<b>4.4. Produzione della conglomerato a caldo .....</b>	<b>50</b>
<b>4.5. Prelievo di conglomerato bituminoso sciolto .....</b>	<b>51</b>
<b>4.6. Caratteristiche prestazionali .....</b>	<b>53</b>

<b>5.</b>	<b><i>Analisi dei Dati</i></b> .....	<b>55</b>
<b>6.</b>	<b><i>Conclusioni</i></b> .....	<b>72</b>
<b>7.</b>	<b><i>Bibliografia</i></b> .....	<b>74</b>
<b>8.</b>	<b><i>Allegati</i></b> .....	<b>75</b>
8.1.	Allegato 1 .....	75
8.2.	Allegato 2 .....	95
8.3.	Allegato 3 .....	115

## 1. Premessa

La presente Tesi nasce a seguito e di conseguenza dell'attività svolta, durante il tirocinio curriculare dal 1 Marzo sino al 31 Maggio 2021, presso il gruppo Anas S.p.a. dal laureando Carlo Volpe.

Il summenzionato tirocinio si è tenuto prevalentemente nel territorio del comune di Ozieri, in provincia di Sassari, prevedeva un'attività a tempo parziale presso il cantiere della costruenda nuova strada extraurbana di Tipo B a quattro corsie "Sassari-Olbia".

L'esperienza formativa, enunciata nel progetto formativo autorizzato dal Politecnico di Torino, previo assenso del Prof. Orazio Baglieri, aveva i seguenti obiettivi:

- *Assistenza alla Direzione dei Lavori sul progetto esecutivo relativo al "Lotto 2 della Strada Statale Sassari-Olbia" sulle opere strutturali quali ponti, viadotti, cavalcavia, tombini idraulici, sottopassi, muri di sostegno, formazione di rilevati stradali e stesura degli strati che vanno a comporre la strada stessa.*

La scelta di svolgere il tirocinio presso la società Anas S.p.a., sulla Sassari-Olbia, è stata dettata dalla consapevolezza che, come meglio specificato più avanti, la suddetta strada è tra le opere pubbliche più importanti d'Italia, in termini economici/strategici, e soprattutto consente al tirocinante di approcciarsi al lavoro, se pure in affiancamento, presso un importante cantiere stradale che, per sua natura, comprende tutte le lavorazioni oggetto del corso di studi della Laurea Magistrale in Ingegneria Civile.

In un cantiere stradale, come quello di cui trattasi, infatti, sono presenti importanti interventi in materia geologica, geotecnica, strutture semplici e complesse quali ponti, viadotti, cavalcavia, tombini idraulici, opere idrauliche complesse e tutta la parte che riguarda il corpo stradale nella sua complessità e, per finire, opere di ingegneria naturalistica, tutte materie oggetto di studio, previste all'interno del percorso universitario, e approfondite nel corso del tirocinio.

Come già detto, a seguito della suddetta attività formativa è stato deciso di elaborare la presente Tesi che si pone l'obiettivo di verificare la conformità dei materiali, attraverso l'assicurazione della qualità basata su metodi statistici, che costituiscono gli strati in

conglomerato bituminoso del corpo stradale, dei Lotti 1 e 3 dell'asse principale della nuova strada extraurbana di Tipo B a quattro corsie "Sassari-Olbia".

## **2. Controllo e qualità delle opere stradali**

La realizzazione delle opere stradali mira a realizzare un manufatto che soddisfi i requisiti del progetto nel suo insieme ed in ogni sua parte. Le attività di controllo, oltre ad essere uno strumento utile e indispensabile per validare tale obiettivo, possono e devono anche costituire una valida guida per il miglioramento dell'opera in realizzazione.

Per garantire la qualità dell'opera in discussione è utile e vantaggioso servirsi di metodi di controllo statistico di processo. Per controllo statistico di processo si intende un insieme di attività che hanno come obiettivo avviare e mantenere un processo che abbia un livello di qualità stabile con tendenza ad un miglioramento.

In questo Tesi si descrivono, anche, gli elementi utili per realizzare un piano di campionamento, associati a metodi di scelta della misura di qualità da utilizzare nella valutazione della conformità. E' necessario porre sufficiente attenzione nelle scelta dei livelli di qualità, dei limiti di accettazione e dei rischi del fornitore e del committente.

### **2.1. Assicurazione qualità**

#### **2.1.1. Qualità e sua determinazione**

Già dal XXI secolo anche nell'ingegneria stradale la qualità è stata definita come uno degli elementi fondamentali nella gestione delle fasi di progettazione e costruzione. Sia gli Enti appaltanti che le imprese esecutrici hanno capito l'importanza di un controllo integrato in un sistema di garanzia della qualità (Quality Assurance, QA).

Gli Enti appaltanti, pubblici o privati, infatti preferiscono prendere in carico un'opera la cui qualità sia stata assicurata da un sistema di controllo di tutte le fasi costruttive. Essere sicuri di non incorrere in una non conformità nei controlli di accettazione finali è un interesse ed anche l'obiettivo del committente che poi gestirà l'opera.

Se si lavora con i principi di garanzia della qualità, le imprese appaltatrici hanno a disposizione una serie di strumenti da utilizzare per il miglioramento delle proprie fasi di

produzione così da ridurre al minimo il rischio di non conformità che può portare a importanti sanzioni o, addirittura, all'abbandono dell'appalto da parte del committente.

La qualità di un prodotto o di un servizio può essere individuata, in linea di massima, dalla sua conformità all'uso per cui è stata progettata. Per una strada, questo si traduce in durabilità, affidabilità, sicurezza ecc.

Per garantire la qualità, in una strada, l'attività di progettazione, di costruzione e di manutenzione devono essere valutate nel loro insieme.

Successivamente verrà affrontato come, sotto l'aspetto legato all'assicurazione della qualità nella fase di costruzione, è necessario procedere. L'obiettivo è quindi quello di valutare la conformità di un'opera e delle sue parti ai parametri progettuali. Questi parametri, detti anche caratteristiche di qualità, devono avere soprattutto la possibilità di essere misurati.

Quindi, se il valore di una caratteristica di qualità può essere espresso su una scala quantitativa continua (peso, lunghezza, contenuto di vuoti, resistenza a compressione ecc.) questo fa parte della categoria delle variabili; se invece il dato misurato è all'interno di una scala discreta, e può essere conteggiato, rientra nella categoria degli attributi.

La più semplice scala di valori discreti è quella che ne comprende soltanto due:

- **“conforme”**
- **“non conforme”.**

E' quindi quello degli elementi (o “pezzi”) conformi o non conformi il conteggio definito più semplice. Il controllo, per variabili o per attributi, quindi, si deve sempre basare su dati oggettivi e non su impressioni che possano riguardare la fase di produzione oppure opinioni sul prodotto finito.

## **2.2. Metodi di controllo statistico**

Costruire una strada, o un qualsiasi altro prodotto, le cui caratteristiche di qualità siano approssimativamente costanti, è difficile e necessita di ingenti risorse. Questo è dovuto alla variabilità che caratterizza tutti i processi reali. Per garantire la qualità, i metodi

statistici rappresentano uno strumento fondamentale in quanto la variabilità può essere descritta e caratterizzata per mezzo degli stessi.

Per misurare una caratteristica di qualità, generalmente, si utilizzano parametri statistici come il valore medio, la deviazione standard, la frazione di elementi non conformi ecc. Questi parametri sono anche denominati misure di qualità e il loro impiego nel linguaggio corrente è spesso implicito.

Bisogna sempre tenere conto della natura statistica dei parametri che si utilizzano come misure di qualità. Proprio a causa della variabilità, la loro determinazione è infatti sempre dubbia. Decidere quindi, sulla base dei valori assunti dalle misure di qualità (livelli di qualità), queste decisioni potrebbero portare sempre ad un rischio.

Quindi, quando si studiano i controlli di qualità, i metodi statistici hanno sempre una funzione fondamentale. Essi permettono di riconoscere le condizioni per la raccolta dei dati, valutarne la quantità di quelli utili e decidere come questi debbano essere analizzati. Ridurre al minimo il rischio di prendere decisioni sbagliate, sia da parte dell'appaltatore (fase di gestione del processo) sia da parte dell'Ente appaltante o committente (accettazione del prodotto), è l'obiettivo che bisogna raggiungere.

I metodi statistici di assicurazione della qualità si possono suddividere:

1. (*Statistical Process Control, SPC*), il controllo statistico di processo detto anche controllo statistico di qualità (*Statistical Quality Control, SQC*);
2. (*Acceptance Sampling*) il campionamento in accettazione;
3. (*Design of Experiments*) l'esecuzione di esperimenti programmati.

Il controllo statistico di processo o di qualità ci consegna gli strumenti fondamentali per controllare e migliorare la qualità di un prodotto o opera finita. E' esclusivamente l'appaltatore o il produttore che può attuare l'SPC in quanto l'unico ad avere la possibilità di intervenire direttamente sulle fasi di un processo lavorativo: materiali, personale, macchine e criteri di costruzione.

Un impianto per la produzione di conglomerato bituminoso, per esempio, trasforma le materie prime (inerti, bitume, additivi) in un prodotto finito che deve avere una serie di caratteristiche di qualità, generalmente presenti nel contratto di fornitura attraverso un

Il dosaggio dei componenti e le caratteristiche delle materie prime, che solo alcuni degli elementi del processo produttivo, si possono controllare con facilità, altri invece, come le condizioni climatiche, sono imprevedibili. Questi elementi, insieme, servono a definire il valore delle caratteristiche di qualità e la loro variabilità.

Le caratteristiche di qualità del prodotto finito come la portanza e la stabilità dipendono dalla capacità del costruttore di tenere sotto controllo le grandezze in gioco e, qualora fosse utile, ottimizzare il processo costruttivo.

Le tecniche di controllo statistico del processo mettono a disposizione gli strumenti per determinare gli scostamenti del valore nominale e della variabilità del processo e collegarli ai fattori che li hanno determinati.

Agendo in maniera adeguata su questi fattori è possibile regolare la qualità del prodotto in uscita.

Nei materiali stradali, la messa a punto e il miglioramento di un sistema di controllo statistico della qualità, è spesso dato per scontato dalla gran parte delle normative tecniche di settore.

Con il termine campionamento per l'accettazione si individuano le attività di verifica fatte dall'appaltatore o dal committente sul prodotto finito, riferite all'accettazione del prodotto, al suo rigetto o all'applicazione di penali.

Quindi, anche se si tratta di definire la qualità del prodotto e metterla in raffronto con i livelli fissati dalle specifiche, il campionamento in accettazione è essenzialmente diverso dal controllo di processo. Infatti, il suo compito, si limita solamente quantificazione del livello di qualità, secondo criteri già stabiliti, senza alcun riferimento al suo controllo o miglioramento. In definitiva, i controlli di accettazione non devono essere utilizzati come strumento per migliorare la qualità del prodotto.

La normativa tecnica nazionale e internazionale suggerisce la terminologia ed i simboli da utilizzare e, con i termini fornitore e committente, individua i principali artefici del processo produttivo, che è stato precedentemente citato, e che ha indicato come produttore e cliente.

## **2.3. Fondamenti statistici del controllo qualità**

### **2.3.1. Popolazioni e campioni**

La statistica è la scienza che guida nella formulazione di scelte sulla base dei dati a disposizione. Ciò che consente di ottenere informazioni fondamentali dai dati ricavati durante i controlli e prendere decisioni utili e indispensabili, sono gli strumenti statistici.

Il contenuto di un'attività di controllo, è quello dell'analisi statistica a esso collegata, si può identificare con il nome di lotto, che è un'entità fisica che può essere identificata, ispezionata e testata, in maniera parziale o totale. Per il controllo di una caratteristica di qualità il lotto viene esaminato attraverso una serie di prove. Dal punto di vista probabilistico le grandezze che, così come le caratteristiche di qualità, vengono ricavate dal risultato di una prova il cui esito non è noto a priori, sono denominate variabili aleatorie, e sono indicate con una lettera maiuscola. Gli esiti di una prova, ossia i valori ricavati da una variabile aleatoria, sono detti osservazioni e sono indicate con una lettera minuscola. Si indica con il termine popolazione l'insieme teoricamente infinito di tutte le osservazioni probabili di una caratteristica di qualità per il lotto preso in esame. Le popolazioni sono fatte dai valori assunti dalle variabili aleatoria, le quali identificano le caratteristiche di qualità.

Partendo dal fatto che la caratteristica di qualità è una variabile, le osservazioni potrebbero essere impiegate per costruire un istogramma delle frequenze. È importante ipotizzare che, avendo un numero maggiore delle osservazioni tale da includere teoricamente la popolazione intera, l'istogramma potrebbe essere sostituito con una distribuzione di frequenza che è una curva continua. I suoi punti, rappresentando delle frequenze, sono sempre positivi.

La distribuzione di frequenza potrebbe essere traslata in modo tale che l'area sottostante la curva, compresa tra la curva stessa e l'asse delle ascisse, abbia valore unitario (frequenza relativa). In questo modo, è possibile ottenere una funzione  $f(x)$  identificata come densità di probabilità che rappresenta la distribuzione di probabilità della variabile aleatoria  $X$ .

Impiegando l'interpretazione frequentistica è possibile associare una misura di probabilità a una variabile aleatoria attraverso la relazione:

$$P(a < X < b) = \int_a^b f(x)dx$$

Nel campo dei controlli di qualità la distribuzione di frequenza di gran parte delle grandezze analizzate assume un andamento simile a quello di figura sottostante (Fig. 1). La classica forma a campana identifica tutte quelle grandezze la cui variabilità dipende da un numero elevato di cause, in cui nessuna di queste prevale sulle altre. In questo caso, “il teorema del limite centrale consente di affermare che, qualunque sia la distribuzione delle singole cause che producono la variabilità, la distribuzione della popolazione può essere approssimata utilizzando una funzione di densità normale o gaussiana” (1):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

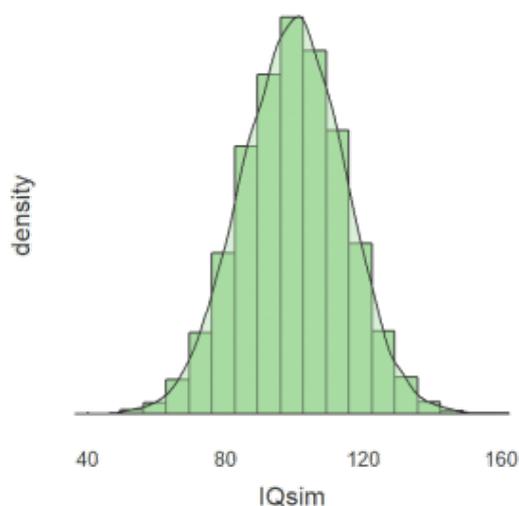


Figura 1

I parametri  $\mu$  e  $\sigma^2$  sono la media e la varianza della popolazione. Considerando che una determinata caratteristica di qualità abbia una funzione di densità normale, ovvero sia normalmente distribuita, è possibile identificarla con la notazione  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ .

In una distribuzione normale, la media e la varianza sono parametri indipendenti: la conoscenza di  $\mu$  non fornisce informazioni sul valore di  $\sigma^2$ , e viceversa. In una distribuzione normale, la media coincide con il valore centrale della distribuzione (mediana) e con quello più probabile (moda).

Invece, la varianza e la deviazione standard misurano la dispersione dei valori della popolazione. In modo particolare, l'intervallo  $\mu \pm 3\sigma$  comprende circa il 99,7% dell'area della gaussiana:

$$P(\mu - 3\sigma \leq X \leq \mu + 3\sigma) = 99,7\%$$

L'ipotesi che le caratteristiche di qualità siano distribuite normalmente è alla base di gran parte delle applicazioni del controllo statistico. I parametri della distribuzione, media e varianza, sono perciò le misure di qualità indispensabili la cui conoscenza consente di identificare la qualità del prodotto.

Per questo motivo, uno degli obiettivi del controllo statistico di processo è quello di verificare le ipotesi di normalità.

### **2.3.2. Stima parametrica**

Le statistiche campionarie non forniscono solo informazioni sulla tendenza centrale ( $\bar{x}$ ) e sulla dispersione ( $s$ , CV) del campione di riferimento, ma sono utilizzate anche per la stima dei parametri della popolazione da cui esso proviene. In particolar modo la media e la varianza campionaria ( $\bar{x}$ ,  $s^2$ ) potrebbero essere adoperate per stimare in maniera valida la media e la varianza della popolazione ( $\mu$ ,  $\sigma^2$ ).

Qualora invece si adoperasse, per la stima della deviazione standard della popolazione ( $\sigma$ ), la deviazione standard campionaria ( $s$ ), si potrebbe commettere con buona probabilità un errore sistematico (bias) che è dipendente dalla dimensione del campione.

Le statistiche campionarie, come le osservazioni da cui sono state calcolate, sono variabili aleatorie. In modo particolare, nel caso in cui la popolazione sia dotata di una distribuzione normale, anche la media campionaria  $\bar{s}$  dovrebbe avere una distribuzione normale con la stessa media  $\mu_x = \mu$ , e con varianza  $\sigma_x = \sigma/n$ ; questo potrebbe essere indicato con la notazione  $X \sim N(\mu, \sigma/\sqrt{n})$ .

Inoltre, sempre in virtù del teorema del limite centrale, è possibile affermare che, aumentando la dimensione del campione,  $\bar{x}$  potrebbe assumere una distribuzione che si assomiglia sempre più a quella normale, qualunque sia la distribuzione della popolazione.

Tutto questo ha un'elevata importanza nell'ambito dei controlli di qualità. Infatti, anche nel caso in cui la distribuzione della caratteristica di qualità in esame si discosta in dalla normale in maniera significativa, è ancora possibile impiegare tutti i risultati ottenuti sotto questa ipotesi tenendo presente che è necessario considerare campioni di dimensione adeguata.

L'impiego di un campione, composto da più osservazioni, consente di stimare sia il valore puntuale di un parametro, denominato valore "vero" o "verosimile", sia la sua variabilità, perciò, è possibile valutare anche la precisione della stima.

### **2.3.3. Intervallo di Confidenza**

“Un modo per esprimere la precisione, della stima sopra citata, consiste nel fissare i limiti di confidenza, all'interno dei quali si può collocare, con una certa fiducia, il valore del parametro. Il livello di fiducia o livello di confidenza della stima è di solito fissato a priori assegnando un valore piuttosto elevato, variabile in funzione del problema esaminato. I valori più comuni sono 90%, 95%, fino a 99%.

I limiti di confidenza di utilizzo più comune sono quelli della media, anche se, nel controllo qualità sono ampiamente impiegati anche quelli della deviazione standard; per il loro calcolo è necessario conoscere la distribuzione delle osservazioni. Anche in questo caso l'ipotesi di normalità è comunemente accettata nel campo dei controlli di qualità: per la media, in virtù del teorema del limite centrale, tale ipotesi può comunque essere

ritenuta valida mentre per la deviazione standard, la non-normalità dei dati limita notevolmente la validità dei limiti di confidenza” (1).

Immaginiamo di prendere in considerazione una variabile statistica quantitativa  $X$  che si ripartisce nella popolazione di campioni di riferimento con media  $\mu$  e varianza  $\sigma^2$ . Si prova a costruire un intervallo di confidenza per  $\mu$  al livello  $1 - \alpha$  sulla base di un campione casuale semplice

$$x_1 \dots x_n$$

di dimensione  $n$ . E' indispensabile differenziare il caso in cui la varianza della popolazione  $\sigma^2$  è conosciuta da quello in cui tale varianza è incognita.

### 2.3.3.1. Varianza nota

Siamo in presenza di un caso fin troppo raro nelle applicazioni, ma in certe situazioni è possibile che indagini eseguite precedentemente a quella eseguita rendano possibile una conoscenza fedele della varianza  $\sigma^2$ . La costruzione di un intervallo di confidenza per  $\mu$  sotto l'assunzione di varianza nota, si fonda sul risultato che segue: la media campionaria

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

è una variabile incerta che si ripartisce pressappoco come una normale

$$N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right)$$

e questa approssimazione va a migliorare man mano che aumenta la dimensione campionaria  $n$ .

Se così impieghiamo la media campionaria come elemento di stima della media della popolazione, il fatto che la sua ripartizione sia focalizzata sul valore reale del parametro  $\mu$  denota che  $\bar{x}$  è uno stimatore non falsato. Ancora, il rapporto  $\frac{\sigma^2}{n}$  misura l'esattezza dello

stimatore: come ci si potrebbe attendere, tale precisione è tanto minore quanto più elevata è la varianza  $\sigma^2$  e tanto maggiore quanto più elevata è la dimensione campionaria  $n$ .

In alcuni casi, la variabile  $X$  si ripartisce fedelmente come una normale: solo in questi casi  $\bar{x}$  si ripartisce fedelmente secondo la normale  $N(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$ . In tutte le altre circostanze, la ripartizione della media campionaria è solo approssimata e dunque i risultati che ne scaturiscono valgono approssimativamente, benché è fondamentale ricordare che la qualità dell'approssimazione migliora in rapporto all'aumento di  $n$ .

Dal fatto  $\bar{x} \sim N(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$  che, si deduce che

$$\frac{\bar{x} - \mu}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}} \sim N(0,1)$$

Per ogni valore di probabilità  $1 - \alpha$ , possiamo quindi dire che

$$P\left(-z_{\alpha/2} \leq \frac{\bar{x} - \mu}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}} \leq z_{\alpha/2}\right) = 1 - \alpha$$

dove  $z_{\alpha/2}$  è il quantile della normale di ordine  $1 - \alpha/2$ , ovvero il punto che si lascia a sinistra un'area sotto la normale pari a  $1 - \alpha/2$ . Per esempio, se  $1 - \alpha = 0.95$ , quindi  $z_{\alpha/2} = 1.96$  (il calcolo del quantile  $z_{\alpha/2}$  che corrisponde al livello di probabilità  $1 - \alpha$  va completato utilizzando le tavole appropriate).

Un intervallo di confidenza può allora essere costruito in questo modo:

$$P\left(\bar{x} - z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}\right) = 1 - \alpha$$

In altri termini, è pressappoco uguale a  $1 - \alpha$  la probabilità che i due estremi dell'intervallo

$$\bar{x} - z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}, \bar{x} + z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}$$

includano il valore “vero” della media  $\mu$  della popolazione campionaria.

Quello appena creato è un intervallo di confidenza per la media  $\mu$  al livello  $1-\alpha$ . Il valore  $1-\alpha$  indica il livello di copertura dato dall’intervallo: esiste sempre una probabilità pari ad  $\alpha$  che i dati campionari arrivino da una popolazione campionaria con una media che si colloca al di fuori dell’intervallo.

Si consideri che l’intervallo che abbiamo creato è inquadrato sulla stima puntuale della media  $\bar{x}$  e ha un “raggio” pari a

$$z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}$$

la cui lunghezza dipende sia dal livello di copertura atteso (da cui dipende il quantile  $z_{\alpha/2}$ ), sia dal grado di precisione dello stimatore misurato dalla quantità

$$\sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}$$

meglio nota come errore standard della stima.

### 2.3.3.2. Varianza incognita

Nella maggior parte delle applicazioni, è difficile avere una stima attendibile della varianza  $\sigma^2$  della popolazione campionaria ed è preferibile generalmente stimarla sulla base del campione estratto. Una stima non alterata della varianza della popolazione è data da

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{n}{n-1} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x}^2 \right)$$

che non è altro che la varianza campionaria corretta dal fattore  $\frac{n}{n-1}$ . Questa correzione dipende dal fatto che, per piccole campionature, la varianza campionaria è uno stimatore distorto della varianza della popolazione, cioè la sua ripartizione campionaria non ha come valore atteso il valore vero del parametro  $\sigma^2$ . Per grandi campioni, il fattore di correzione  $\frac{n}{n-1} \approx 1$  e dunque l'utilizzo della varianza campionaria assegna stime attendibili della varianza della popolazione.

In questo caso, per costruire un intervallo di confidenza della media  $\mu$  della popolazione, occorre valersi del fatto che la ripartizione della variabile aleatoria

$$\frac{\bar{x} - \mu}{\sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{n}}}$$

segue all'incirca quella di una  $t$  di Student con  $n - 1$  gradi di libertà, dove  $n$  è la dimensione del campione estratto e che tale approssimazione cresce all'aumentare di  $n$ . La distribuzione  $t$  di Student è molto simile a quella di una normale standardizzata.

Infatti essa è centrata sullo  $0$  e simmetrica rispetto ad esso e si differenzia dalla distribuzione normale in quanto ha delle code più pesanti, ovvero valori distanti dallo  $0$  hanno una probabilità di essere estratti maggiore di quella che avrebbero avuto se fossero stati estratti da una normale standardizzata. Queste differenze diminuiscono sempre più con l'aumento della numerosità campionaria, quindi quando è molto elevato, si può utilizzare la distribuzione normale standardizzata al posto della  $t$ .

La costruzione dell'intervallo di confidenza segue linee assimilabili a quelle mostrate nella precedente sezione. Pertanto con  $t_{n-1, \alpha/2}$  si indica il quantile di ordine  $1 - \alpha/2$  di una  $t$  di Student di  $n - 1$  gradi di libertà, ovvero il punto che si lascia a sinistra un'area sotto la  $t$  pari a  $1 - \alpha/2$ .

Un intervallo di confidenza può allora essere identificato come segue:

$$P\left(-t_{n-1, \alpha/2} \leq \frac{\bar{x} - \mu}{\sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{n}}} \leq t_{n-1, \alpha/2}\right) = 1 - \alpha$$

$$P\left(\bar{x} - t_{n-1, \alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{n-1, \alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{n}}\right) = 1 - \alpha$$

In altre parole, è all'incirca uguale a  $1 - \alpha$  la probabilità che i due estremi dell'intervallo

$$\bar{x} - t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{n}}, \bar{x} + t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{n}}$$

contengano il valore “vero” della media  $\mu$  della popolazione campionaria.

### 2.3.4. Intervallo di Tolleranza

Gli intervalli di tolleranza sono uno strumento molto utile nell'ambito dei controlli.

A differenza degli intervalli di confidenza, i quali forniscono dei limiti per i parametri di una popolazione, un intervallo di tolleranza è un intervallo statistico in cui, con alcun livello di fiducia, una frazione  $\gamma$  specificata di una popolazione provata rientra. Più specificatamente, il valore  $100\gamma$  è anche detto percentuale di copertura della popolazione. E' possibile individuare così l'intervallo di tolleranza  $100:100(1-p)$  al cui interno si ha il 100% di confidenza che ricada una percentuale  $100(1-p)$  della popolazione.

Un intervallo di tolleranza può esser visto come una versione statistica di un intervallo di probabilità.

Se conoscessimo i parametri esatti  $\mu$  e  $\sigma$  di una popolazione, saremmo capaci di computare una gamma in cui una proporzione certa,  $\gamma = (1 - p)$ , della popolazione rientra.

$$\mu - z_{p/2}\sigma < x < \mu + z_{p/2}\sigma$$

In cui  $z_{p/2}$  è il quantile di ordine  $p/2$  dell  $N(0,1)$ , che troviamo in apposite tabelle.

Se non conoscessimo i parametri esatti  $\mu$  e  $\sigma$  di una popolazione, un intervallo di tolleranza viene stimato partendo da statistiche campionarie  $\bar{x}$  e  $s$  e introduce un livello

di fiducia o di confidenza  $100(1-\alpha)$ , che è la fiducia con cui questo intervallo veramente include la proporzione specificata della popolazione.

$$\bar{x} - ks < x < \bar{x} + ks$$

Il parametro  $k$ , detto anche fattore di tolleranza, dipende dal livello di confidenza  $100(1-\alpha)$ , dalla frazione della popolazione contenuta nell'intervallo  $100(1-p)$  e dalle numerosità del campione.

Il valore del parametro  $k$  si può trovare in apposite tabelle, in cui si può notare l'importanza della dimensione del campione, infatti quando  $n \rightarrow \infty$ , i valori di  $k$  tendono a quelli dei quantili della  $N(0,1)$ .

## 2.4. Verifica del modello

Il controllo statistico della qualità è basato sulla stima dei valori delle misure di qualità (parametri della popolazione) attraverso le statistiche campionarie. La stima può essere identificata con il modello seguente:

$$\bar{x} = \mu + e$$

In cui  $\bar{x}$  rappresenta la statistica campionaria calcolata a partire dai dati,  $\mu$  è il parametro che bisogna stimare ed  $e$  è l'errore. Una scelta opportuna della statistica ( $\bar{x}$  per la media della popolazione,  $s^2$  per la varianza) ci assicura che gli errori abbiano media nulla.

Le analisi statistiche dei dati si basano sulle seguenti ipotesi che riguardano la distribuzione degli errori:

- indipendenza;
- normalità;
- omoschedasticità (varianza costante);

e che è possibile riassumere con la notazione  $e \sim NID(0, \sigma)$ .

L'indipendenza degli errori implica l'assenza di correlazione tra di essi nel tempo o nello spazio.

### **2.4.1. Verifica di ipotesi statistiche**

Le decisioni prese nel campo delle procedure di assicurazione della qualità sono spesso motivo di scelta tra due soluzioni alternative, come l'accettazione o il rifiuto di un prodotto. Queste decisioni potrebbero essere supportate attraverso il ricorso a un test statistico.

L'ipotesi statistica è una supposizione che interessa una o più caratteristiche, sconosciute, della distribuzione di probabilità di una variabile casuale. Le distribuzioni di probabilità in questo campo rappresentano la popolazione dei valori di una caratteristica di qualità e per questo motivo un'ipotesi statistica potrebbe essere identificata come un'affermazione sulla qualità di un prodotto.

La supposizione fatta non si riferisce ad una sola osservazione o alla media campionaria, che sono valori deterministici conosciuti, ma riguarda un parametro, che è per definizione non noto.

Per ottenere definizioni più chiare, si può utilizzare la teoria della verifica delle ipotesi, sulla base delle quali è possibile stimare le disuguaglianze che si osservano tra il parametro e la statistica.

La decisione è rafforzata da un punto di vista quantitativo, valutando la probabilità di ottenere un determinato risultato campionario, qualora le ipotesi fatte fossero corrette.

Questa probabilità si può ottenere identificando in primis la distribuzione campionaria della statistica considerata, come la media campionaria, e successivamente si procede con il calcolo della probabilità che il test statistico possa assumere il valore esaminato corrispondente al campione estratto.

La distribuzione campionaria del test statistico è di solito una distribuzione statistica nota, così come la t-student o distribuzione normale, e per questo motivo è possibile adoperare tali distribuzioni per decidere se rifiutare o accettare l'ipotesi nulla fatta  $H_0$  a favore dell'ipotesi alternativa  $H_1$ .

Consiste nel suddividere lo spazio campionario in due sottoinsiemi: zona di accettazione e zona di rifiuto. In ogni caso, visto che solitamente non si analizza l'intera popolazione, è possibile che l'esito della verifica, e la decisione che ne scaturisce, siano errati.

#### **2.4.1.1. Procedura del test**

Un test statistico permette di verificare attraverso di un grado elevato di fiducia una ipotesi nulla  $H_0$  originariamente fatta, riferita ad un fenomeno che si sta analizzando.

Il test è praticamente una procedura di calcolo che si fonda su un'analisi di dati numerici che si hanno a disposizione,.

Questi dati vengono interpretati come dei valori di una determinata variabile aleatoria.

In conclusione il suddetto procedimento di calcolo fornisce un numero, un test statistico, che consente di accettare oppure di rifiutare l'ipotesi nulla, a favore dell'ipotesi alternativa.

Un test statistico sulla media di una popolazione ( $m$ ) può essere formalmente espresso nel modo seguente:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

dove  $\mu_0$  è un valore fissato. L'ipotesi nulla è stata formulata in modo tale da essere soddisfatta per un unico valore della media, mentre l'ipotesi alternativa è soddisfatta da un insieme di valori. Quando, come in questo caso,  $H_1$  è soddisfatta per valori sia maggiori che minori di quello specificato da  $H_0$ , essa è detta bilaterale e si parla di test a 2 code.

Un'ipotesi alternativa monolaterale può invece essere formalmente espressa nel modo seguente

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu < \mu_0$$

Nel caso in cui si rifiuta l'ipotesi nulla automaticamente viene accettata l'ipotesi alternativa. Nel campo dei controlli per la garanzia di qualità, il valore di riferimento è generalmente stabilito in due modi. Durante la fase di controllo di processo,  $\mu_0$  è solitamente un valore che deriva da misure o monitoraggi che sono stati effettuati precedentemente.

In questo caso, lo scopo della verifica è quello di identificare le variazioni delle caratteristiche di qualità di un prodotto provocate da un funzionamento non consono del processo. Durante fase di controllo per l'accettazione, il valore di riferimento è invece fissato da una norma o da una specifica di progetto, proveniente dal Capitolato Speciale d'Appalto.

Lo scopo principale è perciò quello di verificare la conformità del prodotto, senza tener presente il processo da cui è stato ottenuto.

Per poter verificare l'ipotesi nulla è essenziale ottenere un campione casuale della popolazione presa in esame e quindi ricavare una statistica test.

Se il valore di  $x$  non si discosta eccessivamente da  $\mu_0$ , è ragionevole assumere che i dati sperimentali confermino  $H_0$ , l'ipotesi nulla, al contrario un valore  $\bar{x}$  troppo differente da  $\mu$  porterebbe portare al rifiuto dell'ipotesi nulla e a confermare così quella alternativa.

La distribuzione campionaria della statistica test è suddivisa in due regioni se si prende in considerazione un test a due code, individuate dai limiti  $L_1$  e  $L_2$  (valori critici) :

- una regione critica, in cui l'ipotesi nulla è rifiutata se  $x < L_1$  o  $x > L_2$
- una regione di accettazione, in cui l'ipotesi nulla si accetta se  $L_1 < x < L_2$

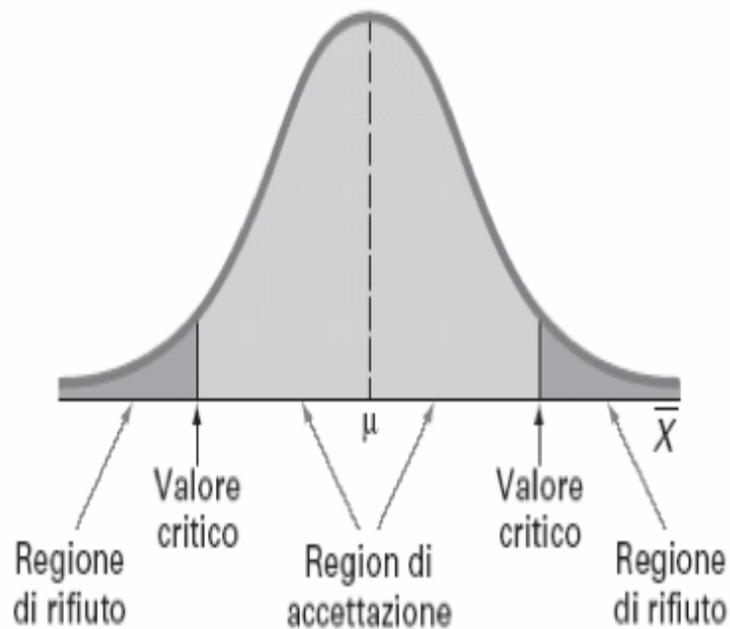


Figura 2

Qualora la statistica test ricadesse nella regione di accettazione, l'ipotesi nulla non potrebbe essere rifiutata. Invece se la statistica test ricadesse nella regione di rifiuto, l'ipotesi nulla dovrebbe essere rifiutata. (Fig. 2)

E' possibile considerare la regione di rifiuto come la totalità dei valori del test statistico che non si verificano con buona probabilità qualora l'ipotesi nulla è vera, mentre questi valori si verificano con buona probabilità quando l'ipotesi nulla non è vera.

Per prendere una decisione sull'ipotesi nulla, bisogna in primis identificare le regioni di rifiuto e di accettazione che viene fatto calcolando il valore critico della statistica test sopra citato.

Il calcolo di questo valore è legato dall'ampiezza della regione di rifiuto, che è a sua volta dipendente al rischio implicato dal prendere una decisione sul parametro sulla base delle sole informazioni campionarie

In un test a una coda la regione critica comprende solamente i valori maggiori (o minori) del valore critico.

### 2.4.1.2. Rischio del fornitore e rischio del committente

Quando si applica un procedimento di verifica di ipotesi, è possibile commettere due tipi di errore:

- se si rifiuta l'ipotesi nulla, quando essa è corretta si parla di errore di prima specie;
- se non si rifiuta l'ipotesi nulla, quando essa non è corretta si parla di errore di seconda specie.

Situazione reale	Esito del test	
	si accetta $H_0$	si rifiuta $H_0$
$H_0$ è corretta	no Errore	Errore di prima specie
$H_0$ non è corretta	Errore di seconda specie	no Errore

$$\alpha = P(\text{errore di prima specie}) = P(\text{si rifiuta } H_0 \text{ quando } H_0 \text{ è corretta})$$

$$\beta = P(\text{errore di seconda specie}) = P(\text{non si rifiuta } H_0 \text{ quando } H_0 \text{ non è corretta})$$

La probabilità di commettere un errore di prima specie è denominata anche livello di significatività del test.

Nel campo della verifica delle ipotesi, è possibile formulare nel seguente modo un problema generico di controllo statistico della qualità:

$$H_0: \{\text{il lotto rispetta le specifiche}\}$$

$$H_1: \{\text{il lotto non rispetta le specifiche}\}$$

“La probabilità  $\alpha$  che un lotto conforme sia rifiutato è detta anche rischio del fornitore. Analogamente, la probabilità  $\beta$  che un lotto non conforme non sia rifiutato è detta rischio del committente” (1).

Durante il controllo delle opere stradali è possibile identificare il fornitore con l'impresa appaltatrice e il committente con la stazione appaltante dell'opera. Da parte sua l'impresa appaltatrice va considerata committente nei confronti delle imprese sub-appaltatrici o dei fornitori.

### **2.4.1.3. Rischio di prima specie**

Il rischio di prima specie è generalmente fissato a priori, stabilendo il livello del rischio  $\alpha$  che si è disposti a tollerare.

Dal momento in cui il livello di significatività è fissato prima ancora di condurre la verifica di ipotesi, il rischio di commettere un errore di prima specie  $\alpha$  è sotto il controllo di chi compie l'analisi (in genere i valori assegnati ad  $\alpha$  sono 0.01, 0.05 o 0.1).

La scelta di  $\alpha$  dipende sostanzialmente dai costi che provengono dal commettere un errore di prima specie.

Dopo aver identificato il valore di  $\alpha$ , una volta nota la distribuzione della statistica test e scelta la numerosità del campione, è possibile ottenere anche la regione di rifiuto perché è la probabilità che la statistica test cada nella regione di rifiuto quando l'ipotesi nulla è vera. Il valore critico che divide la regione di rifiuto da quella di accettazione viene identificato di conseguenza.

In particolare, una volta fissato  $\alpha$ , i valori critici  $L_1$  ed  $L_2$  sono tali che, supponendo valida l'ipotesi nulla (ossia con  $\mu = \mu_0$ ) si ha:

$$\alpha = P_0(X < L_1) + P_0(X > L_2)$$

Qualora la popolazione sia normale, o anche qualora si abbia a disposizione un campione abbastanza numeroso perché sussistano le condizioni di validità del teorema del limite centrale, per poter eseguire la verifica si impiega la statistica test

$$Z_0 = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}}$$

Presumendo corretta l'ipotesi nulla,  $Z_0$  ha una distribuzione normale standard  $Z_0 \sim N(0,1)$ . Essendo la distribuzione normale standard generalmente indicata con la lettera  $Z$ , la verifica è stata denominata *test z*. Stabilire un livello di significatività equivale allora a richiedere che, affinché si abbia il rifiuto di  $H_0$ ,  $Z_0$  deve essere inferiore al quantile di ordine  $\alpha/2$  e superiore al quantile di ordine  $(1 - \alpha/2)$  della  $N(0,1)$ .

$$\alpha = P(Z_0 < -z_{\alpha/2}) + P(Z_0 > z_{\alpha/2})$$

Generalmente è compito del responsabile del controllo qualità stabilire il livello di significatività della verifica e conseguentemente i limiti della regione critica. Valori tipici di  $\alpha$  sono 0,10 oppure 0,05 oppure 0,005. I limiti della regione critica sono dipendenti inoltre dalla numerosità del campione, e in modo particolare se si aumentasse notevolmente  $n$ , essi tendono a diventare più stretti, aumentando in questo modo la regione critica.(Fig.3)

E' opportuno precisare che per fissare un legame tra il livello di significatività (rischio del produttore) e i valori critici è indispensabile che sia nota la deviazione standard della popolazione o, in altre parole, la sua qualità.

In molti casi pratici, quando si verifica un'ipotesi sulla media della popolazione, anche la varianza della popolazione non è nota, e perciò deve essere stimata attraverso la varianza campionaria.

Anche per le verifiche di ipotesi, si ricorre all'utilizzo della distribuzione  $t$ . In particolare la statistica test utilizzata è:

$$T_0 = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sqrt{\frac{s^2}{n}}}$$

Valida l'ipotesi nulla,  $T_0$  ha una distribuzione  $t$  con  $n - 1$  gradi di libertà  $t_0 \sim t_{n-1}$ . La verifica in questo caso prende anche il nome di test  $t$ . Nel caso del test a due code (Fig.4), una volta fissata la probabilità di errore di prima specie, i limiti della regione di accettazione sono:

$$L_{2,1} \pm t_{\alpha/2, n-1}$$

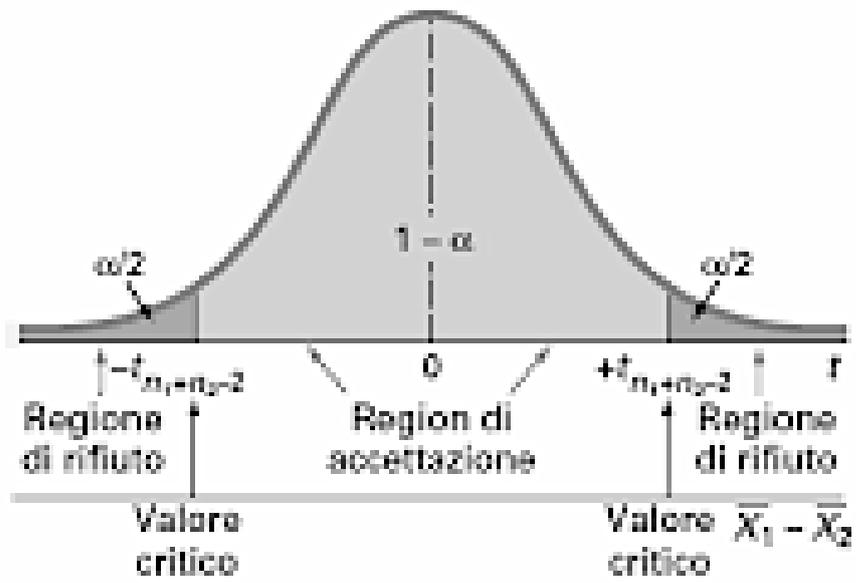


Figura 3

In Figura sono illustrati anche i casi di ipotesi alternativa unilaterale (Fig.4).

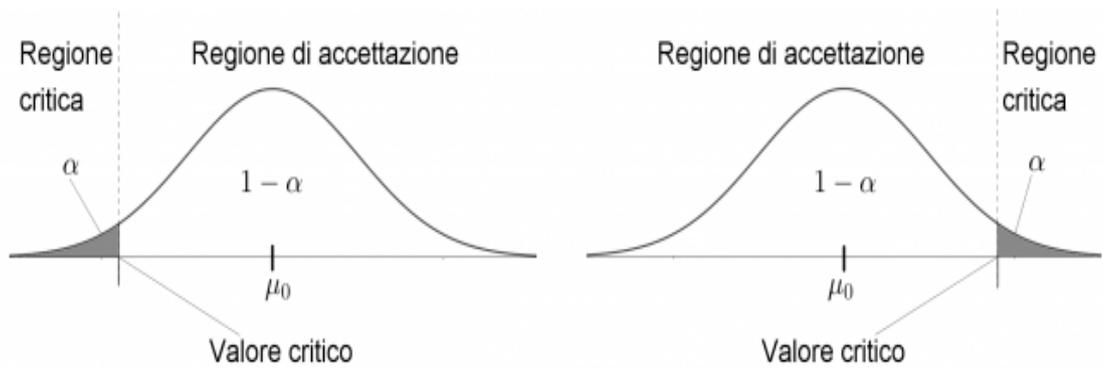


Figura 4

### 3. Presentazione Caso Studio

La "Sassari-Olbia", (SS 729), è una strada statale nazionale, ancora parzialmente in fase di realizzazione, che collega la zona nord-occidentale sarda, Sassari-Porto Torres, con la costa orientale nei pressi di Olbia. Classificata come extraurbana principale, a quattro corsie, una volta completata sarà percorribile alla velocità massima di 110 km/h.

Originariamente le città di Sassari ed Olbia erano collegate da una strada con un'unica carreggiata a due corsie dove le velocità di percorrenza erano piuttosto basse e tutti gli attraversamenti della strada stessa, compresi quelli più importanti, erano stati realizzati raso. Nei tratti stradali che negli anni novanta erano stati ammodernati, dalla VII Comunità Montana del Monte Acuto di Ozieri, invece, tutti gli svincoli erano stati realizzati su piani sfalsati.

Sul percorso Sassari-Olbia, giornalmente, transitano migliaia di autoveicoli che ciclicamente crescono numericamente ma soprattutto aumentano, in modo esponenziale, i veicoli pesanti. Originariamente il suddetto tracciato stradale aveva molteplici criticità in termini di sicurezza della circolazione stradale, che risultava congestionata e significativamente pericolosa.



Figura 5

Il numero imponente di incidenti stradali associati spesso alla presenza di troppi morti, hanno confermato l'eccessiva pericolosità del vecchio tracciato stradale.

La Regione Autonoma della Sardegna, a seguito di quanto sopra detto, recependo le istanze delle comunità locali interessate dal tracciato stradale oltre quelle disperate di decine di associazioni di liberi cittadini che ancora oggi piangono i loro cari, ha deciso di mettere a progetto una strada a scorrimento veloce del Tipo B a quattro corsie con carreggiate separate e con l'eliminazione delle intersezioni dirette a raso sostituite con svincoli a livelli sfalsati.

Questa decisione, finalizzata ad incrementare notevolmente la sicurezza stradale, aumenta la capacità di smaltimento del traffico veicolare e migliora sensibilmente il livello di servizio generale della strada.

Il nuovo tracciato (Fig. 5) è stato definito, in una prima fase progettuale, a valle di un'analisi tecnico-economica di diverse alternative che sono state analizzate e confrontate sotto il profilo funzionale, della sicurezza, della valenza ambientale e ovviamente dei costi.

Dove le geometrie del nuovo asse stradale e l'orografia del territorio lo consentivano il tracciato stradale è stato progettato in affiancamento al precedente, mentre per la restante parte è stato studiato un tracciato ex novo con la vecchia strada che diventa una complanare a servizio della viabilità locale.

Questa scelta da un lato ha consentito un minor impatto ambientale della nuova opera, ma dall'altro ha imposto che la fase costruttiva dovesse tener sempre conto del traffico che, durante i lavori, ha continuato a transitare da Sassari verso Olbia soprattutto durante il periodo estivo.

### **3.1. Descrizione del tracciato**

Il progetto preliminare, posto in appalto da l'ANAS S.p.a. in qualità di soggetto attuatore, è stato suddiviso in dieci lotti funzionali, andati a gara tra il 2011 e il 2014, per un totale di circa 88 km e per un investimento complessivo, a lavori ultimati, superiore a 1 miliardo di Euro.

Procedendo dall'intersezione con la S.S. 131 "Carlo Felice" (Porto Torres-Cagliari), si possono identificare i seguenti tratti fondamentali per il nuovo asse stradale a quattro corsie:

- il tratto di S.S. 597, in cui ricadono i Lotti 0, 1, 2 e 3 del nuovo itinerario, si stacca dalla S.S. 131 nei pressi del bivio di Saccargia nel comune di Codrongianos, fino allo svincolo del comune di Oschiri. Questo tratto è esteso circa 35 chilometri ed è caratterizzato inizialmente da una morfologia ondulata e in seguito da tratti pianeggianti con lunghi rettilinei. Questa porzione di strada dove, originariamente, erano presenti pericolose intersezioni a raso è stata "teatro" di numerosi incidenti;
- il tratto della nuova S.S. 597, in cui ricadono i Lotti 4 e 5, realizzata in variante alla vecchia Statale 199 che si inoltra negli agglomerati urbani, parte dallo svincolo del comune di Oschiri e termina al bivio del comune di Monti. Si estende per circa 26 chilometri ed è caratterizzata dalla presenza di colline quindi si alternano dossi e tratti pianeggianti ed importanti rettilinei. Questa tratta, come precedentemente detto, è stata oggetto di un intervento da parte della VII Comunità montana del Monte Acuto, negli anni novanta, con un cambio di tracciato che viene ricalcato dall'attuale quattro corsie. In questo tratto le intersezioni erano già state previste e realizzate a piani sfalsati;
- il tratto della S.S. 199, in cui ricadono i Lotti 6, 7, 8 e 9, parte, a sua volta, dal bivio di Monti e termina allo svincolo con l'aeroporto di Olbia, sulla Olbia-Nuoro, incrociando la circonvallazione esterna di Olbia in direzione Arzachena e quindi la Costa Smeralda. E' esteso circa 23 chilometri e si caratterizza per un tracciato che degrada dalle colline di Monti a scendere verso il mare con importanti pendenze a cui succedono tratti pianeggianti e lunghi rettilinei che portano in direzione Olbia.

L'origine di questa fondamentale opera viaria nasce dalla necessità di collegare velocemente l'agglomerato urbano e industriale dell'area nord-occidentale della Sardegna, in particolare delle città di Sassari, Alghero e Porto Torres, con la sponda nord-orientale ed in particolare con la città di Olbia. Altro aspetto importante, che rafforza quanto precedentemente affermato, è l'abbattimento dei tempi di percorrenza tra i due

aeroporti di Alghero e Olbia Costa Smeralda nonché tra i due grandi porti di Porto Torres ed Olbia.

A lavori ultimanti, il vantaggio principale lo avrebbe il traffico, soprattutto quello pesante, in direzione Cagliari, che attraverso lo svincolo in località “Figos”, nel comune di Ozieri, si dirigerebbe in direzione del più grosso snodo ferroviario del Nord Sardegna (Ozieri-Chilivani) per poi imboccare la S.S. 131 “Carlo Felice” all’altezza dello svincolo del comune di Mores in direzione Sud Sardegna.

Il problema della viabilità del Nord Sardegna aveva origini remote: l'attraversamento del Logudoro e della Gallura, lungo la costa e attraversando il comune di Tempio Pausania, presentava problemi dovuti alla tortuosità del territorio; verso sud, invece, nel Monte Acuto, il collegamento era garantito storicamente dalla Strada Statale 199 di Monti, generando però un notevole allungamento del percorso.

Una soluzione, seppure parziale, fu trovata con la costruzione della Strada Statale 597 del Logudoro, strada a scorrimento veloce priva quasi totalmente di intersezioni a raso che permettevano di velocizzare il percorso evitando l'attraversamento dei centri abitati dei comuni di Ozieri, Oschiri e Monti.

Il sempre crescente traffico veicolare e le condizioni non ottimali di queste infrastrutture, indirizzava verso una soluzione più radicale con il progetto di una strada a carreggiate separate e a due corsie per senso di marcia.

Già nel 2007 la programmazione ANAS prevedeva una soluzione in tal senso, ma solamente nel 2013 è stato dato il via libera, con l'affidamento del progetto all'ANAS stessa.

Questa nuova opera, sostanzialmente, prevedeva sia l'ammodernamento delle vecchie SS 199 e SS 597 nonché la costruzione di tratti ex-novo, come il tratto iniziale di collegamento alla SS 131 “Carlo Felice”, a sud del comune di Codrongianos.

In successione, durante il corso degli anni e come sotto riportato, sono state aperte ed inaugurate le seguenti tratte stradali:

- giugno 2016 il tratto iniziale del percorso, nel comune di Ardara (Lotto 1), ad arrivare al km 10,350 e il tratto finale, nel comune di Monti (Lotto 9), dal km 63,140 al km 75,860;
- luglio 2016 il tratto nel comune di Olbia (Lotto 8) compreso tra il km 75,860 e il km 76,992;
- agosto 2016, il tratto dello svincolo del comune di Ardara (Lotto 1) portando il tratto iniziale ad una lunghezza di 11,800 km;
- aprile 2017 il tratto tra i comuni di Oschiri e Ozieri (Lotto 3) tra il km 26,300 e il km 29,100;
- luglio 2017 il tratto finale di accesso all'abitato di Olbia (Lotto 9);
- dicembre 2017 l'intero Lotto 3, nei comuni di Oschiri e Ozieri, lungo circa 12 km,;
- dicembre 2020 l'intera tratta dei Lotti 5 e 6 da Berchidda fino a Monti.

A dicembre 2020 sono stati inaugurati ed aperti al traffico 60 chilometri sugli 80 totali del progetto della nuova strada statale a 4 corsie Sassari-Olbia.

### **3.2. Lotto 1**

Il tracciato del Lotto 1, che ha una lunghezza di circa 9,366 chilometri, si sviluppa interamente all'interno del tratto di S.S. 597 che si stacca dalla S.S. 131 nei pressi del bivio di Ploaghe, fino al bivio con il comune di Ardara.

Percorrendo l'itinerario da Sassari, ad iniziare dal bivio di Ploaghe, si aveva un primo tratto caratterizzato da morfologia ondulata con modesti rilievi, e quote degradanti da 350 metri s.l.m. a 267 metri, fino al bivio di Ardara, al kilometro 15, a cui seguiva un tratto più pianeggiante, in cui la strada presentava rettilinei di discreta lunghezza, fino alla località Su Campu, dove le quote raggiungevano circa 170 metri s.l.m.

Per i primi km la strada precedente si sviluppava pressoché a raso. I raggi che sono stati utilizzati sono per lo più bassi (350-700 metri) e con limitati o assenti raccordi a raggio variabile, ed il tracciato planimetrico presentava solo leggere deflessioni, abbastanza distanziate fra loro

Cercare di ridurre l'impatto visivo sull'ambiente nonché quello sull'uomo è stato uno dei temi fondamentali e più discussi durante la fase progettuale. Questo obiettivo è stato perseguito e raggiunto, durante tutte le fasi esecutive dei lavori, monitorando continuamente tutto il territorio e tutti gli aspetti naturalistico-ambientali in esso contenuti.

La presenza di Nuraghi ed altre importantissime opere archeologiche, di cui il territorio Sardo è ricco, ha impegnato l'Anas, in collaborazione con gli Enti preposti, in un'azione tecnico/amministrativa personalizzata e finalizzata a tutelare ed a preservare tutti i beni archeologici censiti e presenti lungo la direttrice stradale. Un esempio di questa azione è ben visibile nel Nuraghe con villaggio "Funtana `e Pedru" nel comune di Ploaghe.

Il seguente lotto è stato interamente aperto al traffico, come già detto, il giorno 23.06.2016.

### **3.3. Lotto 3**

Il tracciato del lotto 3 ha una lunghezza pari a 11.900 (dal kilometro 24+200 a kilometro 36+100) ed inizia in corrispondenza del termine dell'adiacente lotto 2, in prossimità dello svincolo del comune di Martis.

Il progetto del nuovo asse stradale, prosegue l'allineamento del lotto "2" in variante planoaltimetrica della statale S.S. 597, con un affiancamento stretto lato sud ad una distanza di circa 40 m, fino alla progressiva km 27+ 900, in prossimità dello svincolo del comune di Tula. Fino alla progressiva 30+525 la strada statale S.S. 595, a nord del nuovo asse, con una serie di varianti planoaltimetriche, mantiene la propria continuità.

Al fine di consentire un'agevole costruzione del viadotto sul Riu Mannu, nel territorio del comune di Ozieri, tale interasse è stato portato a 55 m fino alla progressiva 27+000, per poi tornare ad una distanza di 35 m in prossimità del cavalcavia al km 27+355.

A partire dalla progressiva km 29+500 fino alla fine del lotto "3" (km 36+100) il tracciato di progetto si sposta sul sedime della viabilità locale in adeguamento allo stesso, dapprima come allargamento lato sud e poi lato nord.

Il seguente lotto è stato interamente aperto al traffico, come già detto, il giorno 19/12/2017.

### 3.4. Sezioni tipo

Il Decreto Ministeriale 5 novembre 2001 impone, per tutta l'arteria a scorrimento veloce S.S. Sassari-Olbia, una sezione del tipo B con due corsie per senso di marcia e uno spartitraffico centrale.

In applicazione a quanto sopra riportato, la piattaforma stradale è così composta:

- larghezza totale m. 24,00;
- spartitraffico centrale m.2,50;
- due corsie da m. 3,75;
- banchine in destra m. 1,75;
- banchine in sinistra m. 0,50.

In corrispondenza dello spartitraffico centrale è stata prevista una barriera di sicurezza monofilare, al fine di minimizzare l'ingombro del corpo stradale garantendo, al contempo, la necessaria visibilità in corrispondenza delle curve sinistrorse.

Le barriere di sicurezza laterale per l'asse principale sono state progettate, invece, in acciaio con classe di contenimento H3, ad eccezione di quei tratti dell'asse lungo i quali la barriera ammette una distanza dal nastro ferroviario inferiore a 50 metri. Per detti tratti è stata adottata una barriera bordo laterale di classe H4, in ottemperanza alle prescrizioni dell'Ente RFI.

Lo smaltimento delle acque meteoriche sulla carreggiata sarà gestito mediante un sistema chiuso costituito da canalette, embrici e collettori, che convoglieranno le acque verso le vasche di prima pioggia, al fine di evitare l'inquinamento dei ricettori con gli olii sversati sulla piattaforma stradale.

I pozzetti sono dotati di canaletta "troppo pieno" in sommità, con sversamento diretto al piede scarpa, in modo da garantire l'allontanamento delle acque dalla piattaforma stradale anche in caso di ostruzione dei dispositivi di captazione. Le acque di ruscellamento delle scarpate saranno raccolte e convogliate mediante idonei fossi di guardia rivestiti.



- collegamento in conglomerato bituminoso aperto spessore 10 cm.
- binder in conglomerato bituminoso semichiuso spessore 7 cm.
- usura in conglomerato bituminoso chiuso spessore 4 cm.

Si è adotta una pavimentazione semirigida poiché, considerata l'entità e lo spettro di traffico previsti, questa assicura una rigidità flessionale tale da contenere le deformazioni di trazione negli strati superficiali ed i conseguenti fenomeni di fatica, a tutto beneficio della durabilità dell'opera e della riduzione degli oneri manutentivi.

Inoltre lo strato d'usura drenante e fonoassorbente garantisce condizioni di sicurezza della circolazione di tipo autostradale (aderenza longitudinale e trasversale, contenimento dei fenomeni di "aquaplaning"), oltre alla riduzione dell'inquinamento acustico.

## **4. Controllo di qualità dei conglomerati bituminosi impiegati**

La miscela che compone il conglomerato bituminoso costituita da inerti lapidei, legante bituminoso, filler, ed eventualmente additivi, è solitamente confezionata a caldo in impianti appositi.

In maniera più generale è possibile valutare che il conglomerato bituminoso sia formato in primis da uno scheletro solido graduato in modo opportuno formato da inerti lapidei, detto anche scheletro litico, immersi in una matrice di legante bituminoso, che assicura coesione e consistenza al prodotto dando allo stesso tempo un comportamento visco-elastico con risposta reologica che varia in base ai tempi e ai modi dell'applicazione delle sollecitazioni, e inoltre della temperatura.

Così come gli inerti che dovrebbero essere graduati in maniera opportuna in termini dimensionali partendo dalla dimensione massima sino al filler, anche la quantità di bitume dovrebbe essere studiata, per ottenere specifiche proprietà volumetriche, e prestazioni opportune quando si è sottoposti a determinate sollecitazioni.

Per quanto riguarda le pavimentazioni semirigide e flessibili, la parte superficiale del manto stradale (base, binder e usura) è composta da conglomerato bituminoso. Tuttavia, va chiarito che le proprietà del conglomerato non sono le stesse per ogni strato, ma differiscono in base alla funzione che lo strato stesso deve svolgere.

Infatti, la diffusione dei conglomerati, è legata all' enorme molteplicità di miscele possibili, agendo sulla qualità e quantità delle materie formanti le miscele stesse, molteplicità che consente di ottenere prodotti che rispondono a necessità differenti dal punto di vista delle prestazioni strutturali e funzionali come drenabilità, impermeabilità, regolarità, rumorosità, tessitura.

Nello specifico, le proprietà del conglomerato bituminoso, tendono a ottimizzare in modo progressivo, risalendo verso gli strati più superficiali.

Tutto questo implica qualità prestazionali specifiche in base allo strato preso in considerazione, raggiungibili attraverso l'utilizzo di materiali, quali inerti e bitume, differenti in termini non solo di proporzione relativa ma anche di qualità.

Lo strato di usura è così composto da una miscela migliore trovandosi direttamente a contatto con i pneumatici e dovendo assicurare una molteplicità di qualità funzionali indispensabili per garantire comfort e sicurezza come ridotta rumorosità, regolarità e aderenza.

In maniera dettagliata e generale, il conglomerato bituminoso dovrebbe essere ideato in modo da poter garantire funzionalità e durabilità specifiche in esercizio. Di conseguenza ne scaturiscono miscele con alta stabilità, ciò significa che il conglomerato non deve subire deformazioni permanenti, come ormaie e depressioni, e ammaloramenti di qualsiasi genere, come sgranamenti e fessurazioni, a seguito del transito dei veicoli. Contemporaneamente, il conglomerato bituminoso dovrebbe rispondere in modo efficace agli sforzi a fatica, cioè la resistenza ai carichi ciclici dovuti al continuo passaggio dei veicoli. Quando si parla di strati di usura, oltre a tutte queste proprietà, bisogna considerare anche la capacità di garantire una aderenza adeguata.

I conglomerati bituminosi sono catalogati solitamente in funzione alle proprietà volumetriche della miscela stessa. Infatti è possibile avere miscele drenanti o aperte, con una percentuale di vuoti compresa tra il 16 % e il 27 %, e chiusi, con una percentuale compresa tra il 3 e l'8 %. La percentuale di vuoti è dipendente dalla componente granulometrica degli inerti.

Oltre a questa classificazione se ne considera un'altra legata allo strato che dovrebbero costituire:

- strato di usura;
- strato di binder o collegamento;
- strato di base.

Per quanto riguarda le miscele chiuse la granulometria è continua, mentre per le miscele drenanti si ha una granulometria discontinua, questo vuol dire che sono mancanti della porzione intermedia.

Le miscele drenanti sono impiegate soltanto negli strati in cui si ha bisogno di garantire un'aderenza migliore, assicurando un miglior deflusso dell'acqua presente sulla superficie, conseguente a fenomeni meteorici, per scongiurare il fenomeno dell'aquaplaning e evitare l'insorgere di fenomeni pericolosi che vanno a intaccare la visibilità come l'effetto spray, dovuto dall'azione delle ruote che sollevano l'acqua verso i veicoli posteriori, e l'effetto spruzzo, nel quale l'acqua viene sollevata sia verso i veicoli laterali che verso quelli a tergo.

Per poter garantire delle ottime prestazioni meccaniche, le miscele drenanti devono essere confezionate con legante bituminoso modificato di tipo "hard", che è in grado di garantire una adesione maggiore negli scarsi punti di contatto che si formano tra le particelle di inerte grosso.

Alla diminuzione della percentuale dei vuoti, ne conseguono solitamente delle qualità meccaniche maggiori. Questo è dovuto al fatto che, con una percentuale di vuoti minore, si ha un maggior incastro inter granulare che è in grado di garantire una stabilità superiore e un numero maggiore di punti di contatto tra i granuli, in modo da avere un trasferimento delle sollecitazioni migliore.

Ovviamente, tutti i requisiti sopra citati, è opportuno ottenerli senza dimenticare la parte relativa al costo dell'intervento, per poter identificare la soluzione migliore sulla base dei costi e benefici.

## **4.1. Manto Stradale**

### **4.1.1. Strato di Base**

#### **4.1.1.1. Generalita**

Lo strato di base è costituito da un misto granulare di frantumato, ghiaia, sabbia ed eventuale additivo, normalmente dello spessore di 15 cm, impastato con bitume a caldo, previo preriscaldamento degli aggregati, steso in opera mediante macchina vibrofinitrice e costipato con rulli gommati, vibranti gommati e metallici. Lo spessore di base è prescritto nei tipi di progetto.

#### **4.1.1.2. Formazione delle miscele**

Il conglomerato è stato confezionato mediante impianti fissi autorizzati, di idonee caratteristiche.

Ogni impianto ha assicurato il riscaldamento del bitume alla temperatura richiesta ed a viscosità uniforme fino al momento della miscelazione nonché il perfetto dosaggio del bitume e dell'additivo. La temperatura degli aggregati all'atto della mescolazione è compresa tra 150 °C e 170 °C e quella del legante tra 150 °C e 180 °C.

#### **4.1.1.3. Miscela**

La miscela degli aggregati da adottarsi dovrà avere una composizione granulometrica contenuta nel fuso:

Serie crivelli e setacci U.N.I	Passante: % totale in peso
Crivello 40	100
Crivello 30	80-100
Crivello 25	70-95
Crivello 15	45-70

Crivello 10	35-60
Crivello 5	25-50
Crivello 2	20-40
Crivello 0,4	6-20
Crivello 0,18	4-14
Crivello 0,075	4-8

Il tenore di bitume deve essere compreso secondo il Capitolato tra il 4% e il 5% riferito al peso totale degli aggregati.

Il conglomerato per essere accettato deve rispettare diversi requisiti:

- Il valore della stabilità Marshall eseguita a 60 °C su provini costipati con 75 colpi di maglio per faccia, deve risultare non inferiore a 700 kg; il rapporto tra stabilità e scorrimento, la rigidità, deve risultare maggiore di 250 kg/mm.
- I provini stessi devono presentare una percentuale di vuoti residui compresi fra 4% e 7%.

#### **4.1.2. Strato di collegamento (Binder)**

##### **4.1.2.1. Generalità**

Lo strato di collegamento è costituito da conglomerato bituminoso steso a caldo.

Il conglomerato è costituito da una miscela di pietrischetti, graniglie, sabbie ed additivi, mescolati con bitume a caldo, ed è stato steso mediante macchina vibrofinitrice e compattato con rulli gommati e lisci.

##### **4.1.2.2. Miscela**

La miscela degli aggregati da adottarsi per lo strato di collegamento dovrà avere una composizione granulometrica contenuta nel fuso:

Serie crivelli e setacci U.N.I	Passante: % totale in peso
Crivello 25	100
Crivello 15	65-100
Crivello 10	50-80
Crivello 5	20-60
Crivello 2	7-25
Crivello 0,4	7-15
Crivello 0,18	5-15
Crivello 0,075	4-8

Il tenore di bitume deve essere compreso secondo il Capitolato tra il 4,5% e il 5,5% riferito al peso totale degli aggregati.

Il conglomerato per essere accettato deve rispettare diversi requisiti:

- Il valore della stabilità Marshall eseguita a 60 °C su provini costipati con 75 colpi di maglio per faccia, deve risultare non inferiore a 900 kg; il rapporto tra stabilità e scorrimento, la rigidezza, deve risultare maggiore di 300 kg/mm.
- I provini stessi devono presentare una percentuale di vuoti residui compresi fra 3% e 7%.

### **4.1.3. Strato di Usura Drenante**

#### **4.1.3.1. Generalita'**

Lo strato di collegamento è costituito da conglomerato bituminoso steso a caldo.

Il conglomerato bituminoso per usura drenante è costituito da una miscela di pietrischetti frantumati, sabbie ed additivi, mescolati con bitume modificato a caldo.

#### 4.1.3.2. Miscela

Sono previsti tre tipi di miscele, denominate:

- Fuso A (Granulone);
- Fuso B (Intermedio);
- Fuso C (Monogranulare).

La miscela degli aggregati adottata per lo strato drenante è quella denominata Granulone e dovrà avere una composizione granulometrica contenuta nel fuso:

Serie crivelli e setacci U.N.I	Passante: % totale in peso
Crivello 25	100
Crivello 15	80-100
Crivello 10	15-35
Crivello 5	5-20
Crivello 2	0-12
Crivello 0,4	0-10
Crivello 0,18	0-8
Crivello 0,075	0-6

Il tenore di bitume deve essere compreso secondo il Capitolato tra il 5% e il 6,5% riferito al peso totale degli aggregati.

La suddetta miscela ha un'ottima drenabilità e un'elevata fono assorbenza.

Il conglomerato per essere accettato deve rispettare diversi requisiti:

- Il valore della stabilità Marshall eseguita a 333 K su provini costipati con 75 colpi di maglio per faccia, deve risultare non inferiore a 500 kg; il rapporto tra stabilità e scorrimento, la rigidità, deve risultare maggiore di 200 kg/mm.

- I provini stessi devono presentare una percentuale di vuoti residui compresi fra 16% e 27 %.

## **4.2. Controlli e requisiti imposti da Capitolato**

Il controllo di qualità della miscela comprende sia la verifica delle caratteristiche del conglomerato finale, ma deve riguardare anche il controllo di qualità dei materiali che comporranno la miscela stessa.

La verifica delle caratteristiche degli inerti e dei leganti viene condotta già nella fase di qualificazione preliminare delle miscele con un'analisi approfondita della documentazione fornita dall'impresa, in cui sono presenti le prove fatte non solo sulla miscela finale, ma anche sui materiali che andranno a comporre il conglomerato stesso.

Sulla base dei risultati, la Direzione Lavori ha il compito di accettare i materiali proposti, qualora fossero conformi al Capitolato Speciale d'Appalto. In caso contrario ha il compito di proporre modifiche che possano garantire un miglioramento prestazionale della miscela stessa.

Successivamente vengono effettuati i controlli in corso d'opera, i quali devono interessare non solo la miscela prelevata in stabilimento direttamente dai sistemi di stoccaggio nel giorno in cui si produce la miscela stessa, ma anche la miscela sfusa, di cui vengono prelevati provini in sito, direttamente dalla vibrofinitrice, durante la stesa, per poter constatare che i materiali effettivamente utilizzati siano congruenti con quelli stabiliti nella fase di qualificazione preliminare e che rispettino i limiti imposti dal Capitolato Speciale d'Appalto.

Sulla miscela sfusa viene verificato:

- Il tenore di bitume;
- L'analisi granulometrica;
- La percentuale dei vuoti;

In conclusione, vengono effettuati i controlli di conclusione lavori, in cui il Direttore Lavori verifica le reali proprietà prestazionali del conglomerato posto in opera attraverso

provini prelevati direttamente dalla pavimentazione finita attraverso la realizzazione di carotaggi, e attraverso prove non distruttive eseguite in sito con attrezzature ad alto rendimento.

Le carote vengono poi utilizzate per controllare gli spessori degli strati, le percentuali dei vuoti, il grado di compattazione, il tenore di bitume e la granulometria.

Le miscele, che dovranno essere composte da una determinata granulometria che sia conforme con la UNI EN 12697-2, vengono controllate utilizzando dei setacci per poter verificare che il fuso sia compreso tra quelli di riferimento.

Allo stesso modo, anche il tenore di bitume riferito al peso della miscela deve rispettare i limiti imposti da Capitolato, che sono diversi in base al tipo di strato che viene preso in considerazione. Inoltre, come già detto, il conglomerato sfuso deve essere verificato attraverso l'utilizzo di una pressa giratoria. I provini vengono compattati con un numero di giri che dipende dal tipo di miscela e dal tipo di bitume.

Le disposizioni di Capitolato stabiliscono tre diversi livelli di vuoti residui da verificare. Ogni intervallo si riferisce a provini che sono stati compattati con pressa giratoria con un numero di rotazioni diverso della pressa stessa:

- $N_1$ : numero di rotazioni utilizzato per stimare l'auto addensamento della miscela. Se con questo grado di compattazione, il livello dei vuoti risulta troppo basso la miscela in opera potrà risultare instabile in esercizio sottoposta a sollecitazioni dovute al traffico veicolare.
- $N_2$ : corrisponde al numero di rotazioni necessario per ottenere un addensamento analogo a quello in sito a seguito della apertura al traffico di progetto.
- $N_3$ : rappresenta il numero di rotazioni riferito ad un grado di compattazione che è opportuno non sia mai oltrepassato in esercizio. Se il livello dei vuoti a questo grado di compattazione è eccessivamente basso il conglomerato può compattarsi in maniera eccessiva in esercizio, con conseguenti ormaie. Il numero di giri della pressa giratoria varia in base al tipo di conglomerato e al tipo di legante usato.

### 4.3. Modalità di Prova e Parametri ricavati

Di seguito vengono descritte brevemente le modalità di prova cui far riferimento per verificare i parametri che mi sono stati forniti dalla Direzione Lavori Anas, riguardanti la SS729 Sassari-Olbia:

- l'analisi granulometrica (non utilizzata nell'analisi dati) è il processo che permette di identificare, attraverso la vagliatura, la distribuzione dimensionale degli inerti. I setacci (Fig. 6) vengono collocati uno sopra l'altro, in ordine di apertura decrescente dall'alto verso il basso. Il campione viene inserito sulla batteria di setacci (situata nella figura sottostante) e la si scuote per consentire al materiale di passare attraverso essa. Il periodo di scuotimento va aumentato fino a quando, attraverso ogni setaccio, non passa più dello 0,1 percentuale della massa trattenuta in 1 minuto. Un volta conclusa l'operazione si procede nel pesare ogni frazione di trattenuto nei successivi setacci e per ogni setaccio si calcola la percentuale di trattenuto e quella passante. Si realizza in questo modo la curva granulometrica dell'aggregato.

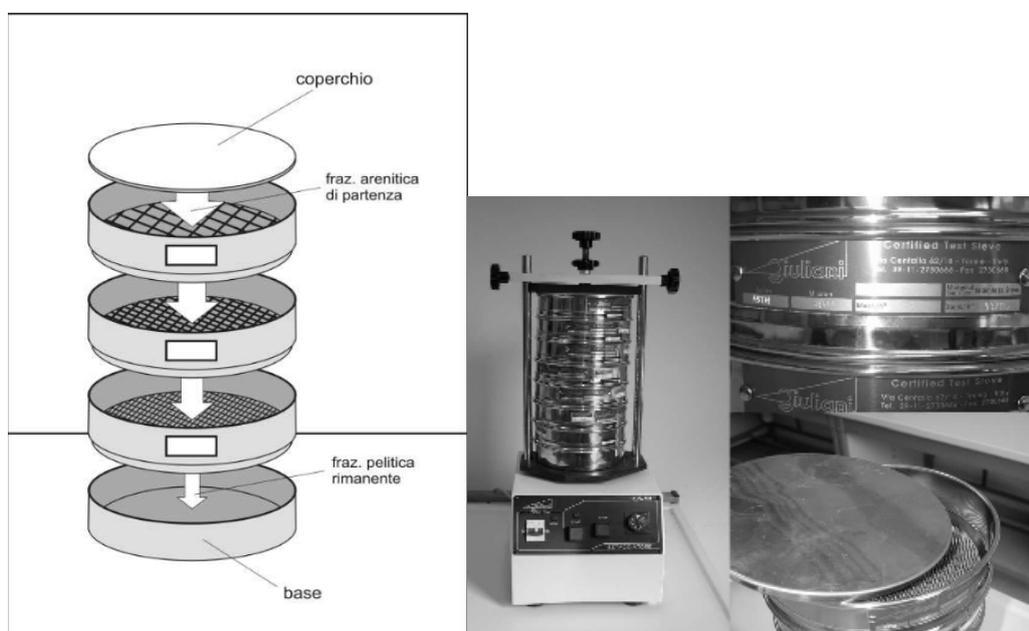


Figura 6

- tenore di bitume: è la percentuale di bitume presente all'interno della miscela, che è riferita sia al peso degli aggregati che al peso della miscela. La separazione del bitume da un conglomerato viene eseguita attraverso calcinazione, attraverso il riscaldamento a elevate temperature in forni idonei, o utilizzando un solvente.
- Nella Prova Marshall i campioni sono compattati in determinate fustelle cilindriche (Fig. 7) di diametro interno pari a 101 millimetri e successivamente a seguito di un'immersione in acqua ad una temperatura pari a 60 °C, vengono posizionati tra le ganasce del telaio (Fig. 8) e sottoposti alla prova di schiacciamento diametrale;



Figura 8



Figura 7

L'identificazione del tenore di legante ideale, per conglomerati chiusi a curva continua è l'esito che dà la massima resistenza alla deformazione del conglomerato stesso alla prova di schiacciamento diametrale identifica la stabilità Marshall.

Un altro parametro molto importante è la rigidità Marshall, che è possibile identificare attraverso il rapporto tra la stabilità Marshall e lo scorrimento delle ganasce che porta alla rottura del provino stesso;

- La percentuale dei vuoti residui si identifica identificando il tenore di bitume, la sua massa volumica e quella apparente della miscela di aggregati. In seguito viene calcolata la massa teorica dell'unità di volume del conglomerato considerato privo di vuoti inter granulari e successivamente viene rapportato con massa volumica apparente propria.

#### **4.4. Produzione del conglomerato a caldo**

La produzione delle miscele bituminose è diventata negli anni una procedura: standardizzata.

In generale è possibile avere due tipi di impianti. Per quanto riguarda l'impianto di tipo discontinuo, solitamente il più utilizzato, gli inerti di varia pezzatura (sabbia, pietrischi e graniglie) vengono stoccati in aree specifiche interne all'impianto. Successivamente vengono trasportati, quando sono ancora umidi, attraverso delle pale meccaniche che sono caricate in tramogge predosatrici.

Da queste ultime vengono prelevati, tenendo in considerazione le percentuali stabilite nel mix design, gli inerti delle frazioni richieste per produrre la miscela bituminosa in esame. Gli inerti vengono portati tramite il nastro collettore all'essiccatore e successivamente vengono essiccati e riscaldati ad una temperatura stabilita per la fabbricazione della miscela bituminosa.

La miscela composta dagli inerti, attraverso un elevatore a caldo, viene trasportata e successivamente riscaldata nella parte superiore della torre di mescolamento. Successivamente gli inerti vengono trasportati in un gruppo di vagliatura, che separa la miscela predosata nelle singole frazioni, attraverso un elevatore a caldo.

Sottostante al gruppo di vagliatura è possibile trovare le tramogge di insilaggio a caldo delle singole frazioni. Qui le varie frazioni vengono dosate in base al peso attraverso una

bilancia. Successivamente, una volta che tutti gli inerti di pezzatura maggiore sono situati all'interno della tramoggia di pesatura, la miscela viene spostata nel mescolatore.

Il filler, il bitume e possibili additivi arrivano nel mescolatore utilizzando vie diverse. Il filler e il bitume sono pesati utilizzando dispositivi di dosaggio.

in maniera differente, invece, sono stoccati gli additivi che vengono prodotti in base alle loro proprietà e vengono posti nel mescolatore utilizzando dispositivi di dosaggio automatici.

Anche la miscela bituminosa fresata viene introdotta nella produzione utilizzando una unità di dosaggio adatte. Qualora si abbiano conglomerati riciclati, bisogna distinguere vari processi a seconda del punto di aggiunta o in base alla tipologia di trattamento del materiale fresato.

Internamente al mescolatore tutti i materiali sono omogeneamente miscelati per un tempo determinato.

La miscela bituminosa finale viene quindi prelevata da una benna elevatrice e successivamente trasportata in un silos per miscele bituminose. Infine la miscela viene caricata su autocarri e trasportata in cantiere.

#### **4.5. Prelievo di conglomerato bituminoso sciolto**

Il prelievo di campioni in corso d'opera di un miscela bituminosa consiste in una molteplicità di operazioni utili per ricavare un campione che possa rappresentare il conglomerato preso in esame, successivamente inviato ai laboratori che hanno il compito di effettuare i controlli e le prove imposte dal Capitolato Speciale d'Appalto.

La campionatura in fase di stesa (Fig. 9) viene eseguita esattamente nella parte posteriore della vibrofinitrice, si prelevano almeno 25 kg di materiale, utile per eseguire le prove di laboratorio di controllo.



*Figura 9*

Questa tipologia di prelievo, nonostante sia abbastanza rappresentativo, presenta delle criticità.

Per quanto riguarda la frequenza di prelievo varia in base alla natura dell'intervento e a esigenze specifiche.

All'incirca si consiglia di seguire le seguenti istruzioni per il campionamento:

- un prelievo ogni 400 tonnellate per lo strato di base e 200 tonnellate per gli strati di binder e di usura;
- per stese minori, minore di 300 metri, bisogna effettuare un prelievo a lavorazione per ogni strato.

E' essenziale eseguire il controllo della temperatura di stesa esattamente dietro il banco, prima dell'azione dei rulli, per poter di evitare problemi dovuti a materiale freddo. Solitamente la temperatura deve essere maggiore a 135 °C per conglomerati con bitumi classici e 145°C con bitumi modificati.

## 4.6. Caratteristiche prestazionali

Come precedentemente introdotto, il conglomerato bituminoso è un materiale visco-elastico che ha un comportamento reologico e può variare in base alla temperatura e alle tempistiche di applicazione delle sollecitazioni. Il conglomerato dovrà resistere a delle azioni in modo tale che si limiti in primis la formazione di deformazioni permanenti, come ormaiamento, e la rottura per fatica.

Le sue caratteristiche sono principalmente dipendenti da quelle dei materiali che costituiscono il conglomerato stesso. Però, per ottenere delle buone prestazioni ha un ruolo fondamentale combinazione percentuale di questi materiali.

Infatti, considerando i materiali di origine realmente a disposizione, il conglomerato bituminoso andrebbe in maniera opportuna esaminato per poter determinare con precisione la composizione in termini di granulometria e di dosaggio reale di bitume.

La proporzione dei materiali che costituiscono il conglomerato influenza, in primo luogo, le proprietà volumetriche del conglomerato che dovrebbero essere accuratamente verificate per identificare il corretto rispetto dei limiti imposti dal Capitolato Anas.

In particolare, per ogni miscela il Capitolato detta dei limiti non solo sull'andamento granulometrico dello scheletro litico, ma anche sul tenore di bitume e sulla percentuale di vuoti residui.

La suddetta percentuale dei vuoti è di fondamentale per riscontrare adeguate prestazioni sottoposti a sollecitazioni, si può notare infatti, che le norme di Capitolato impongono, degli intervalli dei vuoti residui.

Infatti, qualora la percentuale risulti troppo alta, si va a intaccare fortemente le proprietà meccaniche perché si tende a ridurre il numero di punti di contatto tra i granuli attraverso cui il trasferimento delle sollecitazioni avviene.

Allo stesso tempo, se la percentuale di vuoti è troppo piccola si ha di una miscela esposta, in maniera eccessiva, a deformazioni permanenti, quali ormaiamento, e di trasudamento del bitume in superfici.

Il numero di vuoti residui è, infatti, diretta funzione del tenore del bitume. Relativamente al tenore di bitume, si può affermare che avere quantità minori, possono determinare degli strati di rivestimento degli inerti troppo fini. Di conseguenza, il conglomerato bituminoso risulterebbe avere resistenza e rigidità.

Al contrario, avere tenori di bitume superiori potrebbero creare strati di rivestimento troppo grossi e un conglomerato bituminoso eccessivamente elastico, ma anche molto deformabile.

Le proprietà volumetriche dipendono anche dal tipo e dalla qualità della posa in opera del conglomerato bituminoso, come la temperatura esterna durante la stesa, quella dei materiali, velocità di stesa e rullatura.

## 5. Analisi dei Dati

La presente Tesi, come già precedentemente detto, si basa sul confronto dei dati ricavati da campioni prelevati in stabilimento con i campioni prelevati in corso d'opera.

In fase di costruzione dell'opera sono state effettuate prove finalizzate a verificare la composizione del conglomerato, prelevando il campione all'uscita del mescolatore o dalla tramoggia di stoccaggio.

La campionatura in fase di stesa, eseguita direttamente nella parte posteriore della finitrice, e successivamente inviata in laboratorio, è stata sottoposta alle prove indicate nel Capitolato Speciale d'Appalto.

In seguito ai prelievi effettuati in cantiere è stato redatto un registro, numerato e vidimato dalla Direzione dei Lavori, nel quale, giornalmente, vengono registrate le prove e i controlli effettuati.

Dalla redazione del suddetto registro inizia il lavoro di cui la presente Tesi tratta.

Le fasi iniziali della Tesi sono state caratterizzate dalla raccolta dei dati contenuti nel registro stesso. I dati forniti sono contenuti nelle lettere ufficiali ANAS, (con le quali si inviano i campioni, prelevati in situ, da sottoporre alle prescritte prove di laboratorio) nonché nei Verbali e Certificati (dove si trovavano i risultati delle prove di cui sopra).

I dati raccolti sono riferiti a campioni rappresentativi del conglomerato bituminoso posto in opera nei Lotti 1 e 3 della nuova e costruenda Sassari Olbia.

Una volta riordinati i dati lotto per lotto, si è provveduto alla riorganizzazione degli stessi in funzione alla stratigrafia prevista dal Progetto Esecutivo:

- Base
- Binder
- Usura Drenante

Conclusa quest'ultima parte, il tutto è stato riorganizzato in funzione dei parametri del conglomerato bituminoso ricavato in laboratorio e riordinato, in maniera progressiva, in funzione delle sezioni.

I parametri utilizzati sono:

- Percentuale di Bitume (%)
- Percentuale di Vuoti (%)
- Stabilità Marshall (kg)
- Rigidezza Marshall (kg/mm)

Successivamente al lavoro di riorganizzazione e di riordinazione dei dati su citati, ho provveduto al confronto tra i risultati.

Inizialmente il confronto è stato eseguito tra i risultati delle prove ricavate da campioni prelevati in stabilimento e quelli prelevati in fase di esecuzione.

Successivamente sono stati confrontati i dati lotto per lotto, e infine dopo aver fatto diverse supposizioni, ricavate dai confronti incrociati relativi ai suddetti dati, si è giunti a numerose conclusioni che saranno riportate nel Capitolo seguente.

Si riporta di seguito un esempio dei dati raccolti:

- Percentuale dei Vuoti, Strato di Base, Lotto 1

Data prelievo	
11/02/16	2.40
18/11/15	2.87
08/01/16	2.99
07/01/16	3.04
04/08/16	3.20
08/08/16	3.30
03/08/16	3.40
28/01/16	3.50
17/11/15	3.62
08/04/16	3.70
09/09/16	3.90
31/03/16	3.90
11/12/15	4.02
30/03/16	4.10
07/04/16	4.10
20/04/16	4.13
19/04/16	4.18
02/03/16	4.20
19/05/16	4.30
18/04/16	4.35
14/12/15	4.39
28/06/16	4.40
02/12/15	4.49
10/11/15	4.52
09/12/15	4.53
16/12/15	4.54
11/01/16	4.56
30/11/15	4.57
30/06/16	4.60
22/03/16	4.60
15/03/16	4.60
15/12/15	4.60
30/03/16	4.70
10/11/15	4.81
22/12/15	4.88
16/06/16	4.90
19/11/15	5.16
29/06/16	5.20
24/06/16	5.20
06/11/15	5.32

(Continua...)

Percentuale di Vuoti	
09/11/15	5.48
25/02/16	5.50
27/06/16	5.50
11/05/16	5.60
20/10/15	5.68
11/11/15	5.78
23/10/15	5.80
07/01/16	5.90
04/12/15	5.99
09/10/15	6.05
16/11/15	6.10
12/11/15	6.15
12/10/15	6.15
13/11/15	6.18
20/05/16	6.20
16/10/15	6.20
06/05/16	6.25
09/05/16	6.43
29/05/15	6.44
04/05/16	6.45
07/10/15	6.47
07/11/15	6.51
06/10/14	6.58
07/08/15	6.60
08/10/15	6.76
16/11/15	6.84
05/10/15	6.95
26/04/16	6.98
08/09/14	7.00
16/09/14	7.08
22/04/16	7.10
05/10/15	7.11
29/09/15	7.14
08/10/15	7.15
15/09/14	7.18
06/08/15	7.22
09/09/14	7.25
13/10/15	7.25
28/05/15	7.42
05/11/15	7.50

(Continua...)



Corso d'Opera		
Media	Varianza	Dev. Standard
5,55291	2,089310998	1,507028136

Successivamente si è provveduto a identificare la distribuzione di probabilità utilizzando una distribuzione t-student in quanto, in molti casi, la numerosità della popolazione, costituente la mia campionatura, era esigua.

Sappiamo infatti che la stessa distribuzione è dipendente dalla numerosità n dei campioni (nell'esempio precedente è n = 14 per i campioni prelevati in stabilimento e n = 84 per i campioni prelevati in corso d'opera).

Solitamente per n superiori alle 30 osservazioni la distribuzione t-student tende a sovrapporsi sempre di più alla distribuzione normale.

Riporto di seguito (Fig. 10) le distribuzioni sovrapposte relative all'esempio precedentemente esposto.

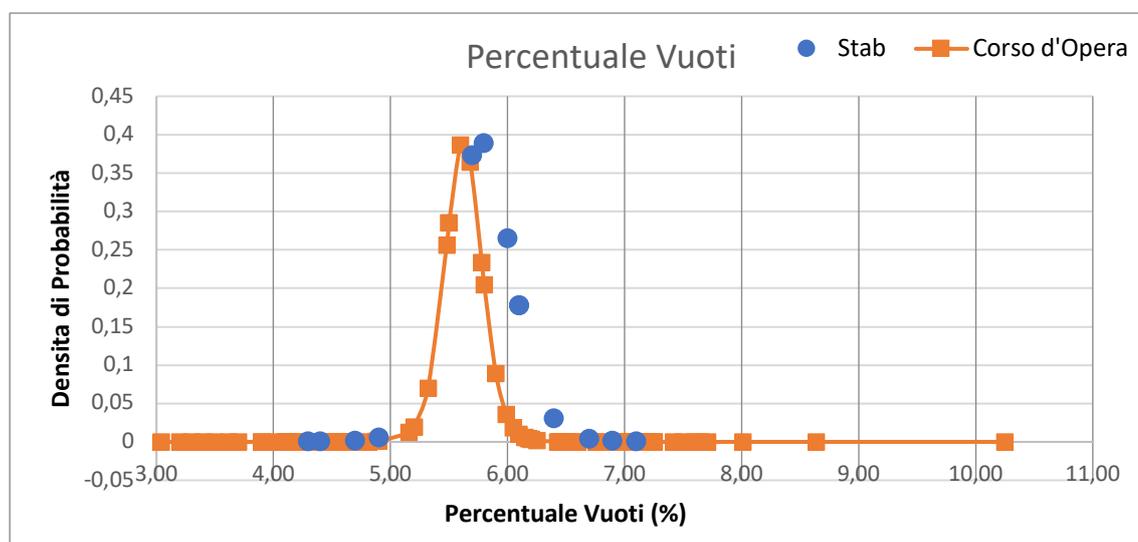


Figura 10

Le seguenti distribuzioni sono state calcolate su Excel usando la formula DISTRIB.T.N.

Come possiamo notare le suddette campane approssimano in maniera generica la campana di Gauss, centrata in prossimità della media campionaria della popolazione.

Come possiamo notare nel grafico sono riportate con i pallini blu i risultati ricavati dai campioni in stabilimento, utilizzati come punti di controllo, mentre la curva arancione rappresenta la distribuzione di probabilità dei risultati ottenuti dai campioni prelevati in opera.

Leggendo il grafico su riportato notiamo che i dati di controllo (campioni prelevati in Stabilimento) sono leggermente traslati di una percentuale di circa 0,3% rispetto ai dati ricavati da campioni prelevati in fase di esecuzione.

Essendo questo scostamento molto piccolo possiamo considerare un congruenza tra i dati di controllo e quelli derivanti dai prelievi effettuati in corso d'opera, perciò possiamo affermare che per quanto riguarda la percentuali dei vuoti, la miscela che è stata stesa ha caratteristiche pressoché identiche a quella prodotta in stabilimento, per essere sottoposta a controlli di accettazione, in modo che la miscela utilizzata dia alla costruenda strada le caratteristiche per il quale è stata progettata.

Ovviamente per verificare che la miscela stesa sia praticamente la stessa di quella prelevata in fase di prequalifica bisogna considerare tutti i parametri che sono stati citati in precedenza.

Successivamente si è provveduto al controllo della miscela in funzione dei limiti imposti da Capitolato, sia per i dati ricavati dai campioni prelevati in stabilimento in fase di prequalifica, sia per quelli prelevati in fase di esecuzione.

Essendo il giudizio sulla qualità del conglomerato basato sulla media campionaria, il rischio del produttore può essere valutato calcolando la probabilità che tale media sia minore dei limiti imposti da Capitolato.

Standardizzando i limiti di specifica si ottiene quindi:

$$t_i = \frac{\text{lim. inf} - \mu}{s/\sqrt{n}} \quad t_s = \frac{\text{lim. sup} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

dove  $t_i$  e  $t_s$  sono i valori della normale standard per i limiti inferiore e superiore.

Utilizzando la formula DISTRIB.T.N (limite ; n-1 ;VERO), calcolo la distribuzione cumulata e perciò la probabilità che si abbia una popolazione con media campionaria inferiore o superiore al limite imposto da Capitolato (Tab 1, Tab 2).

Si ricava così, riferendoci all'esempio precedente, che le probabilità di ottenere un valore inferiore al 4,0% o superiore al 7,0% sono rispettivamente:

<b>Stabilimento</b>	<b>lim inf</b>	<b>lim sup</b>	
	4	7	
	<b>Ti</b>	<b>Ts</b>	
	-6,841629538	4,709173578	
	<b>P(x &lt; lim inf)</b>	<b>P(x &gt; lim sup)</b>	<b>Ptot %</b>
0,00	2,5E-02	0,03	

(Tabella 1)

<b>Corso d'Opera</b>	<b>lim inf</b>	<b>lim sup</b>	
	4	7	
	<b>Ti</b>	<b>Ts</b>	
	-9,444168423	8,800649647	
	<b>P(x &lt; lim inf)</b>	<b>P(x &gt; lim sup)</b>	<b>Ptot %</b>
0,00	7,0E-05	0,00	

(Tabella 2)

Per valutare la precisione della stima, sono stati calcolati i limiti di confidenza considerando un livello di fiducia pari al 95%.

<b>Stabilimento</b>	<b>LIVELLO DI FIDUCIA</b>	<b>ALFA/2</b>	
	0,95	0,025	
	<b>t <math>\alpha/2</math></b>		
	2,1788		
		<b>&lt; <math>\mu</math> &lt;</b>	
	5,21		6,34

(Tabella 3)

<b>Corso d'Opera</b>	<b>LIVELLO DI FIDUCIA</b>	<b>ALFA/2</b>	
	0,95	0,025	
	<b>t <math>\alpha/2</math></b>		
	1,9890		
		<b>&lt; <math>\mu</math> &lt;</b>	
	5,23		5,88

(Tabella 4)

I risultati ottenuti (Tab 3, Tab 4) sembrerebbero indicare che si ha una probabilità del 95% che la percentuale dei vuoti dei conglomerati analizzati siano compresi negli intervalli sopra riportati. Tuttavia, ricordando l'interpretazione frequentistica della probabilità, si può comprendere come tale conclusione sia errata.

L'interpretazione corretta dei risultati, infatti, porta a concludere che, ripetendo la procedura di campionamento un numero abbastanza elevato di volte, il 95% degli intervalli ottenuti conterrà il valore di  $\mu$ .

Gli intervalli di tolleranza sono un altro strumento molto utile nell'ambito dei controlli.

A differenza degli intervalli di confidenza, che forniscono dei limiti per i parametri di una popolazione, i limiti di tolleranza (Tab 5, Tab 6) definiscono un intervallo all'interno del quale ci si aspetta che ricada una certa frazione della popolazione.

Quando media e deviazione standard non sono noti si usa un valore  $k$  che dipende dal livello di confidenza e dal livello di tolleranza, riportato in apposite tabelle.

n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2		
13	0,9	0,05		
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td><b>k</b></td> </tr> <tr> <td>2,5870</td> </tr> </table>			<b>k</b>	2,5870
<b>k</b>				
2,5870				
$< x <$				
3,35		8,20		

(Tabella 5)

n	LIVELLO DI TOLLERANZA								
84	0,9								
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td><b>k</b></td> <td>sup</td> <td>inf</td> </tr> <tr> <td>1,8998</td> <td>90</td> <td>80</td> </tr> </table>				<b>k</b>	sup	inf	1,8998	90	80
<b>k</b>	sup	inf							
1,8998	90	80							
		1,889	1,907						
$< x <$									
2,69			8,42						

(Tabella 6)

Si è calcolato così l'intervallo di tolleranza all'interno del quale ci si aspetta che ricada il 90% dei valori del contenuto di bitume, con un livello di confidenza del 95%.

Per verificare che i campioni analizzati provengano da una popolazione con distribuzione normale sono stati costruiti i relativi grafici di probabilità normale.

Inizialmente le osservazioni sono poste in ordine crescente, calcolandone il livello con la relazione:

$$p_i = \frac{i - 0,5}{n}$$

dove  $i$  è l'ordine dell'osservazione e  $n$  la numerosità del campione. In corrispondenza di ciascun livello si calcolano quindi i quantili della distribuzione normale standard:

$$z_i = F^{-1}(P_i)$$

dove la funzione  $F^{-1}$  è l'inversa della distribuzione normale standard cumulata.

Per stabilire la normalità ci si basa sulla linearità della relazione tra  $z_i$  ed i dati sperimentali  $x_i$  (Fig. 11, Fig. 12) e comunemente tale di giudizio è di tipo soggettivo.

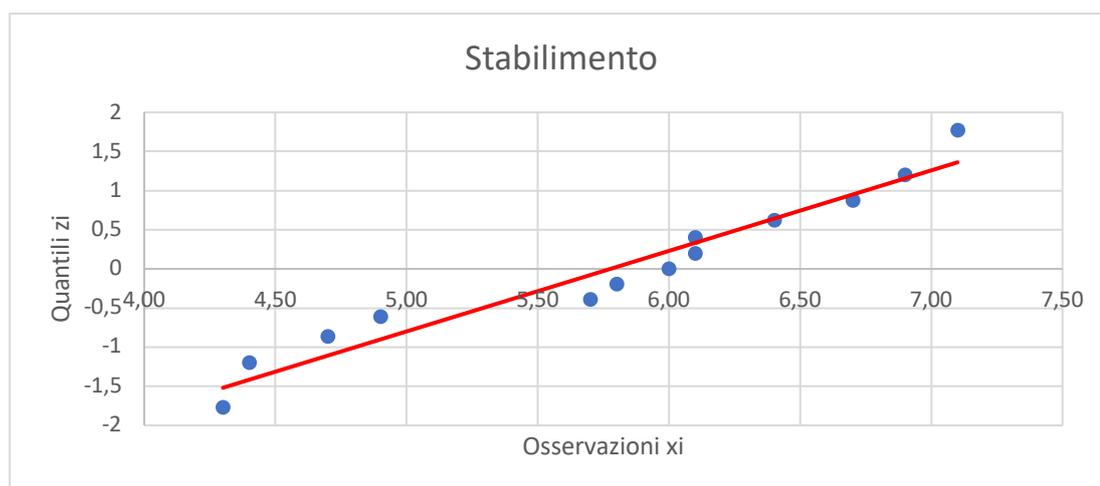


Figura 11

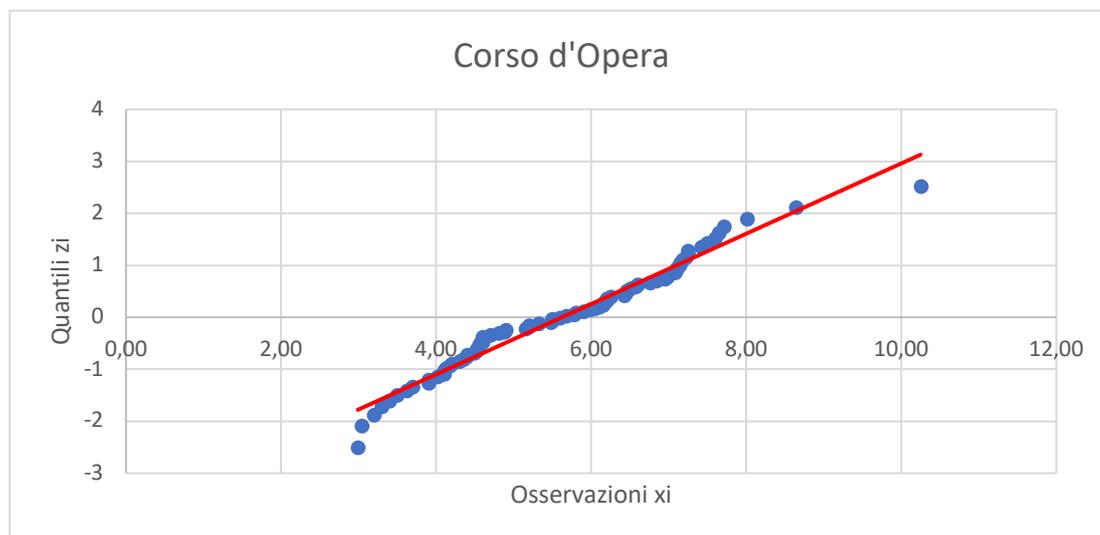


Figura 12

E' stato verificato se fosse possibile accettare il lotto sulla base del criterio secondo cui il valore medio di vuoti debba essere compreso nell'intervallo dettato dalle specifiche di Capitolato.

Per prendere questa decisione è stato effettuato il seguente test di ipotesi:

- $H_0: \text{lim.inf} (\%) < \mu < \text{lim.sup} (\%)$  (il lotto è conforme alle specifiche)
- $H_1: \mu < \text{lim.inf} (\%) \ \& \ \mu > \text{lim.sup} (\%)$  (il lotto non è conforme alle specifiche)

E' stato fissato il livello di significatività  $\alpha = 5\%$ , il che equivale ad accettare il rischio (per l'impresa costruttrice) che 5 volte su 100 un lotto caratterizzato da un valore medio di vuoti residui esterno all'intervallo dettato dalle specifiche di Capitolato sia rifiutato nonostante sia conforme alle specifiche predette (errore di prima specie) (Tab 7, Tab 8).

Stabilimento	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
4	$< \mu <$	7	0,259722 2	5,777	0,05
	$t_1$	$t_2$	$-\alpha/2$	$t_{\alpha/2}$	
	6,84	-4,71	-2,1788	2,1788	

(Tabella 7)

Poiché  $t_1$  e  $t_2$  sono all'interno della regione di accettazione del test, l'ipotesi nulla dev'essere accettata; in altri termini i dati ottenuti mediante il campionamento non hanno consentito il rifiuto dell'ipotesi nulla con livello di significatività del 5%.

$t_{\alpha/2}$  e  $-t_{\alpha/2}$  sono stati calcolati attraverso la funzione Excel INV.T.2T( 5% ; n-1), mentre

$t_1$  e  $t_2$  seguono la formula  $t_{1,2} = \frac{\text{lim}-\mu}{\sigma_x}$  con  $\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ .

$$t_1 > -t_{\alpha/2} \ \& \ t_2 < t_{\alpha/2}$$

Perciò le Specifiche di Capitolato sono rispettate.

<b>Corso d'Opera</b>	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
4	$< \mu_0 <$	7	0,16443025	5,553	0,05
t1		t2	$-\alpha/2$		$\alpha/2$
9,44		-8,80	-1,9890		1,9890

(Tabella 8)

Stesso procedimento è stato svolto per i prelievi effettuati in corso d'opera prima della stesa.

Si riporta nel seguente grafico (Fig 13) le curve della densità di probabilità in cui compaiono anche i limiti che delimitano un'area totale esterna pari alla significatività del 5%.

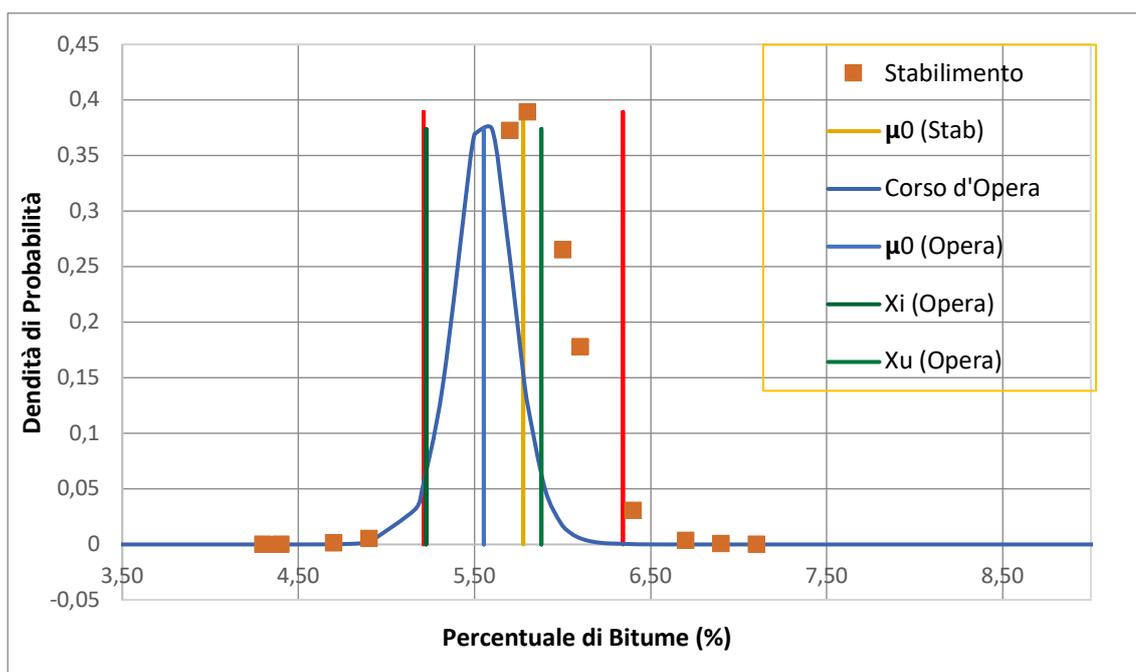


Figura 13

Per avere una misura, in termini di probabilità, della distanza tra la statistica test e il limite della zona di accettazione si può calcolare il valore p-dei-dati (*P-value*) ossia il livello di significatività critico per cui la decisione cambia da accettazione a rifiuto.

Spesso non è possibile calcolare con precisione tale valore utilizzando le normali tabelle della distribuzione  $t$ . Considerando quindi la scarsa disponibilità dei dati, si è deciso di effettuare per ogni valore due test,  $p$ -value relativi ai limiti di Capitolato.

Perciò assumendo che, sotto ipotesi nulla, la media della popolazione sia uguale al valore del limite inferiore o superiore imposto da Capitolato, si è ottenuto (Tab 9, Tab 10) che la probabilità di osservare un dato più estremo rispetto alla media campionaria calcolata è:

<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4	$< \mu_0 <$	7
	ti		tu
	6,84		-4,71
	p-value		p-value
	99,99910329 Non Rifiuto la nulla		99,97 Non Rifiuto la nulla

(Tabella 9)

$t_1$  e  $t_2$  seguono la formula  $t_{1,2} = \frac{lim-\mu}{\sigma_x}$  con  $\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ , mentre con la formula Excel DISTRIB.T.N (  $t_{i,u}$  ;  $n-1$  ; VERO) si è calcolata la distribuzione cumulata e quindi la probabilità ( $p$ -value) di avere un dato troppo estremo rispetto alla media considerata nei due test.

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4	$< \mu_0 <$	7
	ti		tu
	9,44		-8,80
	p-value		p-value
	100 Non Rifiuto la nulla		100,00 Non Rifiuto la nulla

(Tabella 10)

Si rifiuta l'ipotesi nulla  $H_0$  se la probabilità calcolata è minore del 5%.

Si nota che in nessun test viene rifiutata l'ipotesi nulla, di conseguenza le specifiche di Capitolato sono rispettate.

E' possibile che una media sia più esterna rispetto alle specifiche, ma essendo molto vicina al limite imposto non porterà al rifiuto dell'ipotesi nulla.

Come precedentemente detto, si è provveduto al confronto delle curve riguardanti la densità di probabilità, per quanto riguarda:

1. la percentuale di bitume;
2. la percentuale dei vuoti;
3. la stabilità Marshall;
4. la rigidezza Marshall.

Inizialmente sono stati messi a confronto i dati relativi ai campioni prelevati in stabilimento e quelli prelevati in corso d'opera nel Lotto 1.

#### ❖ Base

Per quanto riguarda la percentuale di bitume possiamo notare, dal grafico della distribuzioni di probabilità (*Fig 1.1.1.1*), che con buona approssimazione i punti di controllo (stabilimento) sono per lo più coincidenti, con uno scostamento abbastanza ridotto del, circa, 0,25%. Approssimativamente, quindi, i dati di controllo sono conformi con quelli relativi alla fase di esecuzione.

Il confronto riguardante la percentuale di vuoti ci permette di riscontrare che i punti di controllo sono quasi coincidenti e perciò concordi con quelli riguardanti la fase di esecuzione. (*Fig 1.1.2.1*)

Si può notare, per quanto riguarda la stabilità, una certa congruenza con i dati di stabilimento, infatti, qualora fossero stati effettuati più prelievi, nella maggior parte dei casi, questi ultimi andavano a sovrapporsi, quasi perfettamente, con i dati ricavati dai prelievi in corso d'opera. (*Fig 1.1.3.1*)

Così come per la stabilità, anche per la rigidezza otteniamo circa lo stesso risultato per quanto riguarda la rigidezza. (*Fig 1.1.4.1*)

#### ❖ Binder

Il confronto riguardante la percentuale di bitume ci fa notare che i dati di controllo sono, con buona approssimazione, congruenti ai campioni prelevati in fase di esecuzione, con uno leggero scostamento sulla sinistra. (*Fig 1.2.1.1*)

Per quanto riguarda la percentuale di vuoti si può notare, dal grafico delle distribuzioni di probabilità (*Fig 1.2.2.1*), una leggera congruenza tra i punti di controllo (stabilimento) e i dati relativi ai campioni prelevati in corso d'opera.

Si può notare infatti che, in fase di esecuzione, la percentuale dei vuoti è maggiore rispetto alla fase di prequalifica, avendo una curva (corso d'opera) traslata a destra di circa 1%.

Dai punti di controllo si nota che, in riferimento alla stabilità, il materiale usato in fase di stesa ha delle caratteristiche superiori al materiale prelevato in stabilimento. (*Fig 1.2.3.1*)

Per quanto riguarda la rigidità, dai risultati ottenuti, valgono le stesse considerazioni fatte per la stabilità. (*Fig 1.2.4.1*)

#### ❖ Drenante

Per quanto riguarda la percentuale di bitume, come si nota dal grafico delle distribuzioni di probabilità (*Fig 1.3.1.1*), con buona approssimazione, i punti di controllo (stabilimento) sono per lo più coincidenti, con uno scostamento abbastanza ridotto di circa lo 0,3%.

I dati di controllo, perciò, sono conformi con quelli relativi alla fase di esecuzione.

Il confronto riguardante la percentuale di vuoti ci permette di riscontrare che i punti di controllo sono coincidenti in maniera quasi perfetta e perciò concordi con quelli riguardanti la fase di esecuzione. (*Fig 1.3.2.1*)

Per quanto riguarda lo strato drenante non sempre si avevano a disposizione i dati delle prove Marshall, riguardanti la stabilità e la rigidità.

Successivamente sono stati messi a confronto i dati relativi ai campioni prelevati in stabilimento e quelli prelevati in corso d'opera nel Lotto 3.

#### ❖ Base

Per quanto riguarda la percentuale di bitume possiamo notare, dal grafico delle distribuzioni di probabilità (*Fig 2.1.1.1*), che con buona approssimazione i punti di controllo (Stabilimento) sono per lo più congruenti.

Il confronto riguardante la percentuale di vuoti ci permette di riscontrare che i punti di controllo sono traslati a destra, del 0,4 % circa, rispetto alla curva dei campioni prelevati in corso d'opera. (*Fig 2.1.2.1*)

Notiamo, per quanto riguarda la stabilità, che il materiale usato in fase di stesa ha delle caratteristiche superiori al materiale prelevato in stabilimento. (*Fig 2.1.3.1*)

La rigidità è invece, con buona approssimazione, corrispondente ai dati di controllo. (*Fig 2.1.4.1*)

#### ❖ Binder

Il confronto riguardante la percentuale di bitume ci fa notare che i dati di controllo sono, con buona approssimazione, congruenti ai campioni prelevati in fase di esecuzione. (*Fig 1.2.1.1*)

Per quanto riguarda la percentuale di vuoti possiamo notare che, dal grafico delle distribuzioni di probabilità (*Fig 2.2.2.1*), si ha una grossa incongruenza tra i punti di controllo (Stabilimento) e i dati relativi ai campioni prelevati in corso d'opera. Infatti, notiamo che, in fase di esecuzione, la percentuale dei vuoti è molto minore rispetto alla fase di prequalifica, avendo una curva (corso d'opera) traslata a sinistra di circa 2%.

Si nota dai punti di controllo, in riferimento alla stabilità, che il materiale usato in fase di stesa ha delle caratteristiche superiori al materiale prelevato in stabilimento. (*Fig 1.2.3.1*)

Per quanto riguarda la rigidità, si nota, dai punti di controllo, che il materiale usato in fase di stesa ha delle caratteristiche leggermente inferiori al materiale prelevato in stabilimento. (*Fig 2.2.4.1*)

#### ❖ Drenante

Per quanto riguarda la percentuale di bitume possiamo notare, dal grafico delle distribuzioni di probabilità (*Fig 2.3.1.1*), una buona congruenza tra i punti di controllo (Stabilimento) e quelli ricavati dai prelievi in corso d'opera.

Il confronto riguardante la percentuale di vuoti ci permette di riscontrare che i punti di controllo sono traslati verso destra (maggiore) con quelli riguardanti la fase di esecuzione. (*Fig 2.1.2.1*)

Per quanto riguarda lo strato drenante non sempre si avevano a disposizione i dati delle prove Marshall, riguardanti la stabilità e la rigidità.

Infine sono stati messi a confronto i dati relativi ai campioni prelevati in corso d'opera del Lotto 1 e del Lotto 3

#### ❖ Base

Per quanto riguarda la percentuale di bitume possiamo notare, dal grafico delle distribuzioni di probabilità (*Fig 3.1.1.1*), che la curva del tenore di bitume risulta leggermente minore nel Lotto 1 rispetto al Lotto 3, con uno scostamento di circa 0,25 %.

Il confronto riguardante la percentuale di vuoti ci permette di riscontrare che la curva del Lotto 1 è traslata verso destra del 1 % circa (maggiore del Lotto 3) rispetto alla curva del Lotto 3. (*Fig 3.1.2.1*)

Notiamo, per quanto riguarda la stabilità, le curve di probabilità sono pressoché identiche, leggermente maggiore nel Lotto 3. (*Fig 3.1.3.1*)

La rigidità è invece, con buona approssimazione, identica per i due lotti, leggermente maggiore nel Lotto 1. (*Fig 3.1.4.1*)

#### ❖ Binder

Il confronto riguardante la percentuale di bitume ci fa notare che le due curve sono, con buona approssimazione, simili, leggermente traslata verso destra risulta la curva del Lotto 3 (scostamento 0,3%). (*Fig 3.2.1.1*)

Per quanto riguarda la percentuale di vuoti possiamo notare che, dal grafico delle distribuzioni di probabilità (*Fig 3.2.2.1*), si ha una grossa differenza tra le curve del Lotto 1 e del Lotto 3. Infatti, notiamo che la percentuale dei vuoti del Lotto 1 è traslata a destra di circa l'1 % (maggiore) rispetto a quella del Lotto 3.

Si nota, in riferimento alla stabilità, che le curve della densità di probabilità dei due Lotti risultano pressoché simili, leggermente superiori nel Lotto 3. (*Fig 3.2.3.1*)

Per quanto riguarda la rigidità, si nota che le curve della densità di probabilità dei due Lotti risultano pressoché simili, leggermente superiori nel Lotto 1. (*Fig 3.2.4.1*)

#### ❖ Drenante

Per quanto riguarda la percentuale di bitume possiamo notare, dal grafico delle distribuzioni di probabilità (*Fig 3.3.1.1*), che la curva del Lotto 1 è leggermente maggiore rispetto a quella del Lotto 3 (traslata a destra del 0,2%).

Il confronto riguardante la percentuale di vuoti ci permette di riscontrare che la curva relativa alla densità di probabilità del Lotto 3 è molto maggiore rispetto al Lotto 1. (*Fig 3.1.2.1*)

Per quanto riguarda lo strato drenante non sempre si avevano a disposizione i dati delle prove Marshall, riguardanti la stabilità e la rigidità.

Per verificare se i campioni utilizzati provengono da una popolazione con distribuzione normale sono stati costruiti i relativi grafici di probabilità normale.

Dai suddetti grafici ci si accorge che tutti i campioni provengono da popolazioni normali.

Successivamente su queste popolazioni è stato fatto un controllo diretto, con i limiti imposti dal Capitolato, attraverso gli intervalli di confidenza e di tolleranza, attraverso il calcolo della probabilità di prelevare campione con valori esterni ai limiti imposti e attraverso l'utilizzo di ipotesi statistiche, da cui sono scaturite le conclusioni esposte successivamente.

## 6. Conclusioni

La verifica è basata su un semplice confronto dei valori medi, ottenuti dalle prove, con i valori dettati dal Capitolato Speciale d'Appalto, non consente l'elaborazione di un'analisi reale e completa del materiale costituente la pavimentazione stradale della SS729.

L'obiettivo di questa Tesi è stato quello di sviluppare una metodologia, utilizzando strumenti di controllo statistico, in grado di supportare la Direzione Lavori nell'elaborazione di un'analisi più dettagliata sui conglomerati bituminosi utilizzati.

Il lavoro svolto utilizzando i livelli di confidenza, tolleranza e i test delle ipotesi, ha permesso di effettuare un controllo complessivo sulla base dei limiti imposti da Capitolato ANAS. E' stato possibile notare come per i due lotti posti a confronto, i limiti di Capitolato, siano sempre rispettati per la stragrande maggioranza dei casi.

Verificato quanto sopra, si è provveduto ad effettuare un confronto statistico tra i Lotti 1 e 3, e dai risultati ottenuti a seguito dell'elaborazione dei dati si è addivenuti a diverse considerazioni tecnico/statistiche in merito alle miscele utilizzate.

Confrontando quindi i prelievi effettuati in fase di prequalifica e durante la realizzazione in corso d'opera dei Lotti 1 e 3 e successivamente confrontando i dati lotto per lotto, è stato possibile verificare che le miscele usate nei due Lotti in fase di prequalifica (accettazione), sono praticamente congruenti, fatta eccezione per qualche leggero scostamento.

Dal confronto dei campioni prelevati in corso d'opera tra i due lotti, infatti, è emerso un leggero scostamento riguardante le percentuali dei vuoti (per base e binder) che ha portato ad affermare che le miscele utilizzate sono pressoché simili.

Diverso ragionamento, invece, va affrontato relativamente allo strato drenante dove è stata riscontrata una percentuale di vuoti molto maggiore sul Lotto 3 rispetto al Lotto 1.

Quanto sopra detto, ha permesso di fare alcune considerazioni riguardanti la prestazione del manto stradale a breve e a lungo termine, prendendo in considerazione sia il lato economico, riguardante gli ingenti interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria,

che quello logistico conseguente all'interruzione del traffico veicolare con grossi disguidi per la popolazione.

Continuando nell'analisi dei risultati ottenuti è possibile affermare, con sufficiente certezza, come nel Lotto 3 sia stata utilizzata una miscela decisamente più drenante rispetto a quella del Lotto 1.

Questa ultima considerazione ha portato a supporre che, a breve termine, la pavimentazione del Lotto 3 è maggiormente performante, avendo una maggiore capacità drenante che si traduce in una maggiore sicurezza e affidabilità dovuta alla mitigazione del fenomeno dell'acquaplaning. Di contro, a lungo termine, la stessa pavimentazione, potrà presentare importanti problemi di deterioramento in anticipo, rispetto alla pavimentazione del Lotto 1, che impegnano l'Ente gestore ad interventi ordinari.

Quanto sopra detto ha portato a pensare che la pavimentazione stradale del Lotto 3 avrà necessità di una manutenzione anticipata, rispetto a quella del Lotto 1, che inficerà sul costo complessivo (lato economico) dell'opera.

In conclusione è possibile affermare l'importanza che potrebbero avere i controlli di qualità statistici, svolti durante la realizzazione di una qualsiasi opera pubblica o privata, in assenza dei quali le considerazioni precedentemente esposte non sarebbero state possibili.

Infatti, le attività di controllo, oltre a essere un indispensabile strumento di verifica di questo obiettivo, possono costituire una preziosa guida per il miglioramento del processo costruttivo stesso con importanti ripercussioni di tipo qualitativo che si traducono, conseguentemente, in un risparmio economico che va ad incidere nel costo complessivo dell'opera stessa.

## 7. Bibliografia

1. [aut. libro] Felice A. Santagata. *Strade Teoria e Tecnica delle costruzioni stradali*. p. Capitolo 18.
2. [Online] <https://dmi.units.it/~borelli/excel/%A304.htm>.
3. [Online] <http://web.math.unifi.it/users/gandolfi/IntervalliConfidenza.pdf>.
4. *Capitolato Speciale d'Appalto ANAS S.P.A.*
5. *Norme Tecniche.*
6. *I QUADERNI TECNICI Per la salvaguardia delle infrastrutture Volume V.*
7. [Online] <http://math.unife.it/informatica/insegnamenti/statistica-applicata/materiale/levine-capitolo-09.pdf>.
8. [Online] <https://it.knowledgr.com/00514401/IntervalloDiTolleranza>.

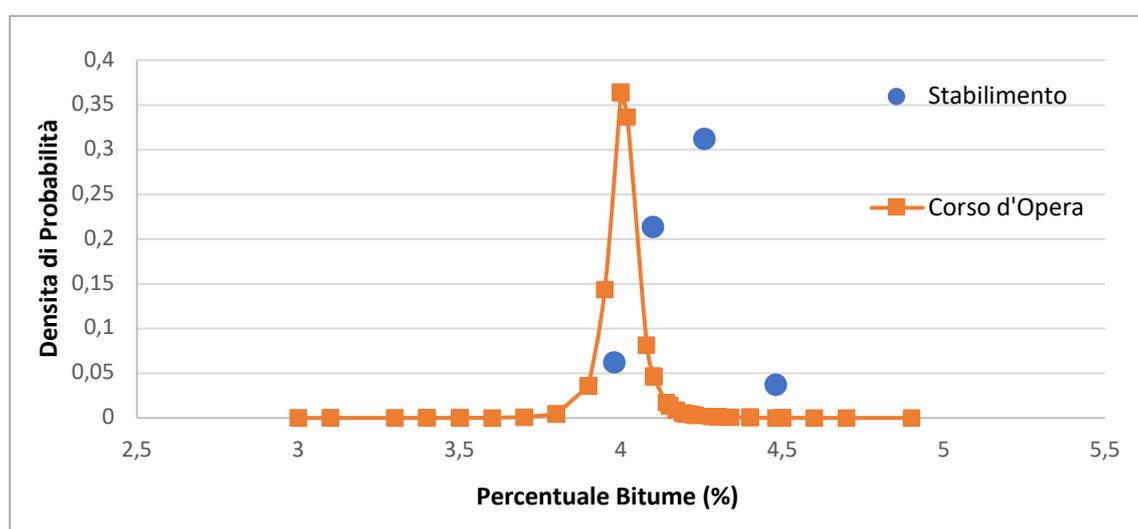
## 8. Allegati

### 8.1. Allegato 1

Nell'allegato 1 troviamo tutti i risultati e i grafici ricavati con Excel, riguardanti il confronto tra i dati ricavati dai campioni prelevati in stabilimento e quelli ricavati in corso d'opera per quanto riguarda il Lotto 1.

#### Base

#### ❖ Percentuale di Bitume



(Figura 1.1.1.1)

Stabilimento	lim inf	lim sup	
	4	5	
	Ti	Ts	
	-1,895900969	7,352396441	
P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %	
7,71	2,6E-01	7,97	

(Tabella 1.1.1.1)

Corso d'Opera	lim inf	lim sup	
	4	5	
	Ti	Ts	
	-0,118491617	24,36977583	
P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %	
45,66	7,6E-03	45,67	

(Tabella 1.1.1.2)

Stabilimento	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2
	0,95	0,025	4	0,9	0,05
	t $\alpha/2$		k		
	3,1824		5,3690		
< $\mu$ <		< x <			
3,86	4,55	3,04	5,37		

(Tabella 1.1.1.3)

<b>Corso d'Opera</b>	<b>LIVELLO DI CONFIDENZA</b>	<b>ALFA/2</b>		<b>n</b>	<b>LIVELLO DI TOLLERANZA</b>		
	\$	0,025		93	0,9		
	<b>t <math>\alpha/2</math></b>				<b>k</b>	sup	inf
	1,9861				1,8845	100	90
						1,874	1,889
	<b>&lt; <math>\mu</math> &lt;</b>				<b>&lt; x &lt;</b>		
	3,92		4,09		3,26		4,75

(Tabella 1.1.1.4)

<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4	< $\mu_0$ <	5
	ti		tu
	1,90		-7,35
	p-value		p-value
92,2873154		99,74	
	Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla

(Tabella 1.1.1.5)

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4	< $\mu_0$ <	5
	ti		tu
	0,12		-24,37
	p-value		p-value
54,70317642		100,00	
	Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla

(Tabella 1.1.1.6)

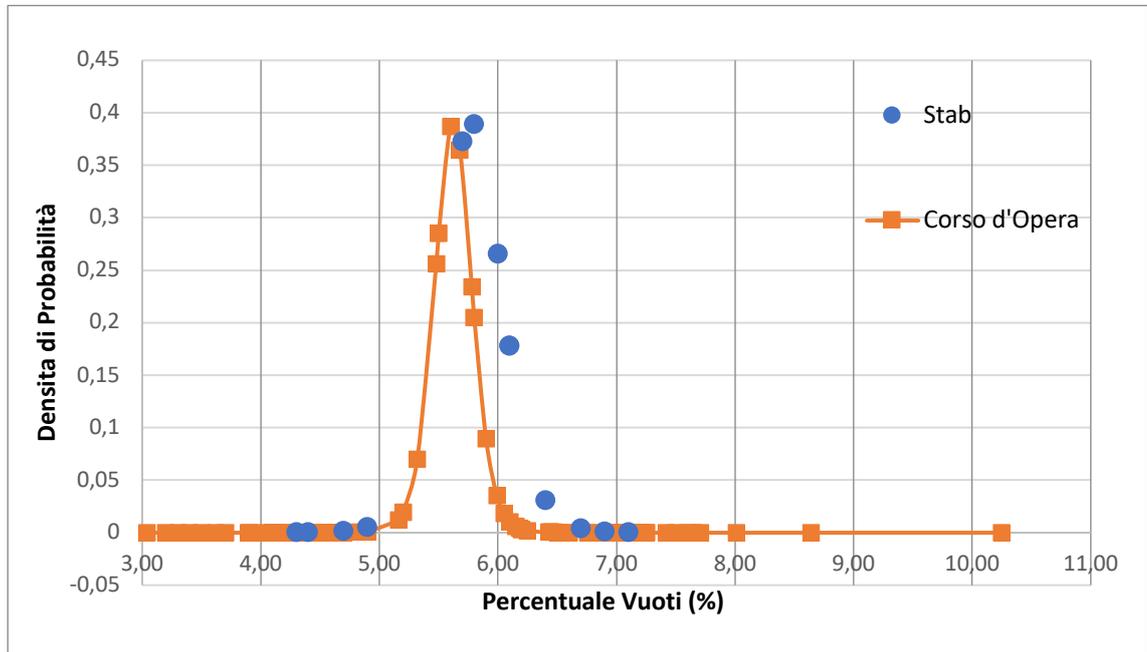
	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
4	< $\mu_0$ <	5	0,108128	4,205	0,05
t1		t2	$t\alpha/2$		$t\alpha/2$
1,90		-7,35	-3,1824		3,1824
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	3,8608884		4,54911159

(Tabella 1.1.1.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
4	< $\mu_0$ <	5	0,0408359	4,005	0,05
t1		t2	$t\alpha/2$		$t\alpha/2$
0,12		-24,37	-1,9861		1,9861
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	3,9237351		4,0859423

(Tabella 1.1.1.8)

❖ Percentuale di Vuoti



(Figura 1.1.2.1)

Stabilimento	lim inf	lim sup	
	4	7	
	Ti	Ts	
	-6,841629538	4,709173578	
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
	0,00	2,5E-02	0,03

(Tabella 1.1.2.1)

Corso d'Opera	lim inf	lim sup	
	4	7	
	Ti	Ts	
	-10,22563625	8,6829368	
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
	0,00	8,0E-05	0,00

(Tabella 1.1.2.2)

Stabilimento	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2
	0,95	0,025	13	0,9	0,05
	t $\alpha/2$			k	
	2,1788			2,5870	
	< $\mu$ <			< x <	
	5,21		6,34	3,35	8,20

(Tabella 1.1.2.3)

Corso d'Opera	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	
	0,95	0,025	84	0,9	
	t $\alpha/2$			k	sup inf
	1,9890			1,8998	90 80
	< $\mu$ <			< x <	
	5,31		5,94	2,86	1,889 1,907
					8,38

(Tabella 1.1.2.4)

<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4	$< \mu_0 <$	7
	t1		tu
	6,84		-4,71
	p-value		p-value
	99,99910329		99,97
	Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla

(Tabella 1.1.2.5)

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4	$< \mu_0 <$	7
	t1		tu
	10,23		-8,68
	p-value		p-value
	100		100,00
	Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla

(Tabella 1.1.2.6)

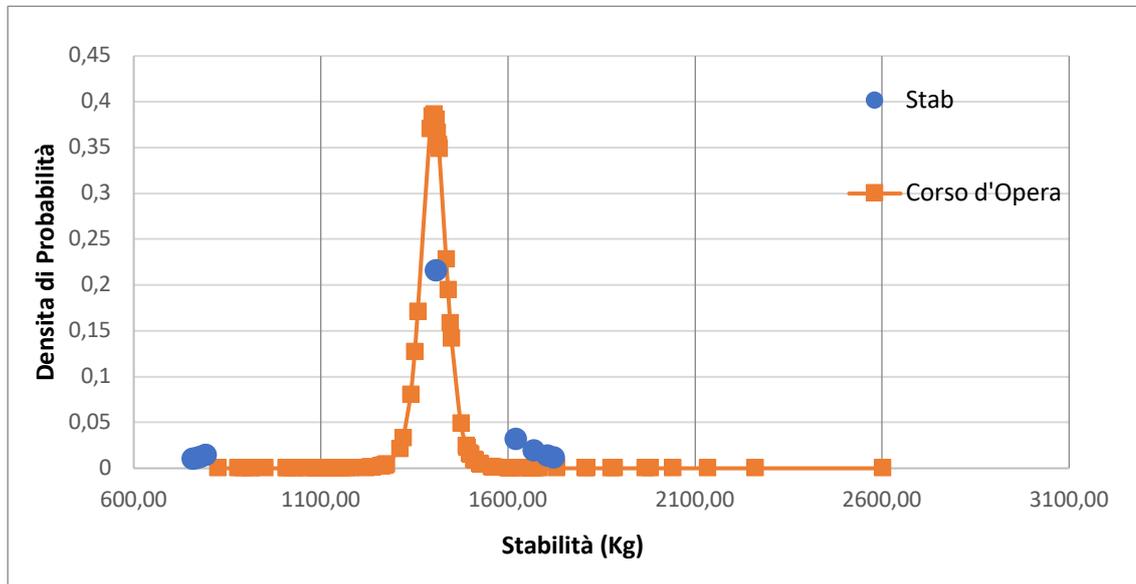
	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
4	$< \mu_0 <$	7	0,2597222	5,777	0,05
t1	t2		$t\alpha/2$		$t\alpha/2$
6,84	-4,71		-2,1788		2,1788
Z1 < Zu	Z2 > Zu		Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0	Non Rifiuto l'ipotesi H0		5,211037		6,34280914

(Tabella 1.1.2.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
4	$< \mu_0 <$	7	0,1586582	5,622	0,05
t1	t2		$t\alpha/2$		$t\alpha/2$
10,23	-8,68		-1,9890		1,9890
Z1 < Zu	Z2 > Zu		Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0	Non Rifiuto l'ipotesi H0		5,3068162		5,93794571

(Tabella 1.1.2.8)

❖ Stabilità Marshall



(Figura 1.1.3.1)

Stabilimento	lim inf		
		700	
	Ti		
		-3,592362361	
	P(x < lim inf)		Ptot %
	0,35		0,35

(Tabella 1.1.3.1)

Corso d'Opera	lim inf		
		700	
	Ti		
		-20,87017864	
	P(x < lim inf)		Ptot %
	0,00		0,00

(Tabella 1.1.3.2)

Stabilimento	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2	
		0,95	0,025	9	0,9	0,05
	t $\alpha/2$				1	
		2,3060			2,4540	
		< $\mu$ <			< x <	
	896,25		1599,88	124,89		

(Tabella 1.1.3.3)

Corso d'Opera	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA			
		0,95	0,025	92	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
		1,9864			1,5390	100	90
		< $\mu$ <				1,527	1,542
	1334,65		1468,17	905,30			

(Tabella 1.1.3.4)

<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione
	700	< $\mu_0$
	ti	
	3,59	
	p-value	
	99,64698977	
	Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 1.1.3.5)

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione
	700	< $\mu_0$
	ti	
	20,87	
	p-value	
	100	
	Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 1.1.3.6)

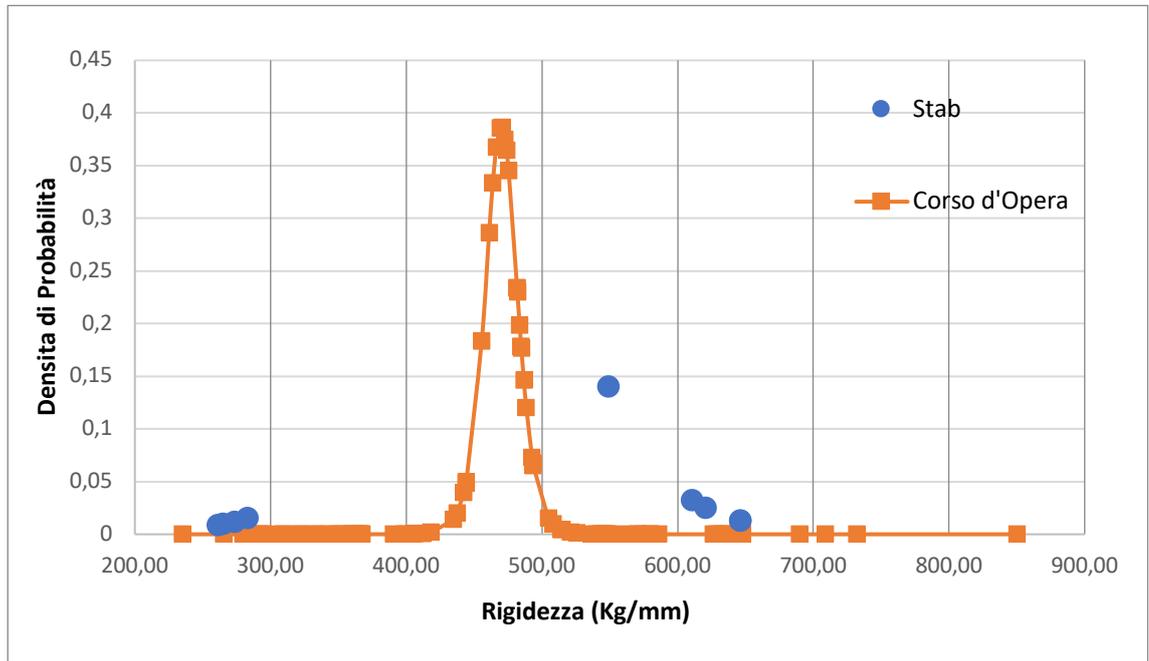
	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
700	< $\mu_0$		152,56386	1248,065	0,05
t1			$t_{\alpha/2}$		
3,59			-1,8595		
Z1 < Zu			Xi		
			964,36485		
Non Rifiuto l'ipotesi H0					

(Tabella 1.1.3.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
700	< $\mu_0$		33,608387	1401,413	0,05
t1			$t_{\alpha/2}$		
20,87			-1,6618		
Z1 < Zu			Xi		
			1345,5636		
Non Rifiuto l'ipotesi H0					

(Tabella 1.1.3.8)

## ❖ Rigidezza Marshall



(Figura 1.1.4.1)

Stabilimento	lim inf		
		250	
	Ti		
		-3,464939546	
	P(x < lim inf)		Ptot %
	0,43		0,43

(Tabella 1.1.4.1)

Corso d'Opera	lim inf		
		250	
	Ti		
		-18,33278861	
	P(x < lim inf)		Ptot %
	0,00		0,00

(Tabella 1.1.4.2)

Stabilimento	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	
		0,95	0,025	9	0,9
	t $\alpha/2$			k	
		2,3060			2,4540
		$< \mu <$			$< x <$
	320,89		602,99		11,63

(Tabella 1.1.4.3)

Corso d'Opera	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA			
		0,95	0,025	92	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
		1,9864			1,5390	100	90
						1,527	1,542
	$< \mu <$			$< x <$			
	446,18		493,86		292,86		

(Tabella 1.1.4.4)

<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione
	250	< $\mu_0$
	t1	
	3,46	
	p-value	
	99,57471112	
Non Rifiuto l'ipotesi H0		

(Tabella 1.1.4.5)

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione
	250	< $\mu_0$
	t1	
	18,33	
	p-value	
	100	
Non Rifiuto l'ipotesi H0		

(Tabella 1.1.4.6)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
250	< $\mu_0$		61,1675639	461,942	0,05
t1			$t_{\alpha/2}$		
3,46			-1,8595		
Z1 < Zu			Xi		
Non Rifiuto l'ipotesi H0			348,197888		

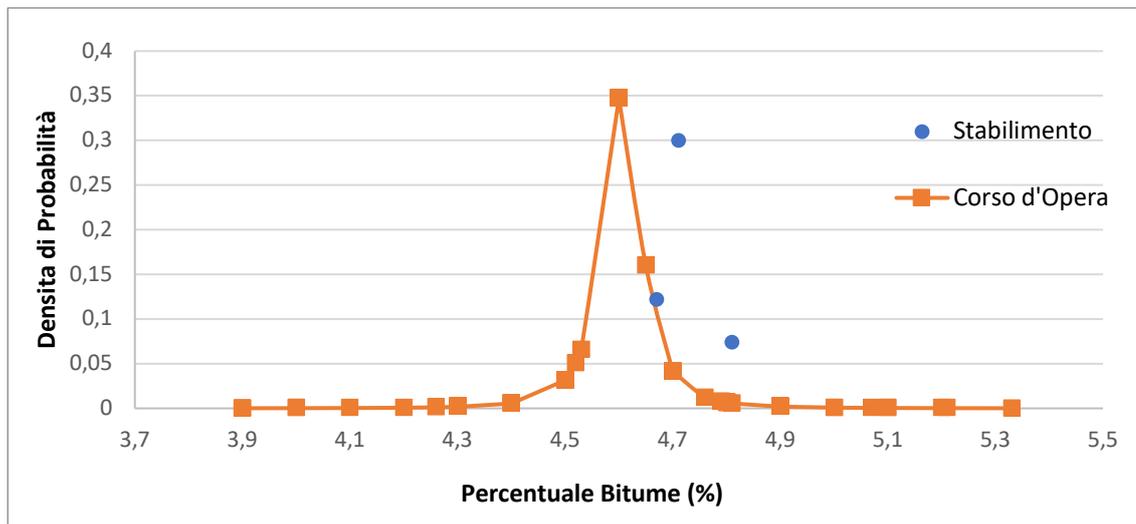
(Tabella 1.1.4.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
250	< $\mu_0$		12,001487	470,021	0,05
t1			$t_{\alpha/2}$		
18,33			-1,6618		
Z1 < Zu			Xi		
Non Rifiuto l'ipotesi H0			450,076999		

(Tabella 1.1.4.8)

## Binder

### ❖ Percentuale di Bitume



(Figura 1.2.1.1)

<b>Stabilimento</b>	lim inf	lim sup	
		4,5	5,5
	Ti	Ts	
		-5,524421306	18,49480176
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
	1,56	1,5E-01	1,71

(Tabella 1.2.1.1)

<b>Corso d'Opera</b>	lim inf	lim sup	
		4,5	5,5
	Ti	Ts	
		-2,835794639	23,94467219
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
	5,26	8,7E-02	5,34

(Tabella 1.2.1.2)

<b>Stabilimento</b>	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2	
		0,95	0,025	3	0,9	0,05
	t $\alpha/2$			k		
		4,3027		8,3800		
		< $\mu$ <			< x <	
	4,55		4,91	4,13	5,33	

(Tabella 1.2.1.3)

<b>Corso d'Opera</b>	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA		
		0,95	0,025	73	0,9	
	t $\alpha/2$			k	sup	inf
		1,9935		1,9224	80	70
		< $\mu$ <			1,907	1,929
	4,53		4,68	3,99	5,22	

(Tabella 1.2.1.4)

<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4,5	$< \mu_0 <$	5,5
	t1		tu
	5,52		-18,49
	p-value		p-value
	98,43805142		99,85
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	

(Tabella 1.2.1.5)

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4,5	$< \mu_0 <$	5,5
	t1		tu
	2,84		-23,94
	p-value		p-value
	99,70346129		100,00
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	

(Tabella 1.2.1.6)

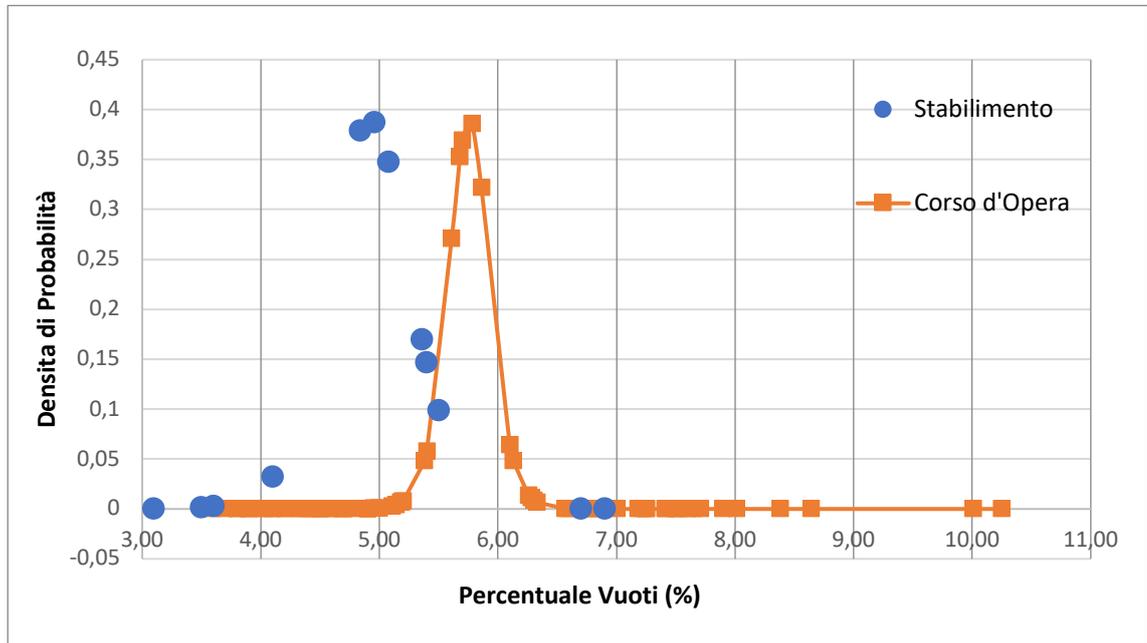
	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
4,5	$< \mu_0 <$	5,5	0,04163332	4,730	0,05
t1		t2	$t_{\alpha/2}$		$t_{\alpha/2}$
5,52		-18,49	-4,3027		4,3027
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	4,55086628		4,909133718

(Tabella 1.2.1.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
4,5	$< \mu_0 <$	5,5	0,03734065	4,606	0,05
t1		t2	$t_{\alpha/2}$		$t_{\alpha/2}$
2,84		-23,94	-1,9935		1,9935
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	4,53145319		4,680327633

(Tabella 1.2.1.8)

❖ Percentuale di Vuoti



(Figura 1.2.2.1)

<b>Stabilimento</b>	lim inf	lim sup	
		3	7
	Ti	Ts	
		-5,58031514	6,045341402
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
		0,01	4,2E-03

(Tabella 1.2.2.1)

<b>Corso d'Opera</b>	lim inf	lim sup	
		3	7
	Ti	Ts	
		-15,72410001	7,101448662
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
		0,00	9,9E-04

(Tabella 1.2.2.2)

<b>Stabilimento</b>	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2	
		0,95	0,025	12	0,9	0,05
	t $\alpha/2$			k		
		2,2010			2,6550	
		< $\mu$ <			< x <	
		4,16		5,68	1,76	8,08

(Tabella 1.2.2.3)

<b>Corso d'Opera</b>	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA			
		0,95	0,025	76	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
		1,9921			1,9158	80	70
		< $\mu$ <				1,907	1,929
		5,41		6,10	2,83		8,68

(Tabella 1.2.2.4)

<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	3	$< \mu_0 <$	7
	$t_i$		$t_u$
	5,58		-6,05
	p-value		p-value
	99,99174527		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 1.2.2.5)

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	3	$< \mu_0 <$	7
	$t_i$		$t_u$
	15,72		-7,10
	p-value		p-value
	100		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 1.2.2.6)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
3	$< \mu_0 <$	7	0,3440666	4,920	0,05
$t_1$		$t_2$	$t\alpha/2$		$t\alpha/2$
5,58		-6,05	-2,2010		2,2010
$Z_1 < Z_u$		$Z_2 > Z_u$	$X_i$		$X_u$
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	4,1627145		5,67728546

(Tabella 1.2.2.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
3	$< \mu_0 <$	7	0,1752422	5,756	0,05
$t_1$		$t_2$	$t\alpha/2$		$t\alpha/2$
15,72		-7,10	-1,9921		1,9921
$Z_1 < Z_u$		$Z_2 > Z_u$	$X_i$		$X_u$
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	5,4064259		6,10462674

(Tabella 1.2.2.8)



<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione
	900	$< \mu_0$
	t1	
	1,95	
	p-value	
	93,84043454	
	Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 1.2.3.5)

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione
	900	$< \mu_0$
	t1	
	11,41	
	p-value	
	100	
	Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 1.2.3.6)

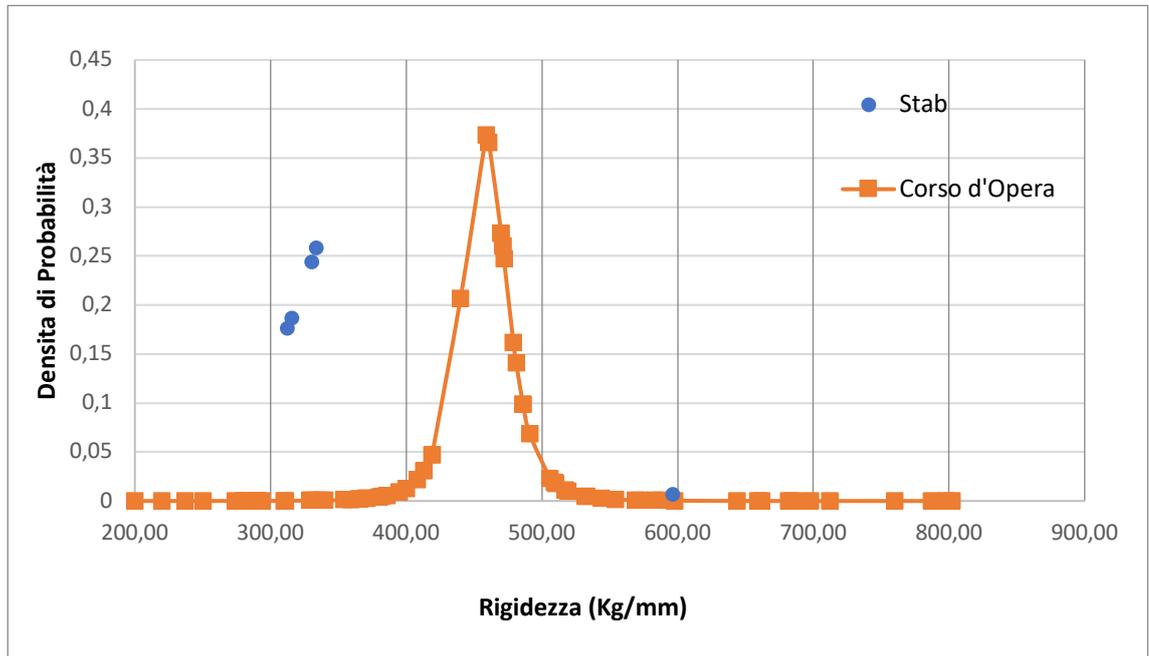
	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$	
	900	$< \mu_0$		109,50845	1113,360	0,05
t1				$t_{\alpha/2}$		
	1,95			-2,1318		
Z1 < Zu				$X_i$		
Non Rifiuto l'ipotesi H0				879,90476		

(Tabella 1.2.3.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$	
	900	$< \mu_0$		36,421394	1315,419	0,05
t1				$t_{\alpha/2}$		
	11,41			-1,6660		
Z1 < Zu				$X_i$		
Non Rifiuto l'ipotesi H0				1254,741		

(Tabella 1.2.3.8)

## ❖ Rigidezza Marshall



(Figura 1.2.4.1)

Stabilimento	lim inf		
		300	
	Ti		
		-1,412849612	
	P(x < lim inf)		Ptot %
	11,53	11,53	

(Tabella 1.2.4.1)

Corso d'Opera	lim inf		
		300	
	Ti		
		-9,314030753	
	P(x < lim inf)		Ptot %
	0,04	0,04	

(Tabella 1.2.4.2)

Stabilimento	LIVELLO DI CONFIDENZA/ALFA/2		n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2	
		0,95	0,025	5	0,9	0,05
	t $\alpha/2$			k		
		2,7764			3,4070	
		< $\mu$ <			< x <	
	225,28		529,56	-40,04		

(Tabella 1.2.4.3)

Corso d'Opera	LIVELLO DI CONFIDENZA/ALFA/2		n	LIVELLO DI TOLLERANZA			
		0,95	0,025	74	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
		1,9930			1,5722	80	70
		< $\mu$ <			< x <	1,559	1,581
	423,85		491,28	228,77			

(Tabella 1.2.4.4)

<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione
	300	$< \mu_0$
	t1	
	1,41	
	p-value	
	88,47144201	
Non Rifiuto la nulla		

(Tabella 1.2.4.5)

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione
	300	$< \mu_0$
	t1	
	9,31	
	p-value	
	100	
Non Rifiuto la nulla		

(Tabella 1.2.4.6)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
300	$< \mu_0$		54,7970565	377,420	0,05
t1			t $\alpha/2$		
1,41			-2,1318		
Z1 < Zu			Xi		
Non Rifiuto l'ipotesi H0			260,601071		

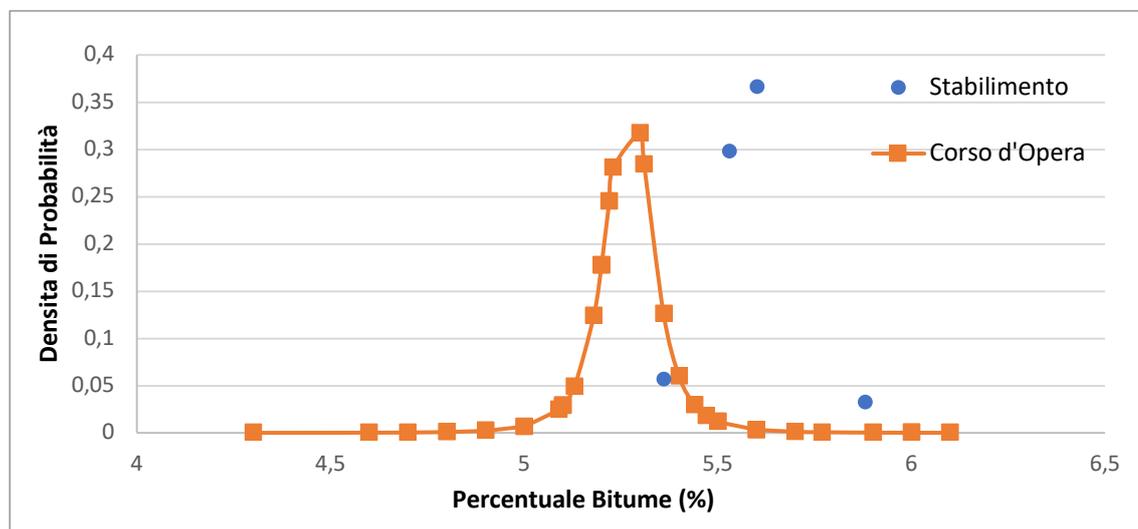
(Tabella 1.2.4.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
300	$< \mu_0$		16,9172265	457,568	0,05
t1			t $\alpha/2$		
9,31			-1,6660		
Z1 < Zu			Xi		
Non Rifiuto l'ipotesi H0			429,383532		

(Tabella 1.2.4.8)

## Drenante

### ❖ Percentuale di Bitume



(Figura 1.3.1.1)

Stabilimento	lim inf	lim sup	
	5	6,5	
	Ti	Ts	
	-5,472307784	8,381635972	
P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %	
0,60	1,8E-01	0,78	

(Tabella 1.3.1.1)

Corso d'Opera	lim inf	lim sup	
	5	6,5	
	Ti	Ts	
	-4,400955505	20,00360367	
P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %	
1,09	1,4E-02	1,10	

(Tabella 1.3.1.2)

Stabilimento	LIVELLO DI CONFIDENZ	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2
	0,95	0,025	4	0,9	0,05
	t $\alpha/2$			k	
	3,1824			5,3690	
	< $\mu$ <			< x <	
	5,25	5,94		4,43	6,76

(Tabella 1.3.1.3)

Corso d'Opera	LIVELLO DI CONFIDENZ	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA		
	0,95	0,025	40	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf
	2,0227			2,0520	40	30
	< $\mu$ <			2,052	2,14	
	5,15	5,39		4,47		6,07

(Tabella 1.3.1.4)

<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	5	$< \mu_0 <$	6,5
	t1		tu
	5,47		-8,38
	p-value		p-value
	99,4001581		99,82
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 1.3.1.5)

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	5	$< \mu_0 <$	6,5
	t1		tu
	4,40		-20,00
	p-value		p-value
	99,9959435		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 1.3.1.6)

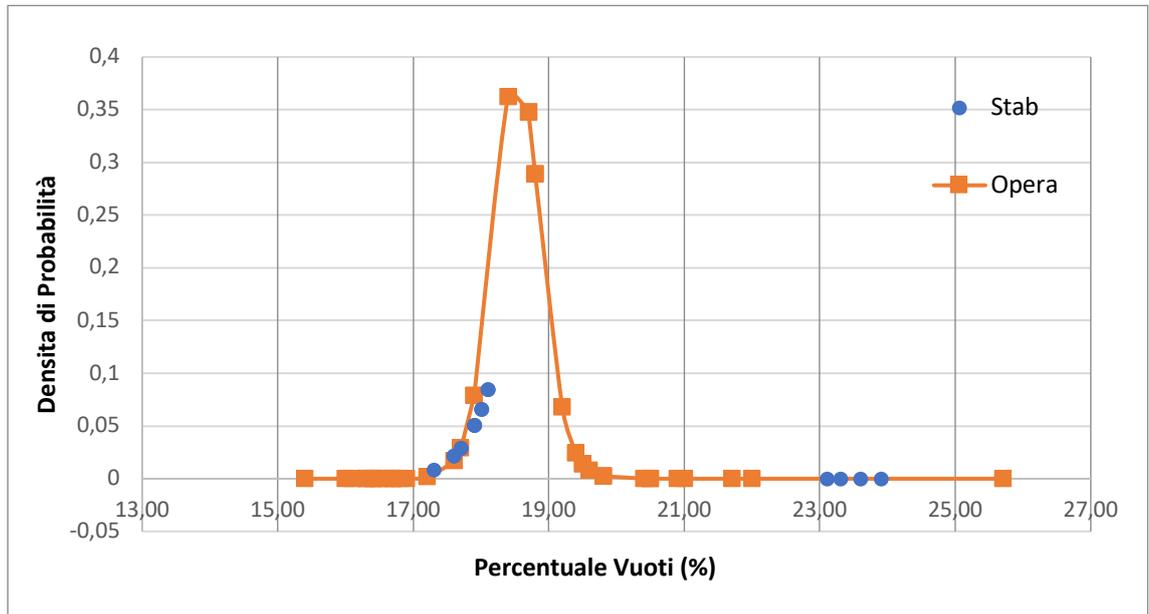
	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
5	$< \mu_0 <$	6,5	0,1082724	5,593	0,05
t1		t2	$t\alpha/2$		$t\alpha/2$
5,47		-8,38	-3,1824		3,1824
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	5,2479288		5,93707116

(Tabella 1.3.1.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
5	$< \mu_0 <$	6,5	0,0614639	5,271	0,05
t1		t2	$t\alpha/2$		$t\alpha/2$
4,40		-20,00	-2,0227		2,0227
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	5,1461775		5,39482252

(Tabella 1.3.1.8)

❖ Percentuale di Vuoti



(Figura 1.3.2.1)

Stabilimento	lim inf	lim sup	
	16	27	
	Ti	Ts	
	-5,081227299	12,21656776	
P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %	
0,01	1,7E-07	0,01	

(Tabella 1.3.2.1)

Corso d'Opera	lim inf	lim sup	
	16	27	
	Ti	Ts	
	-7,296943089	24,37618475	
P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %	
0,00	8,8E-12	0,00	

(Tabella 1.3.2.2)

Stabilimento	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2
	0,95	0,025	16	0,9	0,05
	t $\alpha/2$			k	
	2,1314			2,5870	
	< $\mu$ <			< x <	
	17,88	20,59		12,65	25,81

(Tabella 1.3.2.3)

Corso d'Opera	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	
	0,95	0,025	38	0,9	
	t $\alpha/2$			k	sup
	2,0262			2,0696	40
	< $\mu$ <			< x <	inf
	17,83	19,24		14,10	22,96

(Tabella 1.3.2.4)

<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	16	$< \mu_0 <$	27
	t1		tu
	5,08		-12,22
	p-value		p-value
	99,993232		100,00
	Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla

(Tabella 1.3.2.5)

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	16	$< \mu_0 <$	27
	t1		tu
	7,30		-24,38
	p-value		p-value
	99,99999943		100,00
	Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla

(Tabella 1.3.2.6)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
16	$< \mu_0 <$	27	0,6359192	19,231	0,05
t1		t2	$t\alpha/2$		$t\alpha/2$
5,08		-12,22	-2,1314		2,1314
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	17,87582		20,5866797

(Tabella 1.3.2.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
16	$< \mu_0 <$	27	0,3472976	18,534	0,05
t1		t2	$t\alpha/2$		$t\alpha/2$
7,30		-24,38	-2,0262		2,0262
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	17,830519		19,2379022

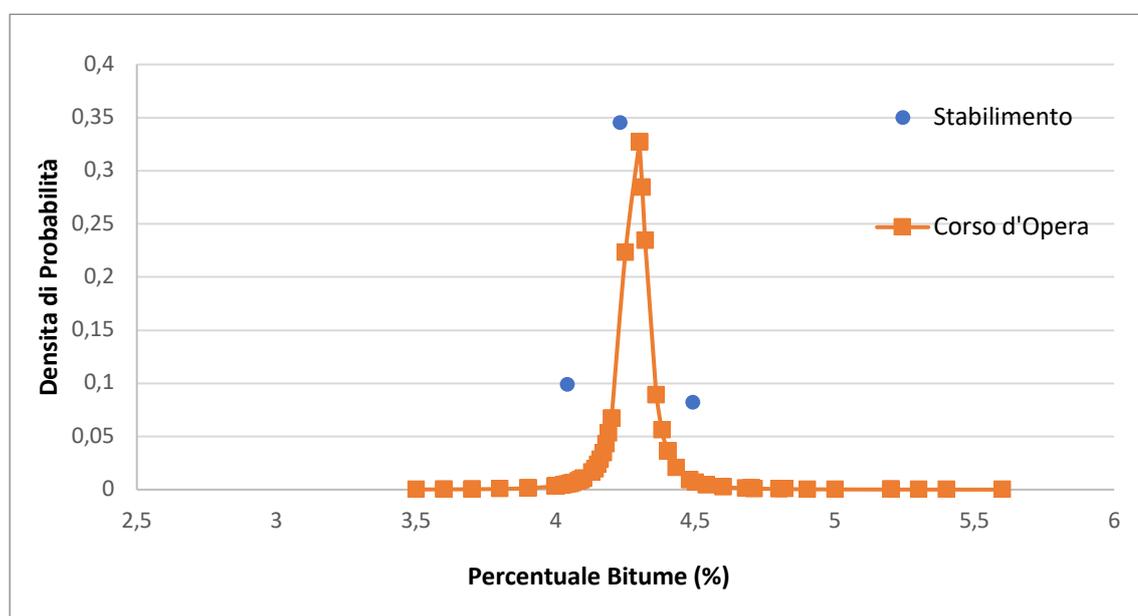
(Tabella 1.3.2.8)

## 8.2. Allegato 2

Nell'allegato 2 troviamo tutti i risultati e i grafici ricavati con Excel, riguardanti il confronto tra i dati ricavati dai campioni prelevati in stabilimento e quelli ricavati in corso d'opera per quanto riguarda il Lotto 3.

### Base

#### ❖ Percentuale di Bitume



(Figura 2.1.1.1)

Stabilimento	lim inf	lim sup		
	4	5		
	Ti	Ts		
	-1,942343323	5,724801372		
P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %		
9,58	1,5E+00	11,04		

(Tabella 2.1.1.1)

Corso d'Opera	lim inf	lim sup		
	4	5		
	Ti	Ts		
	-6,714412993	16,75196838		
P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %		
1,07	1,8E-01	1,25		

(Tabella 2.1.1.2)

Stabilimento	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2
	0,95	0,025	3	0,9	0,05
	t $\alpha/2$			k	
	4,3027			8,3800	
	< $\mu$ <			< x <	
	3,69		4,81	2,36	6,15

(Tabella 2.1.1.3)

Corso d'Opera	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	
	0,95	0,025	93	0,9	
	t $\alpha/2$			k	sup inf
	1,9861			1,8845	100 90
	< $\mu$ <			< x <	1,874 1,889
	4,20		4,37	3,51	5,06

(Tabella 2.1.1.4)

Stabilimento	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4	< $\mu$ <	5
	ti		tu
	1,94		-5,72
	p-value		p-value
	90,4209576		98,54
	Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla

(Tabella 2.1.1.5)

Corso d'Opera	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4	< $\mu$ <	5
	ti		tu
	6,71		-16,75
	p-value		p-value
	99,99999992		100,00
	Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla

(Tabella 2.1.1.6)

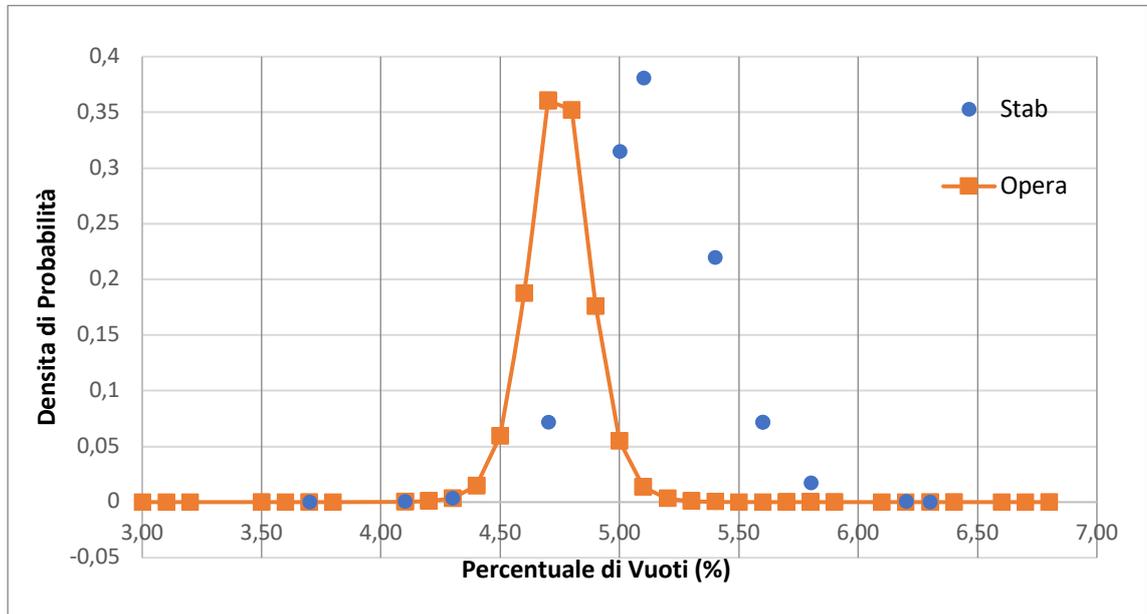
	Regione di accettazione		sigma x	$\mu$ 0	$\alpha$
4	< $\mu$ <	5	0,13042665	4,253	0,05
t1		t2	t $\alpha/2$	t $\alpha/2$	
1,94		-5,72	-4,3027	4,3027	
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi	Xu	
	Non Rifiuto l'ipotesi H0	Non Rifiuto l'ipotesi H0	3,69215275	4,814513916	

(Tabella 2.1.1.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu$ 0	$\alpha$
4	< $\mu$ <	5	0,04261415	4,286	0,05
t1		t2	t $\alpha/2$	t $\alpha/2$	
6,71		-16,75	-1,9861	1,9861	
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi	Xu	
	Non Rifiuto l'ipotesi H0	Non Rifiuto l'ipotesi H0	4,20149364	4,370764421	

(Tabella 2.1.1.8)

❖ Percentuale di Vuoti



(Figura 2.1.2.1)

<b>Stabilimento</b>	lim inf	lim sup	
	4	7	
	Ti	Ts	
	-4,834198787	7,77675457	
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
	0,03	4,3E-04	0,03

(Tabella 2.1.2.1)

<b>Corso d'Opera</b>	lim inf	lim sup	
	4	7	
	Ti	Ts	
	-6,08601177	18,36671409	
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
	0,00	6,7E-08	0,00

(Tabella 2.1.2.2)

<b>Stabilimento</b>	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2
	0,95	0,025	12	0,9	0,05
	t α/2			k	
	2,2010			2,6550	
	< μ <		5,67	< x <	
	4,63			2,96	7,34

(Tabella 2.1.2.3)

<b>Corso d'Opera</b>	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA		
	0,95	0,025	92	0,9		
	t α/2			k	sup	inf
	1,9864			1,8860	100	90
	< μ <		4,99	< x <	1,874	1,889
	4,50			2,53		6,97

(Tabella 2.1.2.4)

<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4	$< \mu_0 <$	7
	t1		tu
	4,83		-7,78
	p-value		p-value
	99,97380835		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 2.1.2.5)

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4	$< \mu_0 <$	7
	t1		tu
	6,09		-18,37
	p-value		p-value
	99,99999865		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 2.1.2.6)

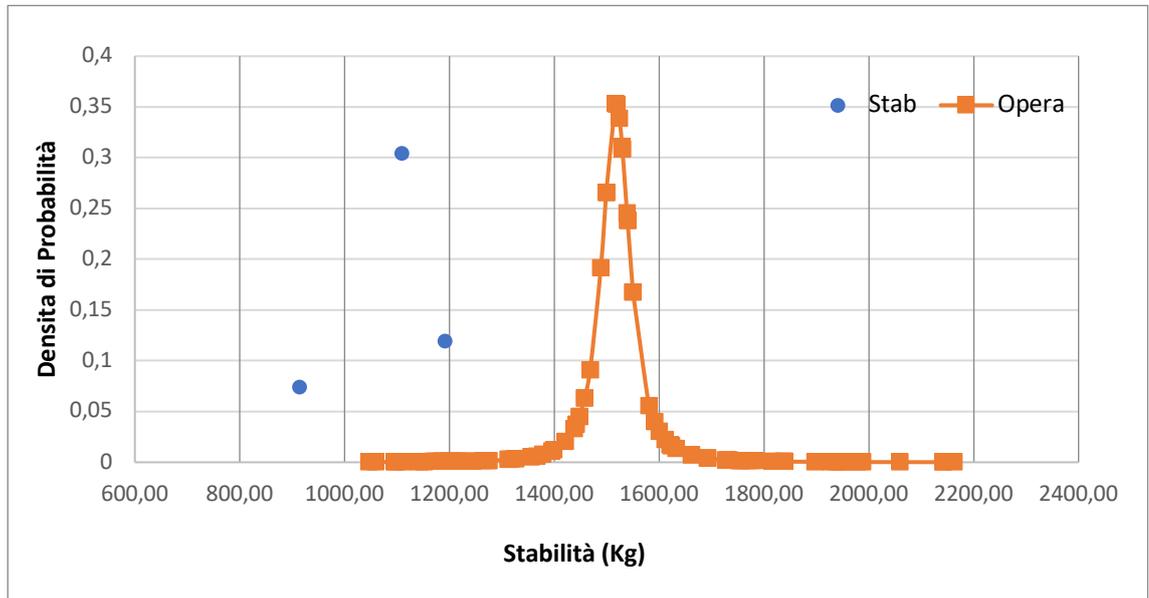
	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$	
	4	$< \mu_0 <$	7	0,2378884	5,150	0,05
t1		t2		$t_{\alpha/2}$		$t_{\alpha/2}$
4,83		-7,78		-2,2010		2,2010
Z1 < Zu		Z2 > Zu		Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0		4,6264111		5,67358892

(Tabella 2.1.2.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$	
	4	$< \mu_0 <$	7	0,1226857	4,747	0,05
t1		t2		$t_{\alpha/2}$		$t_{\alpha/2}$
6,09		-18,37		-1,9864		1,9864
Z1 < Zu		Z2 > Zu		Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0		4,5029666		4,99036676

(Tabella 2.1.2.8)

❖ Stabilità Marshall



(Figura 2.1.3.1)

<b>Stabilimento</b>	lim inf		
		700	
	Ti		
		-4,520134649	
	P(x < lim inf)		Ptot %
	2,28		2,28

(Tabella 2.1.3.1)

<b>Corso d'Opera</b>	lim inf		
		700	
	Ti		
		-28,59913184	
	P(x < lim inf)		Ptot %
	0,06		0,06

(Tabella 2.1.3.2)

<b>Stabilimento</b>	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2	
		0,95	0,025	3	0,9	0,05
	t $\alpha/2$			k		
		4,3027			6,1550	
	< $\mu$ <			x >		
	717,87		1424,80		195,54	

(Tabella 2.1.3.3)

<b>Corso d'Opera</b>	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA			
		0,95	0,025	92	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
		1,9864			1,5390	100	90
	< $\mu$ <			x >			
	1460,72		1574,28	1095,55	1,527	1,542	

(Tabella 2.1.3.4)

<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione
	700	$< \mu_0$
	ti	
	4,52	
	p-value	
	97,71897247	
	Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 2.1.3.5)

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione
	700	$< \mu_0$
	ti	
	28,60	
	p-value	
	100	
	Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 2.1.3.6)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
700	$< \mu_0$		82,1509451	1071,333	0,05
t1			$t_{\alpha/2}$		
4,52			-2,9200		
Z1 < Zu			$\bar{X}_i$		
Non Rifiuto l'ipotesi H0			831,453758		

(Tabella 2.1.3.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
700	$< \mu_0$		28,5849164	1517,504	0,05
t1			$t_{\alpha/2}$		
28,60			-1,6618		
Z1 < Zu			$\bar{X}_i$		
Non Rifiuto l'ipotesi H0			1470,0022		

(Tabella 2.1.3.8)



<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione
	250	$< \mu_0$
	ti	
	2,77	
	p-value	
	94,54544352	
	Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 2.1.4.5)

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione
	250	$< \mu_0$
	ti	
	18,22	
	p-value	
	100	
	Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 2.1.4.6)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
250	$< \mu_0$		76,061379	461,000	0,05
t1			$t_{\alpha/2}$		
2,77			-2,9200		
Z1 < Zu			Xi		
Non Rifiuto l'ipotesi H0			238,90187		

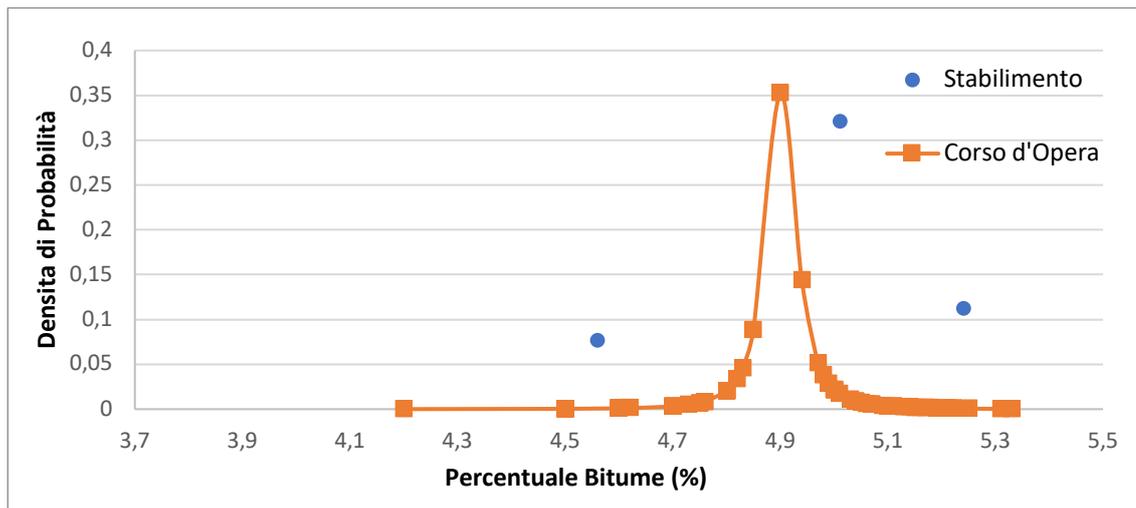
(Tabella 2.1.4.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
250	$< \mu_0$		7,9596196	394,995	0,05
t1			$t_{\alpha/2}$		
18,22			-1,6618		
Z1 < Zu			Xi		
Non Rifiuto l'ipotesi H0			381,76793		

(Tabella 2.1.4.8)

## Binder

### ❖ Percentuale di Bitume



(Figura 2.2.1.1)

<b>Stabilimento</b>	lim inf	lim sup	
	4,5	5,5	
	TI	Ts	
	-2,186676645	2,820979794	
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
	8,02	5,3E+00	13,32

(Tabella 2.2.1.1)

<b>Corso d'Opera</b>	lim inf	lim sup	
	4,5	5,5	
	TI	Ts	
	-13,50808473	20,10315502	
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
	0,27	1,2E-01	0,40

(Tabella 2.2.1.2)

<b>Stabilimento</b>	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2
	0,95	0,025		3	0,9
	t $\alpha/2$			k	
	4,3027			8,3800	
	< $\mu$ <			< x <	
	4,08		5,80	2,04	7,84

(Tabella 2.2.1.3)

<b>Corso d'Opera</b>	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA		
	0,95	0,025		74	0,9	
	t $\alpha/2$			k	sup	inf
	1,9930			1,9202	80	70
					1,907	1,929
	< $\mu$ <			< x <		
4,84		4,96	4,41		5,39	

(Tabella 2.2.1.4)

Stabilimento	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4,5	$< \mu_0 <$	5,5
	$t_i$		$t_u$
	2,19		-2,82
	p-value		p-value
	91,98459176		94,70
	Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla

(Tabella 2.2.1.5)

Corso d'Opera	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4,5	$< \mu_0 <$	5,5
	$t_i$		$t_u$
	13,51		-20,10
	p-value		p-value
	100		100,00
	Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla

(Tabella 2.2.1.6)

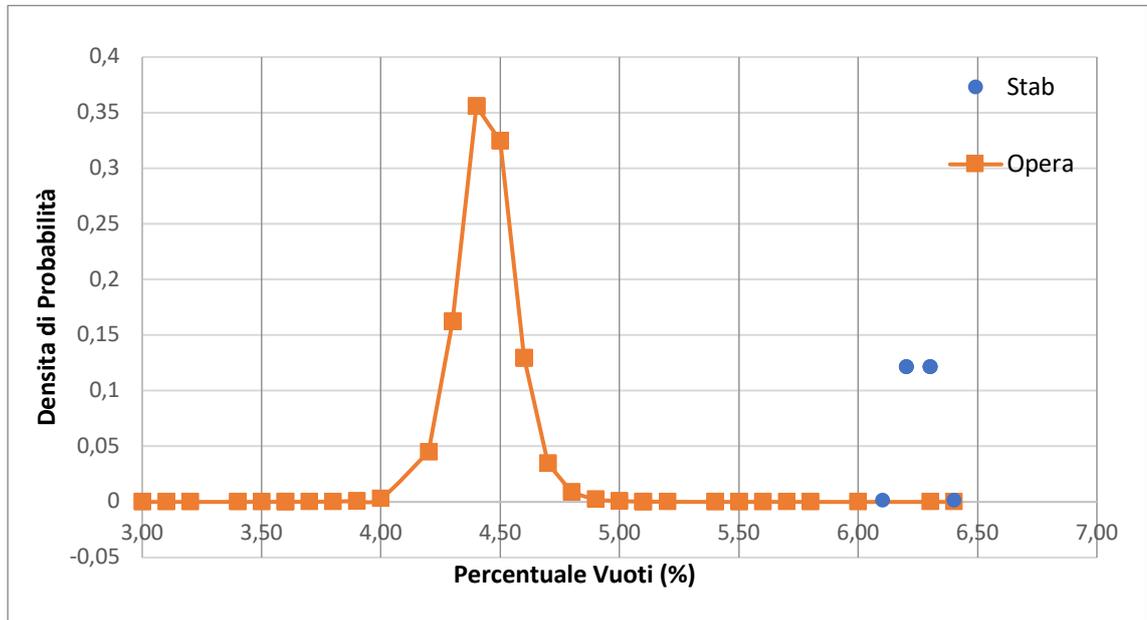
	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
	4,5	$< \mu_0 <$ 5,5	0,19969421	4,937	0,05
$t_1$		$t_2$	$t_{\alpha/2}$		$t_{\alpha/2}$
	2,19	-2,82	-4,3027		4,3027
$Z_1 < Z_u$		$Z_2 > Z_u$	$X_i$		$X_u$
	Non Rifiuto l'ipotesi H0	Non Rifiuto l'ipotesi H0	4,07745183		5,795881507

(Tabella 2.2.1.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
	4,5	$< \mu_0 <$ 5,5	0,02975195	4,902	0,05
$t_1$		$t_2$	$t_{\alpha/2}$		$t_{\alpha/2}$
	13,51	-20,10	-1,9930		1,9930
$Z_1 < Z_u$		$Z_2 > Z_u$	$X_i$		$X_u$
	Non Rifiuto l'ipotesi H0	Non Rifiuto l'ipotesi H0	4,84259634		4,961187447

(Tabella 2.2.1.8)

❖ Percentuale di Vuoti



(Figura 2.2.2.1)

Stabilimento	lim inf	lim sup	
	3	7	
	Ti	Ts	
	-99,28914006	22,91287847	
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
	0,00	3,8E-06	0,00

(Tabella 2.2.2.1)

Corso d'Opera	lim inf	lim sup	
	3	7	
	Ti	Ts	
	-13,34075485	23,70975042	
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
	0,00	3,0E-06	0,00

(Tabella 2.2.2.2)

Stabilimento	LIVELLO DI CONFIDENZ	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2	
	0,95	0,025	8	0,9	0,05	
	t $\alpha/2$			k		
	2,3646			3,1360		
	$< \mu <$			$< x <$		
	6,17			6,33		

(Tabella 2.2.2.3)

Corso d'Opera	LIVELLO DI CONFIDENZ	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA		
	0,95	0,025	76	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf
	1,9921			1,9158	80	70
	$< \mu <$			$< x <$		
	4,23			4,66		

(Tabella 2.2.2.4)

<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	3	$< \mu_0 <$	7
	t1		tu
	99,29		-22,91
	p-value		p-value
	100		100,00
	Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla

(Tabella 2.2.2.5)

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	3	$< \mu_0 <$	7
	t1		tu
	13,34		-23,71
	p-value		p-value
	100		100,00
	Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla

(Tabella 2.2.2.6)

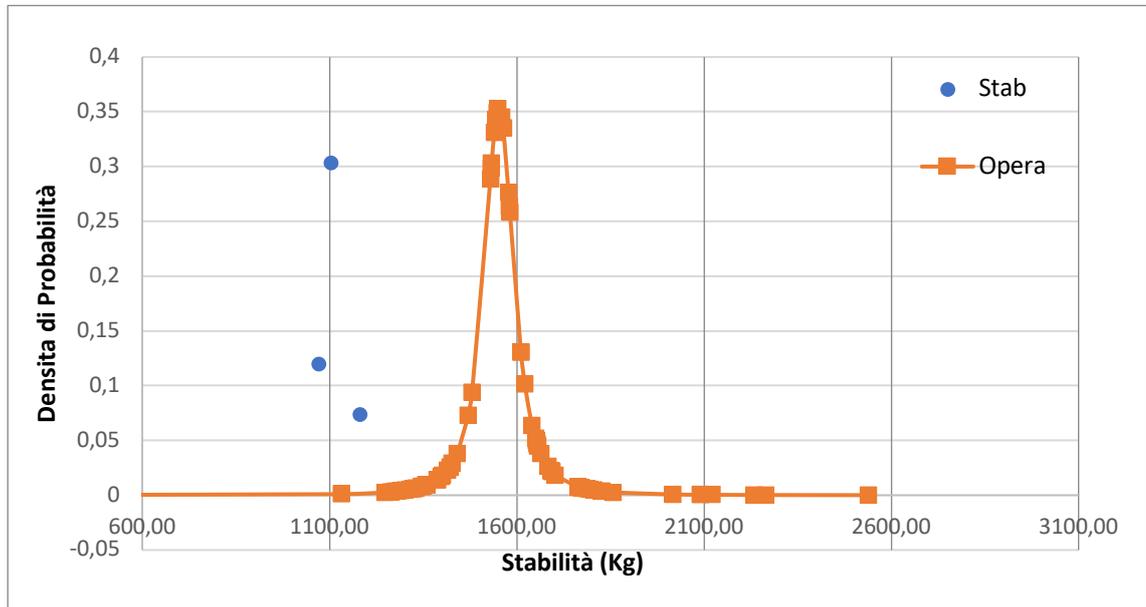
	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
3	$< \mu_0 <$	7	0,032733	6,250	0,05
t1		t2	$t_{\alpha/2}$		$t_{\alpha/2}$
99,29		-22,91	-2,3646		2,3646
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
	Non Rifiuto l'ipotesi H0	Non Rifiuto l'ipotesi H0	6,1726		6,3274005

(Tabella 2.2.2.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
3	$< \mu_0 <$	7	0,107961	4,440	0,05
t1		t2	$t_{\alpha/2}$		$t_{\alpha/2}$
13,34		-23,71	-1,9921		1,9921
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
	Non Rifiuto l'ipotesi H0	Non Rifiuto l'ipotesi H0	4,225209		4,6553466

(Tabella 2.2.2.8)

❖ Stabilità Marshall



(Figura 1.2.3.1)

Stabilimento	lim inf		
		900	
	Ti		
		-6,739403562	
	P(x < lim inf)		Ptot %
	1,07		1,07

(Tabella 2.2.3.1)

Corso d'Opera	lim inf		
		900	
	Ti		
		-15,30196004	
	P(x < lim inf)		Ptot %
	0,21		0,21

(Tabella 2.2.3.2)

Stabilimento	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2	
		0,95	0,025	3	0,9	0,05
	t $\alpha/2$			k		
		4,3027			6,1550	
		< $\mu$ <			< x <	
	978,82		1257,18		773,16	

(Tabella 2.2.3.3)

Corso d'Opera	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA			
		0,95	0,025	74	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
		1,9930			1,5722	80	70
		< $\mu$ <			< x <	1,559	1,581
	1467,51		1637,48		975,79		

(Tabella 2.2.3.4)

<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione
	900	$< \mu_0$
	ti	
	6,74	
	p-value	
	98,93422402	
Non Rifiuto la nulla		

(Tabella 2.2.3.5)

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione
	900	$< \mu_0$
	ti	
	15,30	
	p-value	
	100	
Non Rifiuto la nulla		

(Tabella 2.2.3.6)

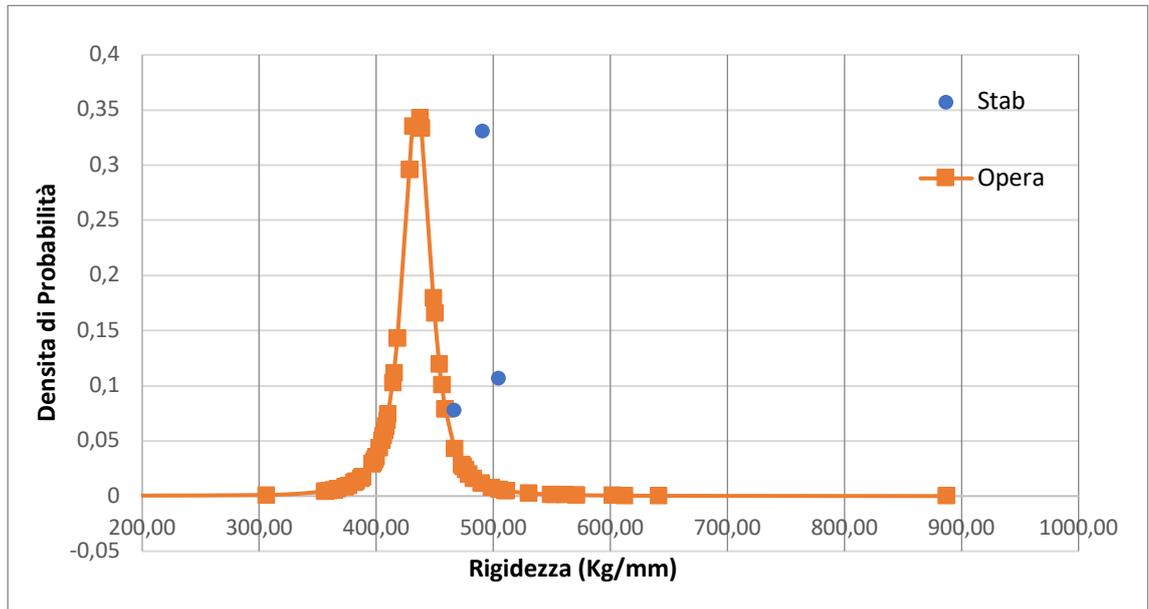
	Regione di accettazione			sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
900	$< \mu_0$			32,3470761	1118,000	0,05
t1				$t_{\alpha/2}$		
6,74				-2,9200		
Z1 < Zu				Xi		
Non Rifiuto l'ipotesi H0				1023,547		

(Tabella 2.2.3.7)

	Regione di accettazione			sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
900	$< \mu_0$			42,6411422	1552,493	0,05
t1				$t_{\alpha/2}$		
15,30				-1,6660		
Z1 < Zu				Xi		
Non Rifiuto l'ipotesi H0				1481,45307		

(Tabella 2.2.3.8)

## ❖ Rigidezza Marshall



(Figura 2.2.4.1)

Stabilimento	lim inf		
		300	
	Ti		
		-16,82356951	
	P(x < lim inf)		Ptot %
	0,18		0,18

(Tabella 2.2.4.1)

Corso d'Opera	lim inf		
		300	
	Ti		
		-10,3637808	
	P(x < lim inf)		Ptot %
	0,46		0,46

(Tabella 2.2.4.2)

Stabilimento	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2	
		0,95	0,025	3	0,9	0,05
	t $\alpha/2$			k		
		4,3027			6,1550	
		< $\mu$ <			< x <	
	438,93		534,41	368,38		

(Tabella 2.2.4.3)

Corso d'Opera	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA			
		0,95	0,025	74	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
		1,9930			1,5722	80	70
		< $\mu$ <			< x <	1,559	1,581
	408,87		460,71	258,89			

(Tabella 2.2.4.4)

<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione
	300	$< \mu_0$
	ti	
	16,82	
	p-value	
	99,8242726	
Non Rifiuto la nulla		

(Tabella 2.2.4.5)

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione
	300	$< \mu_0$
	ti	
	10,36	
	p-value	
	100	
Non Rifiuto la nulla		

(Tabella 2.2.4.6)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
300	$< \mu_0$		11,0955447	486,667	0,05
t1			$t_{\alpha/2}$		
16,82			-2,9200		
Z1 < Zu			$\chi_i$		
Non Rifiuto l'ipotesi H0			454,267836		

(Tabella 2.2.4.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
300	$< \mu_0$		13,0058095	434,789	0,05
t1			$t_{\alpha/2}$		
10,36			-1,6660		
Z1 < Zu			$\chi_i$		
Non Rifiuto l'ipotesi H0			413,121729		

(Tabella 2.2.4.8)



Stabilimento	test 1	Regione di accettazione	test 2
	5	$< \mu_0 <$	6,5
	t1		tu
	3,96		-64,66
	p-value		p-value
	97,09403114		99,99
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 2.3.1.5)

Corso d'Opera	test 1	Regione di accettazione	test 2
	5	$< \mu_0 <$	6,5
	ti		tu
	0,82		-50,43
	p-value		p-value
	79,23370365		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 2.3.1.6)

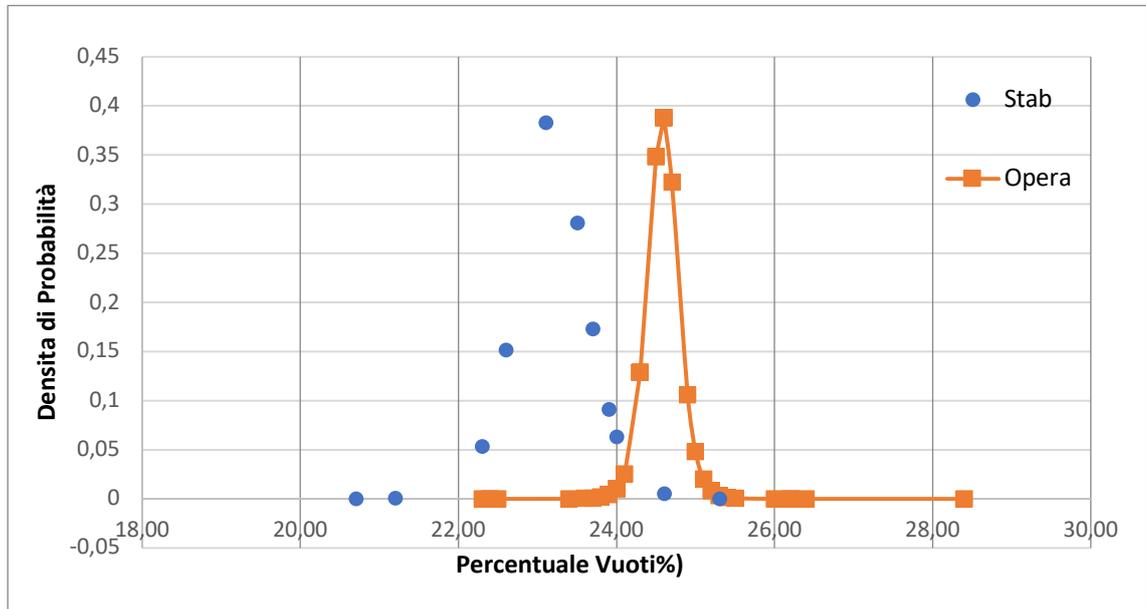
	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
5	$< \mu_0 <$	6,5	0,02185813	5,087	0,05
t1		t2	$t_{\alpha/2}$		$t_{\alpha/2}$
3,96		-64,66	-4,3027		4,3027
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0		4,99261873	5,180714603

(Tabella 2.3.1.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
5	$< \mu_0 <$	6,5	0,02926614	5,024	0,05
t1		t2	$t_{\alpha/2}$		$t_{\alpha/2}$
0,82		-50,43	-2,0244		2,0244
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0		4,96485635	5,083348774

(Tabella 2.3.1.8)

❖ Percentuale di Vuoti



(Figura 2.3.2.1)

Stabilimento	lim inf	lim sup	
		16	27
	Ti	Ts	
		-17,14083684	9,146124602
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
		0,00	1,8E-04

(Tabella 2.3.2.1)

Corso d'Opera	lim inf	lim sup	
		16	27
	Ti	Ts	
		-44,74845156	12,57801928
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
		0,00	9,4E-06

(Tabella 2.3.2.2)

Stabilimento	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2	
		0,95	0,025	11	0,9	0,05
	t $\alpha/2$			k		
		2,2281			2,7370	
	< $\mu$ <				< x <	
		22,24		24,11	19,37	26,97

(Tabella 2.3.2.3)

Corso d'Opera	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA			
		0,95	0,025	37	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
		2,0281			2,0784	40	30
	< $\mu$ <				2,052	2,14	
		24,20		24,98	22,16	27,01	

(Tabella 2.3.2.4)

<b>Stabilimento</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	16	< $\mu_0$ <	27
	t1		tu
	17,14		-9,15
	p-value		p-value
	99,99999952		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 2.3.2.5)

<b>Corso d'Opera</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	16	< $\mu_0$ <	27
	t1		tu
	44,75		-12,58
	p-value		p-value
	100		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 2.3.2.6)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
16	< $\mu_0$ <	27	0,4184584	23,173	0,05
t1		t2	$t_{\alpha/2}$		$t_{\alpha/2}$
17,14		-9,15	-2,2281		2,2281
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	22,240344		24,10511071

(Tabella 2.3.2.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
16	< $\mu_0$ <	27	0,1918834	24,586	0,05
t1		t2	$t_{\alpha/2}$		$t_{\alpha/2}$
44,75		-12,58	-2,0281		2,0281
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	24,197329		24,97564412

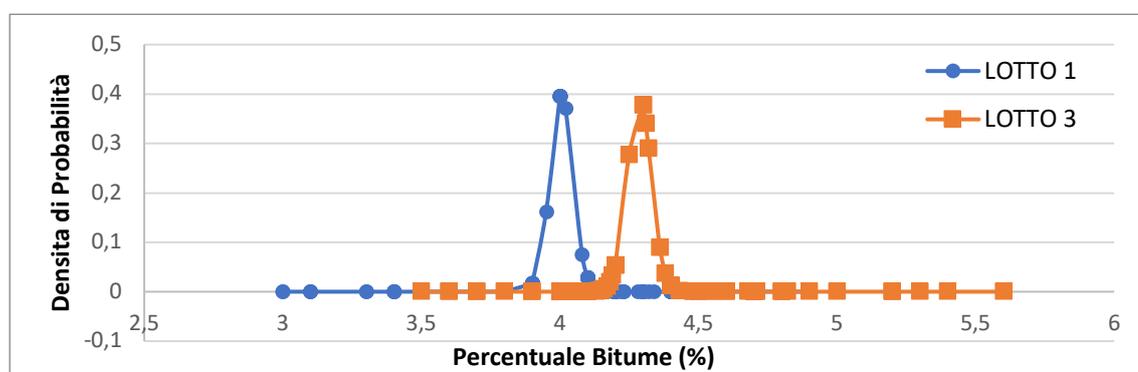
(Tabella 2.3.2.8)

### 8.3. Allegato 3

Nell'allegato 3 troviamo tutti i risultati e i grafici ricavati con Excel, riguardanti il confronto tra i Lotti 1 e 3 per quanto riguarda i dati ricavati dai campioni prelevati in corso d'opera.

#### Base

#### ❖ Percentuale di Bitume



(Figura 3.1.1.1)

LOTTO 1	lim inf	lim sup	
	4	5	
	Ti	Ts	
	-0,118491617	24,36977583	
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
	45,30	0,0E+00	45,30

(Tabella 3.1.1.1)

LOTTO 3	lim inf	lim sup	
	4	5	
	Ti	Ts	
	-6,714412993	16,75196838	
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
	0,00	0,0E+00	0,00

(Tabella 3.1.1.2)

LOTTO 1	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2	
	0,95	0,025	93	0,9	0,05	
	t $\alpha/2$			k	sup	inf
	1,9861			1,8845	100	90
					1,874	1,889
	< $\mu$ <		4,09	< x <	3,26	4,75

(Tabella 3.1.1.3)

<b>LOTTO 3</b>	<b>LIVELLO DI CONFIDENZA</b>	<b>ALFA/2</b>	<b>n</b>	<b>LIVELLO DI TOLLERANZA</b>	
	0,95	0,025	93	0,9	
	<b>t <math>\alpha/2</math></b>			sup	inf
	1,9861			1,8845	100
				1,874	1,889
	<b>&lt; <math>\mu</math> &lt;</b>			<b>&lt; x &lt;</b>	
	4,20	4,37	3,51	5,06	

(Tabella 3.1.1.4)

<b>LOTTO 1</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4	< $\mu_0$ <	5
	t1		tu
	0,12		-24,37
	p-value		p-value
	54,70317642		100,00
	Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla

(Tabella 3.1.1.5)

<b>LOTTO 3</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4	< $\mu_0$ <	5
	t1		tu
	6,71		-16,75
	p-value		p-value
	99,99999992		100,00
	Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla

(Tabella 3.1.1.6)

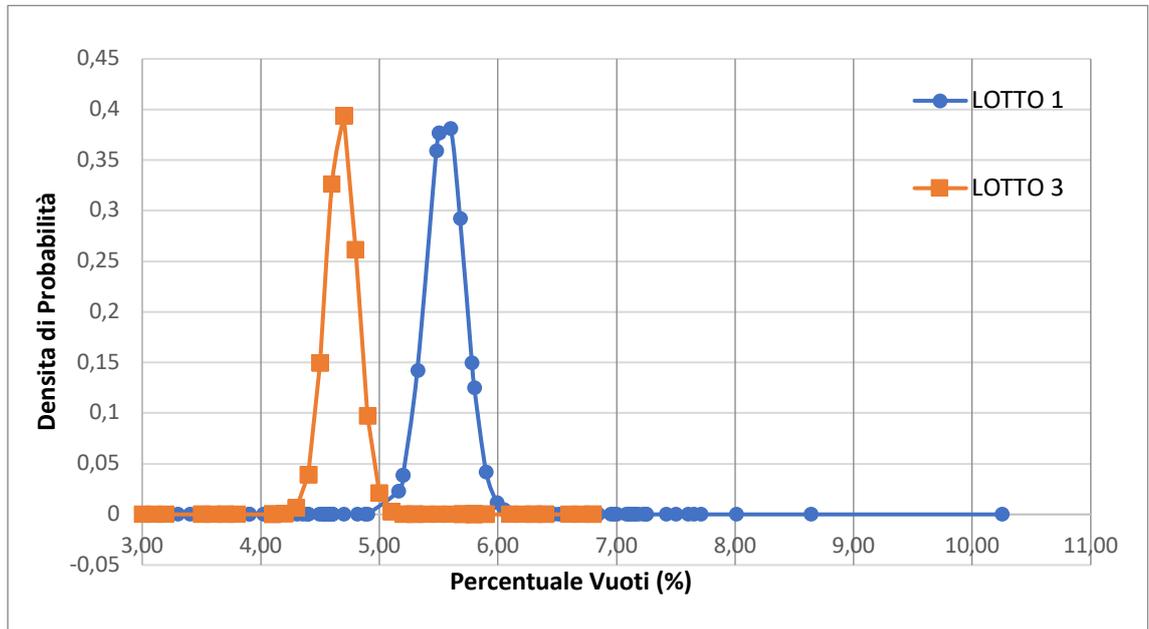
	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
4	< $\mu_0$ <	5	0,04083588	4,005	0,05
t1	t2		t $\alpha/2$	t $\alpha/2$	
0,12	-24,37		-1,9861	1,9861	
Z1 < Zu	Z2 > Zu		Xi	Xu	
	Non Rifiuto l'ipotesi H0	Non Rifiuto l'ipotesi H0	3,92373512	4,085942296	

(Tabella 3.1.1.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
4	< $\mu_0$ <	5	0,04261415	4,286	0,05
t1	t2		t $\alpha/2$	t $\alpha/2$	
6,71	-16,75		-1,9861	1,9861	
Z1 < Zu	Z2 > Zu		Xi	Xu	
	Non Rifiuto l'ipotesi H0	Non Rifiuto l'ipotesi H0	4,20149364	4,370764421	

(Tabella 3.1.1.8)

❖ Percentuale di Vuoti



(Figura 3.1.2.1)

LOTTO 1	lim inf	lim sup	
		4	7
	Ti	Ts	
		-9,555937621	8,904802972
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
	0,00	4,2E-12	0,00

(Tabella 3.1.2.1)

LOTTO 3	lim inf	lim sup	
		4	7
	Ti	Ts	
		-5,252660927	17,86910009
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
	0,00	0,0E+00	0,00

(Tabella 3.1.2.2)

LOTTO 1	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2		
		0,95	0,025	86	0,9	0,05	
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
		1,9883			1,8962	90	80
						1,889	1,907
	< $\mu$ <		5,88	< x <	2,70	8,41	
			5,23				

(Tabella 3.1.2.3)

LOTTO 3	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA			
		0,95	0,025	92	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
		1,9864			1,8860	100	90
						1,874	1,889
	< $\mu$ <		4,94	< x <	2,33	7,03	
			4,42				

(Tabella 3.1.2.4)

LOTTO 1	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4	$< \mu_0 <$	7
	$t_i$		$t_u$
	9,56		-8,90
	p-value		p-value
	100		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 3.1.2.5)

LOTTO 3	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4	$< \mu_0 <$	7
	$t_i$		$t_u$
	5,25		-17,87
	p-value		p-value
	99,99995105		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 3.1.2.6)

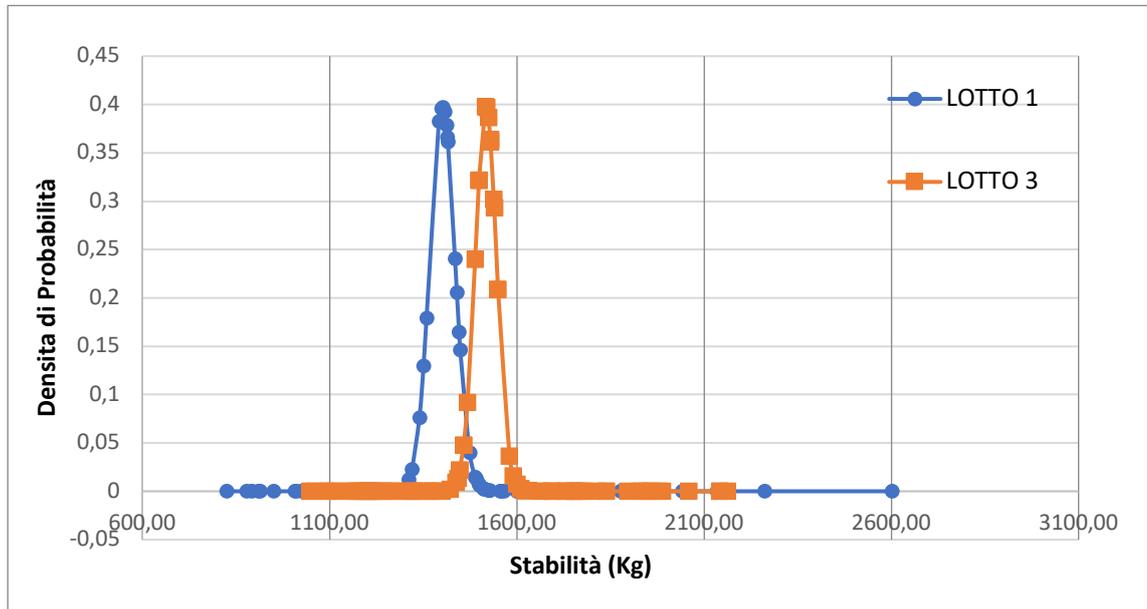
	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$	
	4	$< \mu_0 <$	7	0,16250702	5,553	0,05
$t_1$		$t_2$		$t_{\alpha/2}$		$t_{\alpha/2}$
	9,56	-8,90		-1,9883		1,9883
$Z_1 < Z_u$		$Z_2 > Z_u$		$X_i$		$X_u$
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0		5,22979948		5,876014476

(Tabella 3.1.2.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$	
	4	$< \mu_0 <$	7	0,1297479	4,682	0,05
$t_1$		$t_2$		$t_{\alpha/2}$		$t_{\alpha/2}$
	5,25	-17,87		-1,9864		1,9864
$Z_1 < Z_u$		$Z_2 > Z_u$		$X_i$		$X_u$
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0		4,42379347		4,939250009

(Tabella 3.1.2.8)

❖ Stabilità Marshall



(Figura 3.1.3.1)

<b>LOTTO 1</b>	lim inf		
		700	
	Ti		
		-20,87017864	
	P(x < lim inf)		Ptot %
			0,00

(Tabella 3.1.3.1)

<b>LOTTO 3</b>	lim inf		
		700	
	Ti		
		-28,59913184	
	P(x < lim inf)		Ptot %
			0,00

(Tabella 3.1.3.2)

<b>LOTTO 1</b>	<b>LIVELLO DI CONFIDENZA</b>	<b>ALFA/2</b>		<b>n</b>	<b>LIVELLO DI TOLLERANZA</b>	<b>p/2</b>		
		0,95	0,025		92	0,9	0,05	
	<b>t <math>\alpha/2</math></b>				<b>k</b>	sup	inf	
			1,9864			1,5390	100	90
							1,527	1,542
			< $\mu$ <				< x <	
		1334,65		1468,17		905,30		

(Tabella 3.1.3.3)

<b>LOTTO 3</b>	<b>LIVELLO DI CONFIDENZA</b>	<b>ALFA/2</b>		<b>n</b>	<b>LIVELLO DI TOLLERANZA</b>			
		0,95	0,025		92	0,9		
	<b>t <math>\alpha/2</math></b>				<b>k</b>	sup	inf	
			1,9864			1,5390	100	90
							1,527	1,542
			< $\mu$ <				< x <	
		1460,72		1574,28		1095,55		

(Tabella 3.1.3.4)

<b>LOTTO 1</b>	test 1	Regione di accettazione
	700	$< \mu_0$
	t1	
	20,87	
	p-value	
	100	
Non Rifiuto la nulla		

(Tabella 3.1.3.5)

<b>LOTTO 3</b>	test 1	Regione di accettazione
	700	$< \mu_0$
	t1	
	28,60	
	p-value	
	100	
Non Rifiuto la nulla		

(Tabella 3.1.3.6)

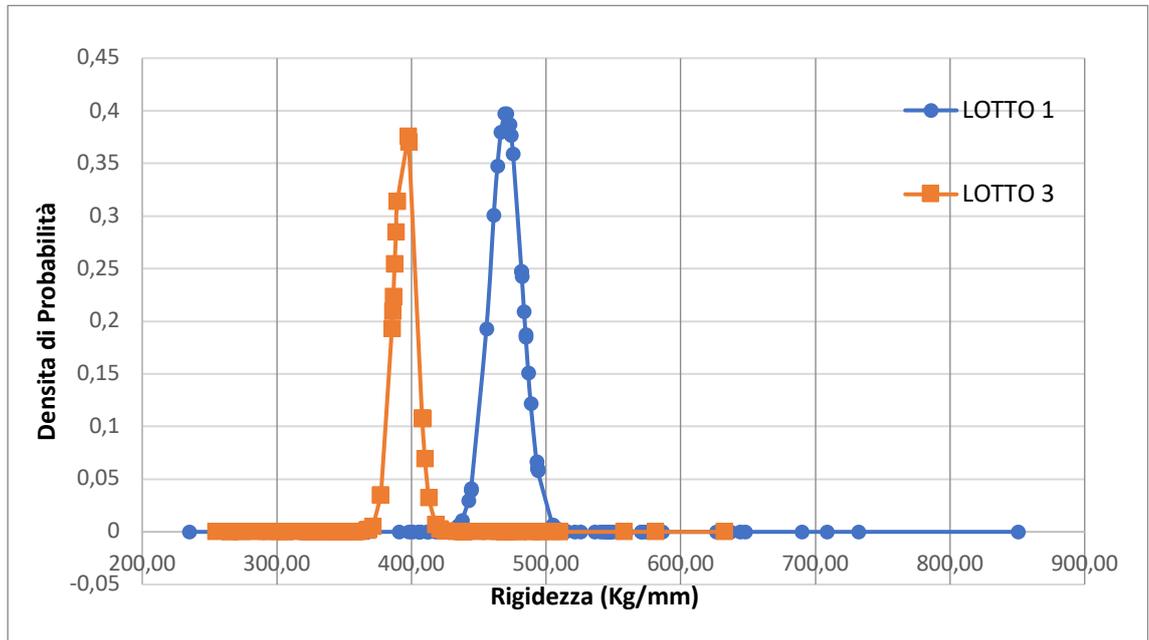
	Regione di accettazione			sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
700	$< \mu_0$			33,6083871	1401,413	0,05
t1				$t_{\alpha/2}$		
20,87				-1,6618		
Z1 < Zu				Xi		
Non Rifiuto l'ipotesi H0				1345,5636		

(Tabella 3.1.3.7)

	Regione di accettazione			sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
700	$< \mu_0$			28,5849164	1517,504	0,05
t1				$t_{\alpha/2}$		
28,60				-1,6618		
Z1 < Zu				Xi		
Non Rifiuto l'ipotesi H0				1470,0022		

(Tabella 3.1.3.8)

## ❖ Rigidezza Marshall



(Figura 3.1.4.1)

LOTTO 1	lim inf		
		250	
	Ti		
		-18,33278861	
	P(x < lim inf)	0,00	Ptot %
			0,00

(Tabella 3.1.4.1)

LOTTO 3	lim inf		
		250	
	Ti		
		-18,21632245	
	P(x < lim inf)	0,00	Ptot %
			0,00

(Tabella 3.1.4.2)

LOTTO 1	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA			
		0,95	0,025	92	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
		1,9864			1,5390	100	90
						1,527	1,542
	< $\mu$ <		493,86	< x <			
			446,18			292,86	

(Tabella 3.1.4.3)

LOTTO 3	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA			
		0,95	0,025	92	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
		1,9864			1,5390	100	90
						1,527	1,542
	< $\mu$ <		410,81	< x <			
			379,18			277,50	

(Tabella 3.1.4.4)

LOTTO 1	test 1	Regione di accettazione
	250	$< \mu_0$
	t1	
	18,33	
	p-value	
	100	
	Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 3.1.4.5)

LOTTO 3	test 1	Regione di accettazione
	250	$< \mu_0$
	t1	
	18,22	
	p-value	
	100	
	Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 3.1.4.6)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
250	$< \mu_0$		12,001487	470,021	0,05
t1			$t_{\alpha/2}$		
18,33			-1,6618		
Z1 < Zu			Xi		
Non Rifiuto l'ipotesi H0			450,077		

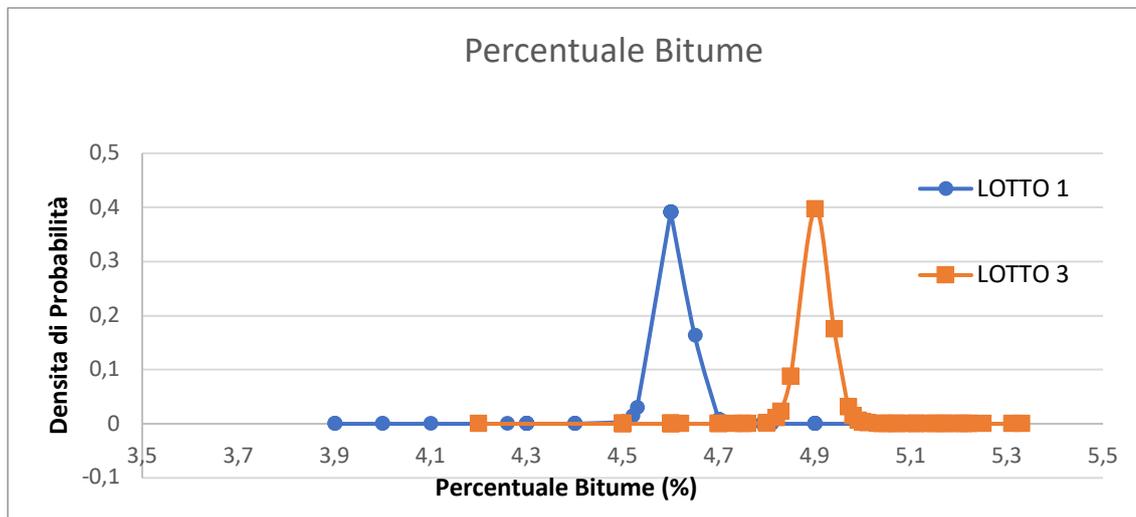
(Tabella 3.1.4.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
250	$< \mu_0$		7,9596196	394,995	0,05
t1			$t_{\alpha/2}$		
18,22			-1,6618		
Z1 < Zu			Xi		
Non Rifiuto l'ipotesi H0			381,76793		

(Tabella 3.1.4.8)

## Binder

### ❖ Percentuale di Bitume



(Figura 3.2.1.1)

LOTTO 1	lim inf	lim sup	
		4,5	5,5
	Ti	Ts	
		-3,200772605	27,02644604
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
		0,09	0,0E+00

(Tabella 3.2.1.1)

LOTTO 3	lim inf	lim sup	
		4,5	5,5
	Ti	Ts	
		-13,50808473	20,10315502
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
		0,00	0,0E+00

(Tabella 3.2.1.2)

LOTTO 1	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2		
		0,95	0,025	93	0,9	0,05	
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
		1,9861			1,8845	100	90
						1,874	1,889
		$< \mu <$			$< x <$		
	4,54		4,67	4,00		5,21	

(Tabella 3.2.1.3)

LOTTO 3	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA			
		0,95	0,025	74	0,9		
	t $\alpha/2$				sup	inf	
		1,9930			1,9178	90	80
						1,889	1,907
		$< \mu <$			$< x <$		
	4,84		4,96	4,41		5,39	

(Tabella 3.2.1.4)

LOTTO 1	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4,5	$< \mu_0 <$	5,5
	t1		tu
	3,20		-27,03
	p-value		p-value
	99,90591162		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 3.2.1.5)

LOTTO 3	test 1	Regione di accettazione	test 2
	4,5	$< \mu_0 <$	5,5
	t1		tu
	13,51		-20,10
	p-value		p-value
	100		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 3.2.1.6)

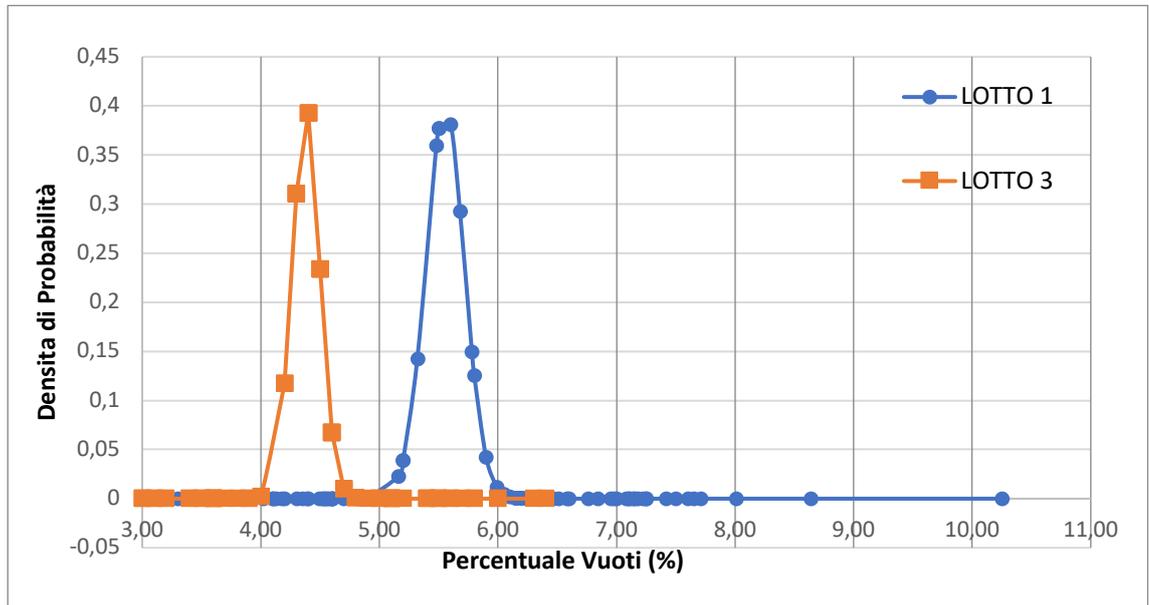
	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
4,5	$< \mu_0 <$	5,5	0,03308277	4,606	0,05
t1		t2	$t_{\alpha/2}$		$t_{\alpha/2}$
3,20		-27,03	-1,9861		1,9861
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0		4,54018518	4,67159564

(Tabella 3.2.1.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
4,5	$< \mu_0 <$	5,5	0,02975195	4,902	0,05
t1		t2	$t_{\alpha/2}$		$t_{\alpha/2}$
13,51		-20,10	-1,9930		1,9930
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0		4,84259634	4,961187447

(Tabella 3.2.1.8)

❖ Percentuale di Vuoti



(Figura 3.2.2.1)

<b>LOTTO 1</b>	lim inf	lim sup	
	3	7	
	Ti	Ts	
	-15,70951782	8,904802972	
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
0,00	4,2E-12	0,00	

(Tabella 3.2.2.1)

<b>LOTTO 3</b>	lim inf	lim sup	
	3	7	
	Ti	Ts	
	-11,94337576	22,64800608	
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
0,00	0,0E+00	0,00	

(Tabella 3.2.2.2)

<b>LOTTO 1</b>	LIVELLO DI CONFIDENZ	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2	
	0,95	0,025	86	0,9	0,05	
	t $\alpha/2$			k	sup	inf
	1,9883			1,8962	90	80
					1,889	1,907
	< $\mu$ <			< x <		
	5,23	5,88		2,70	8,41	

(Tabella 3.2.2.3)

<b>LOTTO 3</b>	LIVELLO DI CONFIDENZ	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA		
	0,95	0,025	74	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf
	1,9930			1,9178	90	80
					1,889	1,907
	< $\mu$ <			< x <		
	4,15	4,61		2,47	6,29	

(Tabella 3.2.2.4)

LOTTO 1	test 1	Regione di accettazione	test 2
	3	$< \mu_0 <$	7
	t1		tu
	15,71		-8,90
	p-value		p-value
	100		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulli:	

(Tabella 3.2.2.5)

LOTTO 3	test 1	Regione di accettazione	test 2
	3	$< \mu_0 <$	7
	t1		tu
	11,94		-22,65
	p-value		p-value
	100		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la null	

(Tabella 3.2.2.6)

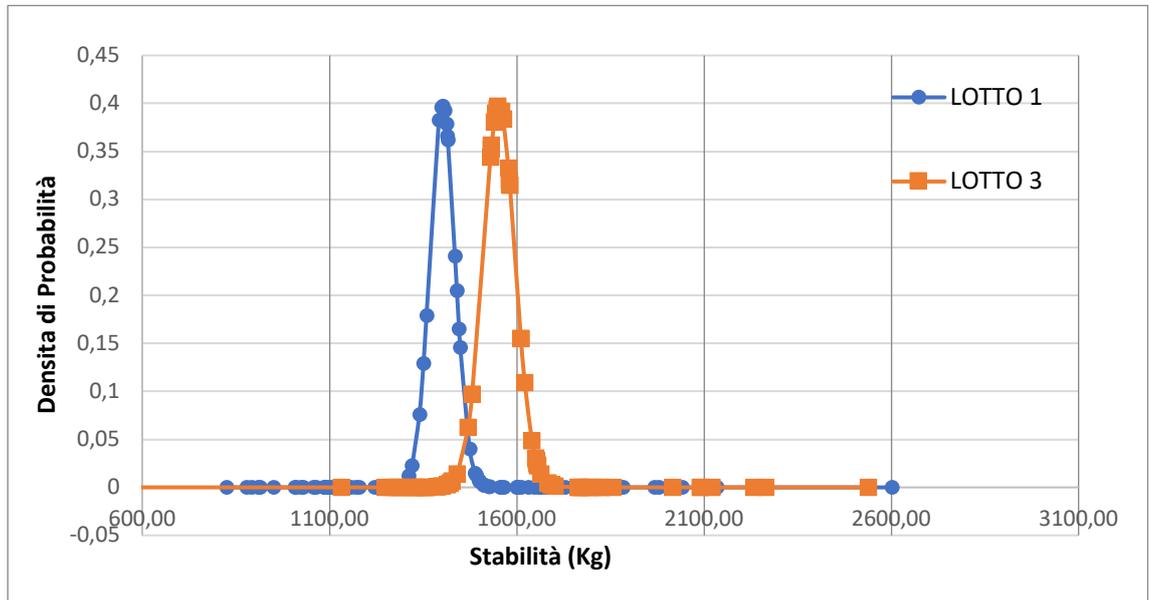
	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
3	$< \mu_0 <$	7	0,162507	5,553	0,05
t1		t2	$t\alpha/2$		$t\alpha/2$
15,71		-8,90	-1,9883		1,9883
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	5,229799		5,8760145

(Tabella 3.2.2.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
3	$< \mu_0 <$	7	0,115636	4,381	0,05
t1		t2	$t\alpha/2$		$t\alpha/2$
11,94		-22,65	-1,9930		1,9930
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	4,150619		4,6115428

(Tabella 3.2.2.8)

❖ Stabilità Marshall



(Figura 3.2.3.1)

LOTTO 1	lim inf		
		900	
	Ti		
		-14,91928313	
	P(x < lim inf)		Ptot %
	0,00		0,00

(Tabella 3.2.3.1)

LOTTO 3	lim inf		
		900	
	Ti		
		-15,30196004	
	P(x < lim inf)		Ptot %
	0,00		0,00

(Tabella 3.2.3.2)

LOTTO 1	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2		
		0,95	0,025	92	0,9	0,05	
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
		1,9864			1,5390	100	90
						1,527	1,542
		< $\mu$ <		1468,17	< x <		
					905,30		

(Tabella 3.2.3.3)

LOTTO 3	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA			
		0,95	0,025	74	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
		1,9930			1,9178	90	80
						1,889	1,907
		< $\mu$ <		1637,48	< x <		
					849,02		

(Tabella 3.2.3.4)

<b>LOTTO 1</b>	test 1	Regione di accettazione
	900	$< \mu_0$
	t1	
	14,92	
	p-value	
	100	
Non Rifiuto l'ipotesi H0		

(Tabella 3.2.3.5)

<b>LOTTO 3</b>	test 1	Regione di accettazione
	900	$< \mu_0$
	t1	
	15,30	
	p-value	
	100	
Non Rifiuto l'ipotesi H0		

(Tabella 3.2.3.6)

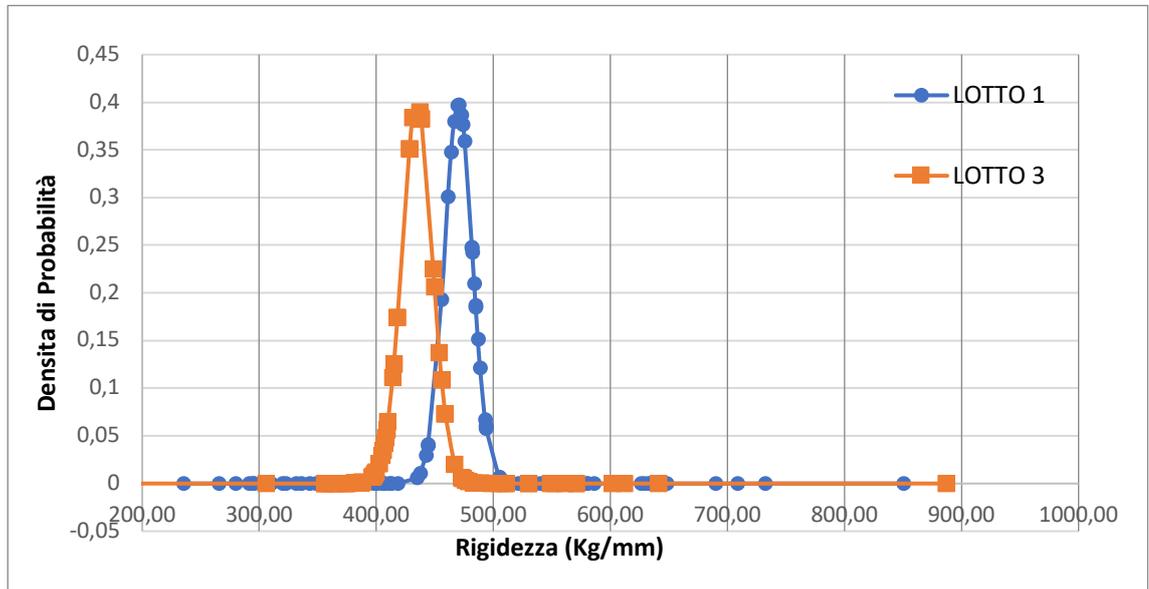
	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
900	$< \mu_0$		33,60838715	1401,413	0,05
t1			t $\alpha/2$		
14,92			-1,6618		
Z1 < Zu			Xi		
Non Rifiuto l'ipotesi H0			1345,563595		

(Tabella 3.2.3.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
900	$< \mu_0$		42,64114221	1552,493	0,05
t1			t $\alpha/2$		
15,30			-1,6660		
Z1 < Zu			Xi		
Non Rifiuto l'ipotesi H0			1481,453072		

(Tabella 3.2.3.8)

## ❖ Rigidezza Marshall



(Figura 3.2.4.1)

LOTTO 1	lim inf		
		300	
	Ti		
		-14,16663819	
	P(x < lim inf)		Ptot %
	0,00		0,00

(Tabella 3.2.4.1)

LOTTO 3	lim inf		
		300	
	Ti		
		-10,3637808	
	P(x < lim inf)		Ptot %
	0,00		0,00

(Tabella 3.2.4.2)

LOTTO 1	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA			
		0,95	0,025	92	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
		1,9864			1,5390	100	90
						1,527	1,542
		< $\mu$ <		493,86	< x <		
	446,18			292,86			

(Tabella 3.2.4.3)

LOTTO 3	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA			
		0,95	0,025	74	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
		1,9930			1,9178	90	80
						1,889	1,907
		< $\mu$ <		460,71	< x <		
	408,87			220,23			

(Tabella 3.2.4.4)

<b>LOTTO 1</b>	test 1	Regione di accettazione
	300	$< \mu_0$
	ti	
	14,17	
	p-value	
	100	
	Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 3.2.4.5)

<b>LOTTO 3</b>	test 1	Regione di accettazione
	300	$< \mu_0$
	ti	
	10,36	
	p-value	
	100	
	Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 3.2.4.6)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
300	$< \mu_0$		12,001487	470,021	0,05
t1			$t_{\alpha/2}$		
14,17			-1,6618		
Z1 < Zu			Xi		
			450,076999		

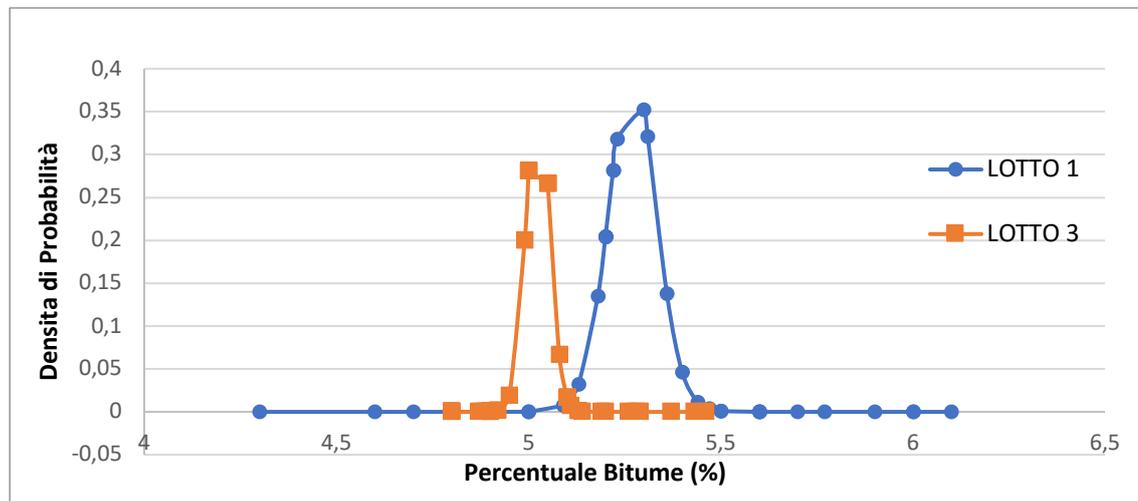
(Tabella 3.2.4.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
300	$< \mu_0$		13,0058095	434,789	0,05
t1			$t_{\alpha/2}$		
10,36			-1,6660		
Z1 < Zu			Xi		
			413,121729		

(Tabella 3.2.4.8)

## Drenante

### ❖ Percentuale di Bitume



(Figura 3.3.2.1)

<b>LOTTO 1</b>	lim inf	lim sup	
	5	6,5	
	Ti	Ts	
	-4,400955505	20,00360367	
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
0,00	0,0E+00	0,00	

(Tabella 3.3.2.1)

<b>LOTTO 3</b>	lim inf	lim sup	
	5	6,5	
	Ti	Ts	
	-0,823564753	50,43019913	
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
20,76	0,0E+00	20,76	

(Tabella 3.3.2.2)

<b>LOTTO 1</b>	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2	
	0,95	0,025	40	0,9	0,05	
	t $\alpha/2$			k	sup	inf
	2,0227			2,0520	40	30
					2,052	2,14
	< $\mu$ <			< x <		
	5,15		5,39	4,47		6,07

(Tabella 3.3.2.3)

<b>LOTTO 3</b>	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA		
	0,95	0,025	39	0,9		
	t $\alpha/2$				sup	inf
	2,0244			2,0608	40	30
					2,052	2,14
	< $\mu$ <			< x <		
	4,96		5,08	4,65		5,40

(Tabella 3.3.2.4)

<b>LOTTO 1</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	5	< $\mu_0$ <	6,5
	ti		tu
	4,40		-20,00
	p-value		p-value
	99,9959435		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 3.3.2.5)

<b>LOTTO 3</b>	test 1	Regione di accettazione	test 2
	5	< $\mu_0$ <	6,5
	ti		tu
	0,82		-50,43
	p-value		p-value
	79,23370365		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 3.3.2.6)

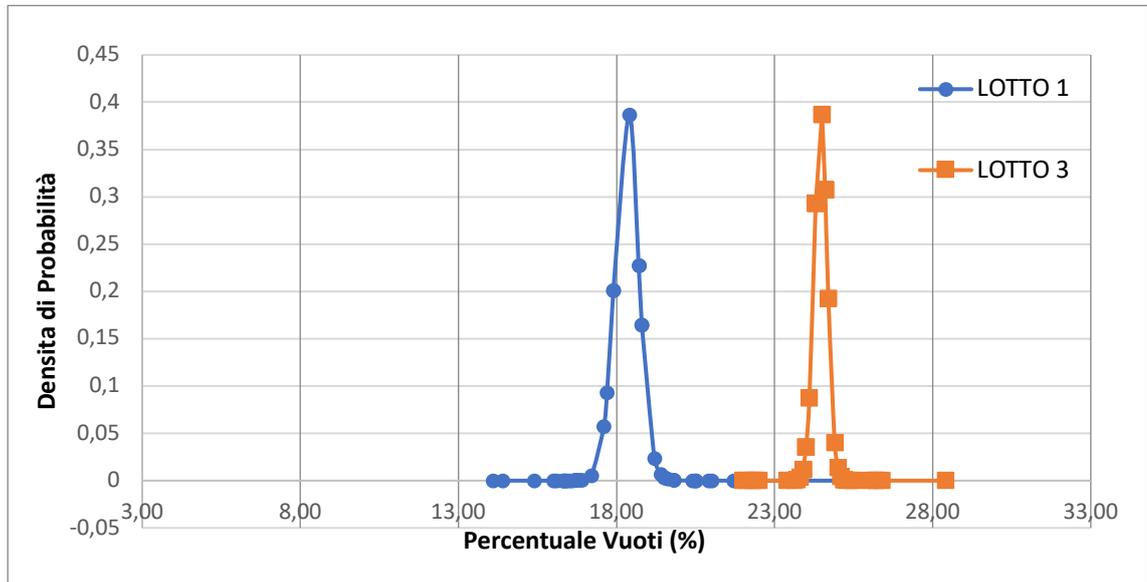
	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
	5	< $\mu_0$ < 6,5	0,06146393	5,271	0,05
t1		t2	$t_{\alpha/2}$	$t_{\alpha/2}$	
	4,40	-20,00	-2,0227	2,0227	
Z1 < Zu		Z2 > Zu	$X_i$	$X_u$	
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0		5,14617748	5,394822523

(Tabella 3.3.2.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
	5	< $\mu_0$ < 6,5	0,02926614	5,024	0,05
t1		t2	$t_{\alpha/2}$	$t_{\alpha/2}$	
	0,82	-50,43	-2,0244	2,0244	
Z1 < Zu		Z2 > Zu	$X_i$	$X_u$	
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0		4,96485635	5,083348774

(Tabella 3.3.2.8)

❖ Percentuale di Vuoti



(Figura 3.3.2.1)

<b>LOTTO 1</b>	lim inf	lim sup	
	16	27	
	Ti	Ts	
	-6,407658837	23,9734822	
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
0,00	0,0E+00	0,00	

(Tabella 3.3.2.1)

<b>LOTTO 3</b>	lim inf	lim sup	
	16	27	
	Ti	Ts	
	-41,59452725	12,5111495	
	P(x < lim inf)	P(x > lim sup)	Ptot %
0,00	1,6E-13	0,00	

(Tabella 3.3.2.2)

<b>LOTTO 1</b>	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA	p/2		
	0,95	0,025		40	0,9	0,05	
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
	2,0227				2,0520	40	30
						2,052	2,14
	< $\mu$ <				< x <		
	17,59		19,05		13,62		23,02

(Tabella 3.3.2.3)

<b>LOTTO 3</b>	LIVELLO DI CONFIDENZA	ALFA/2	n	LIVELLO DI TOLLERANZA			
	0,95	0,025		39	0,9		
	t $\alpha/2$			k	sup	inf	
	2,0244				2,0608	40	30
						2,052	2,14
	< $\mu$ <				< x <		
	24,04		24,87		21,84		27,07

(Tabella 3.3.2.4)

LOTTO 1	test 1	Regione di accettazione	test 2
	16	$< \mu_0 <$	27
	t1		tu
	6,41		-23,97
	p-value		p-value
	99,99999296		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 3.3.2.5)

LOTTO 3	test 1	Regione di accettazione	test 2
	16	$< \mu_0 <$	27
	t1		tu
	41,59		-12,51
	p-value		p-value
	100		100,00
Non Rifiuto la nulla		Non Rifiuto la nulla	

(Tabella 3.3.2.6)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
16	$< \mu_0 <$	27	0,36206672	18,320	0,05
t1		t2	$t\alpha/2$		$t\alpha/2$
6,41		-23,97	-2,0227		2,0227
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	17,5876509		19,05234906

(Tabella 3.3.2.7)

	Regione di accettazione		sigma x	$\mu_0$	$\alpha$
16	$< \mu_0 <$	27	0,20330584	24,456	0,05
t1		t2	$t\alpha/2$		$t\alpha/2$
41,59		-12,51	-2,0244		2,0244
Z1 < Zu		Z2 > Zu	Xi		Xu
Non Rifiuto l'ipotesi H0		Non Rifiuto l'ipotesi H0	24,0448391		24,86798141

(Tabella 3.3.2.8)