



**autostrade // per l'italia**

REGIONE LIGURIA

COLLEGAMENTO TRA LA VALFONTANABUONA  
E L'AUTOSTRADA A12 GENOVA-ROMA

**PROGETTO DEFINITIVO**

**GEOLOGIA**

**RILIEVI GEOMECCANICI  
CAMPAGNA 2011**

<b>IL GEOLOGO</b>  Dott. Vittorio Boerio Ord. Geologi Lombardia N. 794  <b>RESPONSABILE UFFICIO GEO</b>	<b>IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</b>  Ing. Sara Frisiani Ord. Ingg. Genova N. 9810A  <b>CAPO COMMESSA</b>	<b>IL DIRETTORE TECNICO</b>  Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N. 16492  <b>RESPONSABILE DIREZIONE OPERATIVA TECNICA E PROGETTAZIONE</b>
--	--	---

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO							DATA: DICEMBRE 2014	REVISIONE	
	DIRETTORIO			FILE					n.	data
—	codice commessa	N.Prog.	unita'	ufficio	n. progressivo	Rev.				
—	11001302	ST	PGE00025				SCALA: —			

	<b>RESPONSABILE PROGETTO GENOVA</b>  Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	
		ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	APE: Ing. Marco D'Angelantonio Ord. Ingg. Milano N.20155 TUN: Ing. Andrea Tanzi O.I. Parma N.1154 MAM: Ing. Ferruccio Bucalo Ord. Ingg. Genova N.4940
CONSULENZA A CURA DI :		IL RESPONSABILE UNITA' STP	Ing. Andrea Tanzi O.I. Parma N.1154

<b>VISTO DEL COMMITTENTE</b>    R.U.P. — Ing. Andrea Frediani	<b>VISTO DEL CONCEDENTE</b>    <b>Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti</b> <small>DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</small>
---	---

# SoilData

STUDIO ASSOCIATO

---

CONSULENZE GEOLOGICO-TECNICHE  
MISURE GEOTECNICHE IN SITO

DR. GEOL. GIOVANNI GIORGI  
DR. GEOL. ROBERTO PREVIATI

**SPEA S.p.A.**

**TUNNEL DI FONTANABUONA**

**PROGETTO PRELIMINARE**

**RILIEVI GEOMECCANICI**

**RELAZIONE TECNICA**

*Ottobre 2011*

## **INDICE**

1. PREMESSA.....	3
2. RILIEVI GEOMECCANICI .....	4
3. PROVE DI RESISTENZA A CARICO PUNTIFORME .....	6
4. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI ....	7
4.1. Criteri di classificazione tecnica degli ammassi rocciosi.....	7
4.2. Criteri di caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi .....	8

## **ALLEGATI**

Allegato 1: Rilievi geomeccanici – Schede di rilievo ed elaborazione dati

Allegato 2: Prove di resistenza a carico puntiforme – Risultati

Allegato 3: Classificazioni geomeccaniche degli ammassi rocciosi – Valori medi

## 1. PREMESSA

Nell'ambito delle indagini e degli studi relativi alla progettazione preliminare del collegamento autostradale che prevede la realizzazione di un nuovo tratto prevalentemente in galleria, che collega l'autostrada A12 presso lo svincolo di Rapallo con la Strada Provinciale 225 denominata Fontanabuona, lungo l'asse della Val Lavagna, sono stati eseguiti n° 10 rilievi geomeccanici di dettaglio, finalizzati alla caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi coinvolti nella realizzazione delle opere in progetto e alla determinazione dei relativi parametri di resistenza e deformabilità.

L'ubicazione dei rilievi, definita sulla base delle esigenze progettuali e della effettiva disponibilità di aree di affioramento significative, è riportata negli stralci planimetrici in scala 1:5.000 allegati alle schede di rilievo (cfr. **Allegato 1**).



## 2. RILIEVI GEOMECCANICI

Nel corso dei rilievi geomeccanici, condotti in accordo alle raccomandazioni ISRM (“Quantitative description of discontinuities in rock masses”, 1978) lungo stese di rilievo areali, sono stati rilevati i seguenti parametri:

- giacitura (immersione/inclinazione)
- spaziatura
- tipo di terminazione
- persistenza lineare
- apertura
- alterazione delle superfici, espressa a mezzo del termine  $J_a$  di Barton e secondo le classi ISRM ( $w_2 \div w_5$ )
- resistenza a compressione monoassiale delle pareti del giunto (JCS), determinata con sclerometro da roccia di tipo L
- rugosità a grande scala espressa attraverso una valutazione qualitativa dell'andamento delle discontinuità per confronto con le tabelle di riferimento dell'ISRM
- rugosità a piccola scala, espressa attraverso il parametro JRC valutato a mezzo profilografo, ed il parametro  $J_r$  di Barton
- presenza, tipo e spessore del riempimento.

Ad integrazione dei dati relativi alle discontinuità sono stati rilevati i seguenti parametri geomeccanici relativi all'ammasso roccioso:

- forma e dimensioni del volume roccioso unitario
- intercetta delle discontinuità
- numero di discontinuità per metro cubo d'ammasso  $J_v$
- grado di alterazione dell'ammasso roccioso
- condizioni di umidità dell'ammasso roccioso

Inoltre, nel caso di rilievi eseguiti su ammassi rocciosi caratterizzati dall'alternanza di diversi litotipi, sono state eseguite rilevazioni stratimetriche per l'individuazione del relativo rapporto percentuale e si sono acquisiti i valori di resistenza a compressione monoassiale per ciascun tipo litologico.

In corrispondenza di alcune aree di rilievo, in cui le caratteristiche geomeccaniche degli ammassi affioranti non consentivano l'esecuzione di rilievo completi, le operazioni di terreno sono consistite, oltre che in una accurata descrizione delle caratteristiche geomeccaniche complessive dell'ammasso, in una descrizione geologica e litologica dell'affioramento.

I dati misurati nel corso dei rilievi geomeccanici completi sono stati successivamente analizzati statisticamente e raggruppati in set mediante l'utilizzo della tecnica delle proiezioni polari attraverso apposito programma di calcolo automatico (DIPS 5.106 – Rocscience inc., 1989-2006 - Toronto).

I risultati delle elaborazioni condotte sono state raccolte in tabelle di sintesi in cui, dopo una descrizione geologica e geomeccanica generale dell'ammasso roccioso, sono stati riportati il volume roccioso unitario medio, il valore di resistenza a compressione monoassiale del materiale roccia, i rapporti stratimetrici percentuali tra i diversi litotipi presenti, l'intercetta media delle discontinuità ed il numero di discontinuità per metro cubo d'ammasso, oltre alle caratteristiche medie dei set di discontinuità individuati.

Le schede di misura, le sintesi dei dati elaborati per ciascun rilievo eseguito, unitamente alle proiezioni polari a curve di isodensità dei poli di tutte le discontinuità rilevate, alle proiezioni ciclografiche dei piani medi di ciascuna famiglia di discontinuità individuata e ad una serie di istogrammi rappresentanti la distribuzione statistica dei parametri rilevati suddivisi per famiglia di discontinuità sono riportati nell'**Allegato 1**.

### 3. PROVE DI RESISTENZA A CARICO PUNTIFORME

Su campioni di roccia prelevati nelle aree di rilievo geomeccanico sono state condotte prove di compressione a carico puntiforme (point load strength test) eseguite in accordo alla norma ASTM D 5731-95; in presenza di litotipi a resistenza marcatamente anisotropa le prove sono state condotte sia in direzione perpendicolare che in direzione parallela alle linee di debolezza.

Le prove condotte hanno consentito la determinazione della resistenza a compressione monoassiale  $\sigma_{ci}$  ottenuta a mezzo della relazione:

$$\sigma_{ci} = I_{s(50)} * 24$$

con  $I_{s(50)}$  = indice di resistenza al point-load corretto in funzione della forma e delle dimensioni del campione in accordo alla norma citata.

Oltre al valore medio di resistenza, ottenuto scartando i 2 valori più alti ed i 2 valori più bassi ottenuti è stata valutata anche la variabilità statistica dei risultati ottenuti.

I risultati delle prove condotte sono riportati nell'**Allegato 2**.

## 4. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

### 4.1. Criteri di classificazione tecnica degli ammassi rocciosi

La caratterizzazione degli ammassi rocciosi oggetto dei rilievi è stata eseguita attraverso la classificazione geomeccanica con l'RMR System - Geomechanics Classification di Bieniawski (1973, 1979, 1989) e con il Q-System di Barton (1974, 1993).

Con il primo approccio si perviene alla classificazione dell'ammasso roccioso attraverso un indice RMR (Rock Mass Rating), sommatoria dei pesi attribuiti alla resistenza a compressione monoassiale del materiale roccia, all' RQD (Rock Quality Designation), alla spaziatura delle discontinuità, alle condizioni delle stesse e alle condizioni di umidità.

Nel secondo si determina un indice di qualità Q attraverso la seguente formula

$$Q = RQD/J_n * J_r/J_a * J_w/SRF$$

dove:

RQD : recupero in carotaggio percentuale modificato, calcolato attraverso la formula  $RQD = 114 - 8 * J_v + 0.14 * J_v^2$  (con  $J_v = n^\circ$  di fratture al metro cubo) (Priest e Hudson, 1976)

$J_n$  : fattore rappresentativo del numero di set di discontinuità presenti

$J_r$  : fattore rappresentativo della rugosità dei giunti

$J_a$  : fattore rappresentativo dell'alterazione dei giunti

$J_w$  : fattore rappresentativo delle condizioni idriche dell'ammasso roccioso

SRF : fattore rappresentativo del campo tensionale agente

Nella tabella di sintesi viene riportato il Rock Mass Rating intrinseco (RMR'), ottenuto dalla classificazione di Bieniawski come valore di Rock Mass Rating non corretto per l'orientazione dei giunti e considerando condizioni di ammasso asciutto; analogamente nel Q-System di Barton viene definito un indice di qualità intrinseco (Q') ponendo il fattore di riduzione per gli stress agenti SRF ed il parametro relativo alle condizioni idriche  $J_w$  pari a 1, in modo da ottenere due indici direttamente confrontabili e rappresentativi dei parametri geomeccanici di base dell'ammasso roccioso.

#### 4.2. Criteri di caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi

I parametri di resistenza e deformabilità degli ammassi rocciosi oggetto di rilievo sono stati determinati sulla base del Geological Strength Index (GSI) (Hoek, Kaiser e Bawden, 1995, Hoek e Marinos, 2000), introdotto per rappresentare le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso a prescindere dalle condizioni strettamente legate al contesto di analisi (condizioni di umidità, stato tensionale, orientazione delle discontinuità nei confronti dell'opera); analiticamente esso può essere ricavato secondo diverse equazioni, tra le quali le più note sono:

$$\text{GSI} = \text{RMR}' - 5$$

$$\text{GSI} = 9 \ln Q' + 44$$

$$\text{GSI} = 10 \ln Q' + 32$$

In particolare, al fine di tener conto della maggior sensibilità del Q system per ammassi rocciosi di qualità scadente, in accordo anche alle indicazioni di Hoek, Kaiser e Bawden (1998), la prima equazione è stata utilizzata per ammassi rocciosi caratterizzati da valori di  $Q' \leq 0.2$  o di  $\text{RMR}' \leq 30$ , mentre per ammassi di qualità più scadente ( $Q' > 0.2$  o  $\text{RMR}' > 30$ ) il valore del GSI è stato calcolato come media dei valori ottenuti dalle altre due equazioni.

In alternativa alla derivazione del GSI dal valore di  $\text{RMR}'$  o di  $Q'$ , ed in particolare per ammassi rocciosi costituiti da alternanze litologiche e per ammassi molto scadenti, è preferibile stimare direttamente in sito l'intervallo del GSI rappresentativo dell'ammasso roccioso affiorante attraverso l'utilizzo delle tabelle comparative proposte da Hoek e Marinos (Hoek e Marinos, 2000), che per ammassi rocciosi caratterizzati da alternanze tra diversi litotipi individuano 6 classi in funzione del rapporto percentuale tra il litotipo più competente e quello meno competente (classi A, B, C, D, E e G) a cui si aggiungono due ulteriori classi (classi F e H) nel caso in cui l'ammasso sia interessato da intensa deformazione tettonica.

Nel presente studio l'indice GSI è stato valutato sia a mezzo di osservazioni visive in sito che a mediante le relazioni empiriche con gli indici  $\text{RMR}'$  e  $Q'$ . In merito a tale aspetto occorre considerare che la derivazione analitica del GSI dagli indici  $\text{RMR}'$  e  $Q'$ , se da un lato può apparire più precisa della semplice valutazione visiva, può in realtà risultare fuorviante o addirittura priva di significato per ammassi rocciosi a debole

resistenza fortemente fratturati o costituiti da alternanze tra livelli competenti e livelli a debole resistenza (weack-rocks); si deve infatti ricordare che gli indici RMR' e Q', sviluppati inizialmente per ammassi omogenei da poco a mediamente fratturati, sono fortemente dipendenti dal valore di RQD dell'ammasso roccioso che in tali contesti risulta di scarsa significatività. Per ammassi rocciosi a debole resistenza e per ammassi rocciosi eterogenei, caratterizzati da valori di GS inferiori a 30-35, è quindi a parere degli scriventi senz'altro preferibile la stima diretta del valore di GSI sulla base di una attenta valutazione delle caratteristiche litologiche d'ammasso e delle superfici di discontinuità; per tale motivo, sebbene sulle schede di classificazione degli ammassi rocciosi siano riportati sia il valore di GSI stimato visivamente che quello calcolato analiticamente, la derivazione dei parametri di resistenza e deformabilità d'ammasso è stata condotta in questa sede a partire dal valore di GSI stimato direttamente in sito.

Partendo dagli indici di qualità degli ammassi rocciosi (GSI) sono poi stati determinati i parametri di resistenza degli stessi, secondo il criterio di rottura di Hoek & Brown (Hoek et al., 1995), espresso nel piano  $\sigma_1 / \sigma_3$  dalla relazione:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \cdot \left[ \left( m_b \cdot \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} \right) + s \right]^a$$

dove:

- $\sigma_1$  : sforzo principale maggiore
- $\sigma_3$  : sforzo principale minore
- $\sigma_{ci}$  : resistenza a compressione monoassiale del materiale roccia
- $m_b$  : parametro di curvatura dell'involuppo, dipendente dalla natura litologica e dallo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso
- $s$  : parametro di curvatura dell'involuppo, dipendente dallo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso
- $a$  : parametro di curvatura dell'involuppo, dipendente dallo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso

I valori degli indici  $m_b$ ,  $s$  e  $a$  che descrivono la resistenza degli ammassi rocciosi in condizioni di picco, sono stati ricavati secondo le espressioni seguenti (Hoek et al., 1995, 2002):

$$m_b = m_i \exp\left[\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right]$$

$$s = \exp\left[\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right]$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}(e^{-GSI/15} - e^{-20/3})$$

con

- $m_i$  : parametro di curvatura dell'involuppo di rottura triassiale del materiale roccia;
- $D$  : fattore dipendente dal grado di disturbo cui è soggetto l'ammasso roccioso in relazione alla metodologia di scavo e agli sforzi tensionali presenti ( $0 \leq D \leq 1$ ; valore nullo per ammasso indisturbato).

I valori numerici della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta  $\sigma_{ci}$  sono stati determinati sulla base dei risultati delle prove di compressione a carico puntiforme condotte nell'ambito del presente studio, mentre i valori di  $m_i$ , in assenza in questa fase di prove di compressione triassiale su campioni lapidei, sono stati assunti sulla base di dati di letteratura.

Si precisa che nel caso di ammassi rocciosi caratterizzati da alternanze di litotipi più o meno competenti i parametri di resistenza del materiale roccia assunti per la classificazione e la caratterizzazione geomeccanica vengono determinati eseguendo una media pesata dei parametri di ciascun litotipo in funzione dei relativi rapporti stratimetrici, in accordo ai più recenti orientamenti (Hoek e Marinos 2000, Hoek et al., 2002). Infatti l'utilizzo dei parametri del litotipo più competente determinerebbe una sovrastima dei parametri di resistenza dell'ammasso roccioso a causa della presenza degli interstrati a debole resistenza; d'altro canto l'impiego dei parametri del litotipo debole risulterebbe troppo conservativo, perlomeno fino ad un rapporto stratimetrico limite oltre il quale l'eventuale presenza di strati competenti risulta ininfluenza, in quanto la presenza degli strati competenti comporta un significativo contributo alla resistenza globale d'ammasso.

Il parametro  $D$  è sempre stato posto pari a 0 al fine di tenere conto nella definizione dei parametri di resistenza e deformabilità solo dei parametri intrinseci dell'ammasso roccioso, escludendo qualsiasi elemento perturbativo esterno,

analogamente a quanto già indicato per le condizioni idriche.

Per tenere conto del decadimento delle caratteristiche di resistenza e deformabilità al progredire delle deformazioni e al conseguente progressivo allentamento che contraddistingue gli ammassi rocciosi i parametri  $m_b$  ed  $s$  sono stati determinati anche per la condizione post-rottura sulla base delle seguenti relazioni, ricavate dagli scriventi in base ai risultati di recenti lavori sperimentali (Crowder e Bawden, 2005, 2006):

$$m_r = m_b \cdot 10e^{-0.076GSI}$$

$$s_r = s \cdot 10e^{-0.076GSI}$$

valide per valori di GSI compresi tra 30 e 70,

$$m_r = m_b$$

$$s_r = s$$

valide per valori di GSI inferiori a 30, e

$$m_r = 0.05 \cdot m_b$$

$$s_r = 0.05 \cdot s$$

valide per valori di GSI maggiori di 70.

Oltre che nel piano  $\sigma_1 / \sigma_3$ , gli involucri di rottura degli ammassi rocciosi sono stati determinati anche nel piano  $\sigma / \tau$  utilizzando la soluzione originariamente sviluppata da Balmer (1952) e successivamente modificata (Hoek et. al., 2002) espressa a mezzo delle seguenti equazioni:

$$\sigma_n = 0.5 (\sigma_1 + \sigma_3) - 0.5 (\sigma_1 - \sigma_3) [(\partial\sigma_1 / \partial\sigma_3 - 1) / (\partial\sigma_1 / \partial\sigma_3 + 1)]$$

$$\tau = (\sigma_1 - \sigma_3) \cdot (\partial\sigma_1 / \partial\sigma_3)^{0.5} / (\partial\sigma_1 / \partial\sigma_3 + 1)$$

con

$$\partial\sigma_1 / \partial\sigma_3 = 1 + a m_b (m_b \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^{a-1}$$

Considerando la non linearità degli involucri di rottura calcolati, essi sono stati



rettificati all'interno del campo tensionale compreso tra 0 e 0.5 MPa determinando i valori di angolo di resistenza al taglio e di coesione istantanei, in funzione del livello di sollecitazione agente, attraverso le equazioni:

$$\varphi_i = 90 - \arccos(2 \cdot \tau / (\sigma_1 - \sigma_3))$$

$$c_i = \tau - \sigma_n \cdot \tan \varphi_i$$

Oltre ai parametri dell'involuppo di rottura sono state calcolate la resistenza a trazione  $\sigma_t$ , la resistenza a compressione monoassiale  $\sigma_c$  e la resistenza globale  $\sigma_{cm}$  sulla base delle seguenti equazioni (Hoek et al., 2002), sia in condizioni di picco che di post-rottura:

$$\sigma_t = -s \sigma_{ci} / m_b$$

$$\sigma_c = \sigma_{ci} S^a$$

$$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} ((m_b + 4s - a(m_b - 8s))(m_b/4 + s)^{a-1}) / 2(1+a)(2+a)$$

Per quanto riguarda i due valori di resistenza a compressione sopra indicati si precisa che mentre la resistenza a compressione monoassiale  $\sigma_c$  rappresenta il valore di sforzo per il quale ha inizio il processo di propagazione delle fratture nell'ammasso roccioso, la resistenza globale  $\sigma_{cm}$  rappresenta la resistenza ultima il cui superamento comporta il collasso dell'ammasso roccioso (Hoek et al., 2002).

Da ultimo è stato determinato il valore del modulo di deformabilità dell'ammasso roccioso secondo la relazione proposta da Hoek e Diederichs (2006):

$$E_m = MR \sigma_{ci} [0.02 + (1 - D/2) / (1 + e^{((75+25D-GSI)/11)})]$$

con

$\sigma_{ci}$  : resistenza compressione monoassiale del materiale roccia;

$MR$  : rapporto tra il modulo di deformazione e la resistenza a compressione del materiale roccia

Per confronto il modulo di deformabilità dell'ammasso roccioso è stato determinato anche secondo la relazione proposta da Serafim e Pereira (1983) e successivamente modificata da Hoek et al. (2002):

$$E_m = (1 - D/2)(\sigma_{ci} / 100)^{0.5} 10^{(GSI-10)/40}$$

La classificazione e la parametrizzazione degli ammassi rocciosi oggetto dei rilievi geomeccanici sono riportati nell'**Allegato 3** alla presente relazione, unitamente alle tabelle numeriche ed ai grafici degli involuipi di rottura. I tratti iniziali degli involuipi di rottura degli ammassi rocciosi sono stati plottati su grafici separati in modo da rappresentare in dettaglio la variazione delle caratteristiche di resistenza al taglio degli ammassi rocciosi per bassi valori di confinamento ( $\sigma_3 = 0 \div 1$  MPa).

**ALLEGATI**

**ALLEGATO 1**

**RILIEVI GEOMECCANICI**

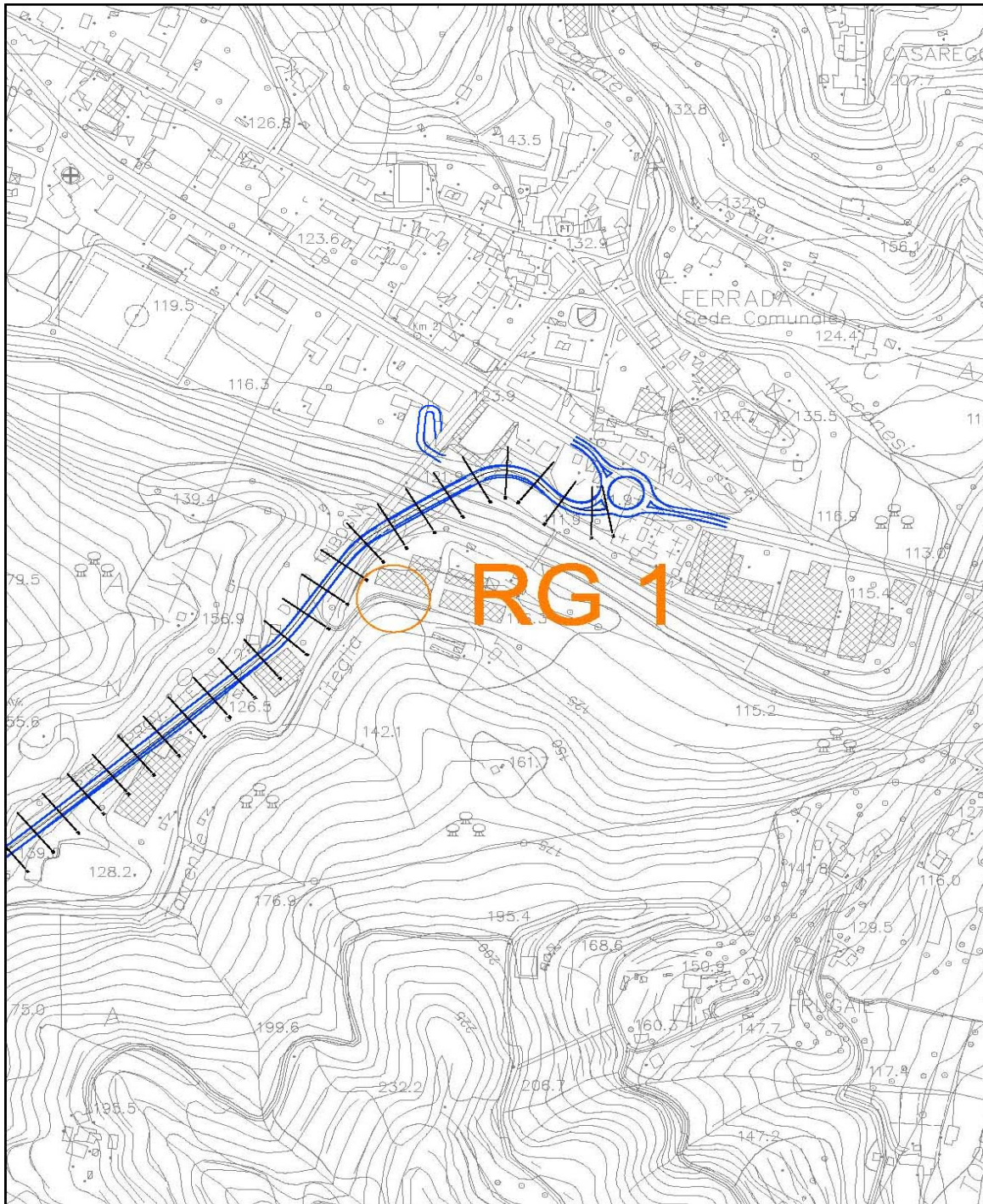
**- SCHEDE DI RILIEVO ED ELABORAZIONE -**

## RILIEVO GEOMECCANICO

Ubicazione area di rilievo

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.			
<b>Commessa</b>	Fontanabuona			
<b>Località</b>	Ferrada			
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga	X: 1516779	Y: 4918276	Quota: 120
<b>Data</b>	18/08/11			
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 1			

### Stralcio planimetrico



Scala 1:5.000



**RILIEVO GEOMECCANICO**  
**Scheda di sintesi**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.		
<b>Commessa</b>	Fontanabuona		
<b>Località</b>	Ferrada		
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga X: 1516779	Y: 4918276	Quota: 120
<b>Data</b>	18/08/11		
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG1		

**Condizioni generali dell'ammasso roccioso**

Giacitura del fronte di misura	[°/°]	350 / 85
Giacitura generale del pendio	[°/°]	350 / 90
Dimensioni dell'area di rilievo geomeccanico	[m x m]	5 x 15
Volume roccioso unitario medio [dimensioni]	[cm x cm x cm]	4 x 2 x 8
[forma]	[-]	scaglie
Resistenza a compressione monoassiale del materiale roccia:	litologia	A   B
	moda [MPa]	30
	variabilità [MPa]	15-39
Percentuale relativa	[%]	>95
Intercetta delle discontinuità	[cm]	0,9
Numero di discontinuità per metro cubo d'ammasso - J <sub>v</sub>	[n°/m <sup>3</sup> ]	107,5

Grado di alterazione dell'ammasso	non alterato	debolm. alterato	moder. alterato	molto alterato	decomposto
Condizioni di umidità dell'ammasso	asciutto	umido	bagnato	stillicidio	flusso



**Geological Strength Index**

Struttura in ammassi complessi	A	B	C	D	E	F	G	H
Struttura in ammassi omogenei	I	B	VB	B / D / S	D	L / S		
Condizioni delle discontinuità	VG	G	F	P	VP			
							GSI	25±5

**Litologia e descrizione geologica generale**

Metasiltiti grigio-verdastre fittamente laminate con subordinate intercalazioni di metaareniti fini in strati decimetrici.

**Condizioni generali delle discontinuità**

set	giacitura [°]	spaziatura [cm]		persistenza [%]		apertura [mm]		ondulazione e rugosità				JRC [-]	Jr [-]	JCS [MPa]	Ja [-]	alterazione	pellicole		riempimento															
		moda	variabilità	moda	variabilità	moda	variabilità	moda	variabilità	moda	variabilità						moda	variabilità	moda	variabilità	materiale prevalente	materiale prevalente	durezza	spessore [mm]										
																									sabbia	limo	argilla	minerali asbestiformi	vene minerali	sabbia	limo	argilla	scaglie e argilla materiate	rigorifiante
1-S	146/39	1	0,5-7	100	-	0	-	a scalini	ondulata	planare	4	4-6	2	-	16	11-23	1	-	non alt.	deb. alt.	mod. alt.													
								molto rug.	rugosa	deb. rug.									liscia	lisciata	molto alt.	decomposta												
2-k1	253/57	14	4-30	63	60-100	0	0-2	a scalini	ondulata	planare	4	3-6	1	-	24	14-49	1	1-2	non alt.	deb. alt.	mod. alt.													
								molto rug.	rugosa	deb. rug.									liscia	lisciata	molto alt.	decomposta												
3-k2	015/46	20	12-60	60	50-80	0	0-3	a scalini	ondulata	planare	8	6-10	1	-	17	16-45	1	1-2	non alt.	deb. alt.	mod. alt.													
								molto rug.	rugosa	deb. rug.									liscia	lisciata	molto alt.	decomposta												
								a scalini	ondulata	planare									non alt.	deb. alt.	mod. alt.													
								molto rug.	rugosa	deb. rug.									liscia	lisciata	molto alt.	decomposta												
								a scalini	ondulata	planare									non alt.	deb. alt.	mod. alt.													
								molto rug.	rugosa	deb. rug.									liscia	lisciata	molto alt.	decomposta												

## Rilievo di dettaglio delle discontinuità

## Rilievo geomeccanico n° RG1

n°	set	giacitura		spaziatura [cm]	terminazione [x-d-r]	persistenza lineare [%]	apertura [mm]	alterazione		JCS			rugosità			riempimento	
		Barton	ISRM					Barton	ISRM								
									Ja	[w1-w5]	R	$\alpha$	[MPa]	Jr	[I-IX]	JRC	tipo
1	S	130	40	1	xx	100	0	1	W2	<10	50	11	2	V	4	assente	-
2	S	160	30	3	xx	100	0	1	W2	<10	60	11	2	V	4	assente	-
3	S	154	45	1	xx	100	0	1	W2	12	45	13	2	V	6	assente	-
4	S	164	30	1	xx	100	0	1	W2	<10	60	11	2	V	6	assente	-
5	S	140	45	2	xx	100	0	1	W2	10	45	12	2	V	5	assente	-
6	S	154	45	7	xx	100	0	1	W2	22	45	22	2	V	4	assente	-
7	S	138	35	4	xx	100	0	1	W2	18	55	17	2	V	4	assente	-
8	S	166	50	1	xx	100	0	1	W2	18	40	18	2	V	4	assente	-
9	S	145	40	1	xx	100	0	1	W2	16	50	16	2	V	6	assente	-
10	S	146	45	0,5	xx	100	0	1	W2	18	45	18	2	V	6	assente	-
11	S	152	40	1	xx	100	0	1	W2	22	50	22	2	V	4	assente	-
12	S	148	38	2	xx	100	0	1	W2	18	52	17	2	V	4	assente	-
13	S	150	36	1	xx	100	0	1	W2	18	54	17	2	V	4	assente	-
14	S	122	30	1	xx	100	0	1	W2	16	60	15	2	V	4	assente	-
15	S	148	35	1	xx	100	0	1	W2	14	55	14	2	V	6	assente	-
16	S	128	35	1	xx	100	0	1	W2	18	55	17	2	V	6	assente	-
17	S	142	30	2	xx	100	0	1	W2	20	60	19	2	V	4	assente	-
18	S	135	55	1	xx	100	0	1	W2	22	35	23	2	V	4	assente	-
19	S	150	42	0,5	xx	100	0	1	W2	16	48	16	2	V	4	assente	-
20	S	138	36	1	xx	100	0	1	W2	18	54	17	2	V	4	assente	-
21	K1	250	65	25	xd	60	0	1	W2	12	25	14	1	VIII	4	assente	-
22	K1	248	60	30	xd	60	0	1	W2	20	30	21	1	VIII	4	assente	-
23	K1	255	58	15	xd	80	0	1	W2	16	32	17	1	VIII	4	assente	-
24	K1	248	55	6	xd	70	1	2	W2	32	-35	49	1	VIII	6	assente	-
25	K1	248	65	12	xd	60	0	1	W2	28	-25	39	1	VIII	6	assente	-
26	K1	254	55	5	xd	80	2	2	W2	12	-35	18	1	VIII	4	assente	-
27	K1	244	65	7	xd	80	0	1	W2	10	-25	16	1	VIII	3	assente	-
28	K1	252	65	20	xd	60	1	2	W2	28	-25	39	1	VIII	4	assente	-
29	K1	254	63	7	xd	60	1	2	W2	10	-27	16	1	VIII	4	assente	-
30	K1	264	65	4	xd	70	0	1	W2	16	-25	21	1	VIII	4	assente	-
31	K1	252	54	12	xd	60	1	2	W2	16	-36	22	1	VIII	6	assente	-
32	K1	278	45	20	xd	60	2	2	W2	18	-45	24	1	VIII	4	assente	-
33	K1	250	55	14	xd	70	1	2	W2	18	-35	24	1	VIII	5	assente	-
34	K1	245	48	15	xd	80	0	1	W2	18	-42	24	1	VIII	4	assente	-
35	K1	252	46	20	xd	60	0	1	W2	16	-44	22	1	VIII	4	assente	-
36	K2	28	55	15	xd	60	2	2	W2	12	-35	18	1	VIII	8	assente	-
37	K2	18	45	12	xd	50	0	1	W2	<10	-45	16	1	VIII	8	assente	-
38	K2	355	40	40	xd	60	0	1	W2	<10	-50	17	1	VIII	10	assente	-
39	K2	354	40	60	xd	60	3	2	W2	12	-50	18	1	VIII	10	assente	-
40	K2	22	40	20	xd	65	0	1	W2	12	-50	18	1	VIII	8	assente	-
41	K2	335	50	30	xd	50	2	2	W2	10	-40	16	1	VIII	8	assente	-
42	K2	14	50	25	xd	60	3	2	W2	<10	-40	16	1	VIII	6	assente	-
43	K2	26	45	25	xd	65	0	1	W2	<10	-45	16	1	VIII	8	assente	-
44	K2	20	46	30	xd	70	0	1	W2	12	-44	18	1	VIII	10	assente	-
45	K2	28	55	20	xd	80	0	1	W2	10	-35	16	1	VIII	10	assente	-
46	K2	20	50	25	xd	60	0	1	W2	16	-40	22	1	VIII	8	assente	-
47	K2	24	45	30	xd	60	2	2	W2	30	-45	45	1	VIII	8	assente	-
48	K2	16	55	25	xd	50	0	1	W2	20	-35	26	1	VIII	10	assente	-
49	K2	20	50	15	xd	50	0	1	W2	20	-40	27	1	VIII	10	assente	-
50	K2	18	42	20	xd	60	2	2	W2	14	-48	20	1	VIII	8	assente	-

**RILIEVO GEOMECCANICO**  
**Rilievi sclerometrici sul materiale roccia**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Fontanabuona
<b>Località</b>	Ferrada
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga X: 1516779 Y: 4918276 Quota: 120
<b>Data</b>	19/08/11
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG1

n°	litologia A					
	R	$\alpha$	corr.	R'	$\gamma$	$\sigma_{ci}$
	[-]	[°]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]
1	36	-90	0	36	25	63,39
2	16	-90	0	16	25	23,01
3	16	-90	0	16	25	23,01
4	10	-90	0	10	25	16,98
5	38	-90	0	38	25	70,15
6	28	-90	0	28	25	42,27
7	36	-90	0	36	25	63,39
8	30	-90	0	30	25	46,77
9	32	-90	0	32	25	51,76
10	30	-90	0	30	25	46,77
11	26	-90	0	26	25	38,19
12	36	-90	0	36	25	63,39
13	32	-90	0	32	25	51,76
14	26	-90	0	26	25	38,19
15	28	-90	0	28	25	42,27
16	32	-90	0	32	25	51,76
17	34	-90	0	34	25	57,28
18	36	-90	0	36	25	63,39
19	30	-90	0	30	25	46,77
20	28	-90	0	28	25	42,27

**Variabilità statistica**

$\sigma_{ci}$ [MPa]	
media	dev. st.
47,14	14,61

mediana	percentili	
	5°	95°
46,77	22,71	63,72

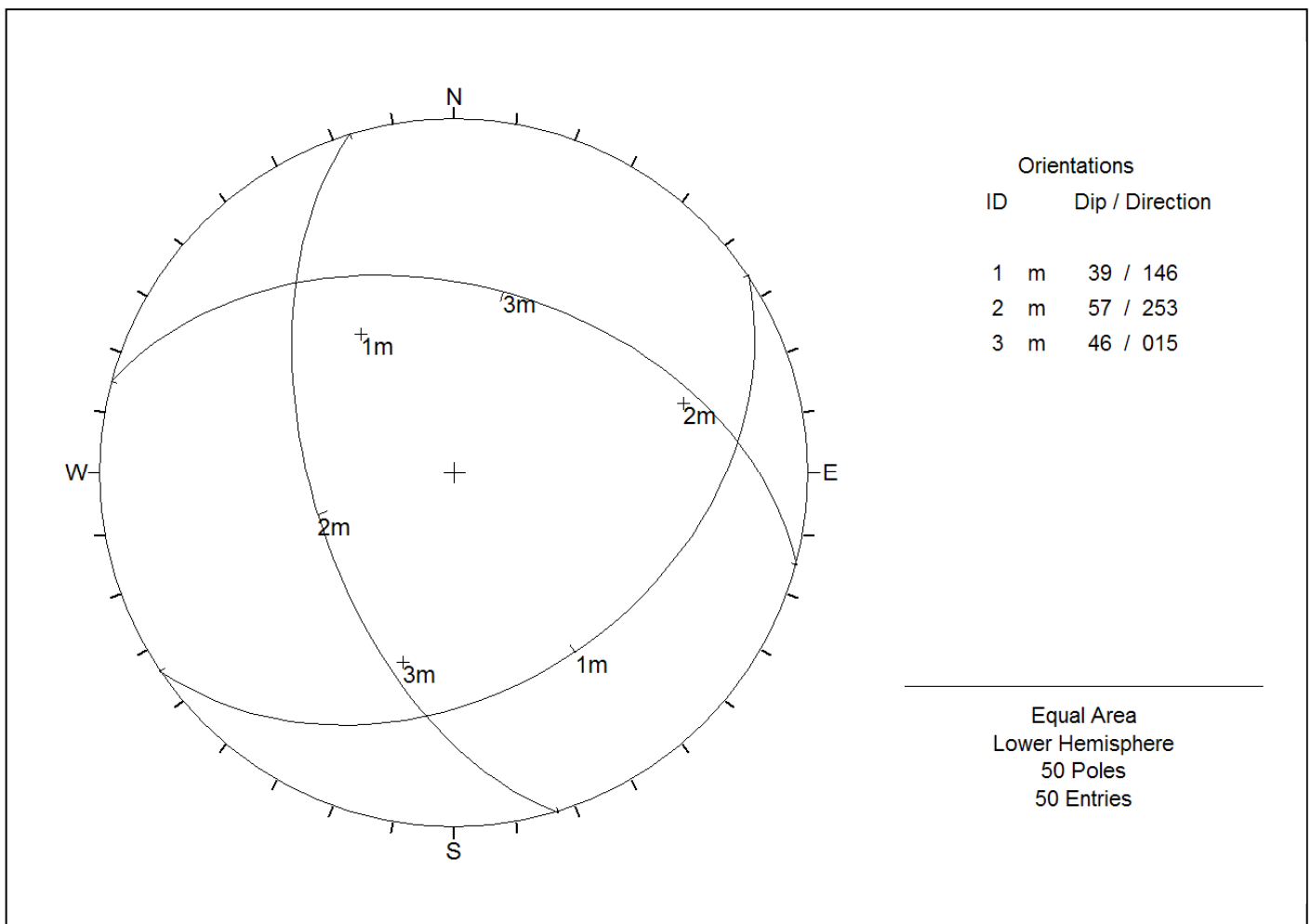
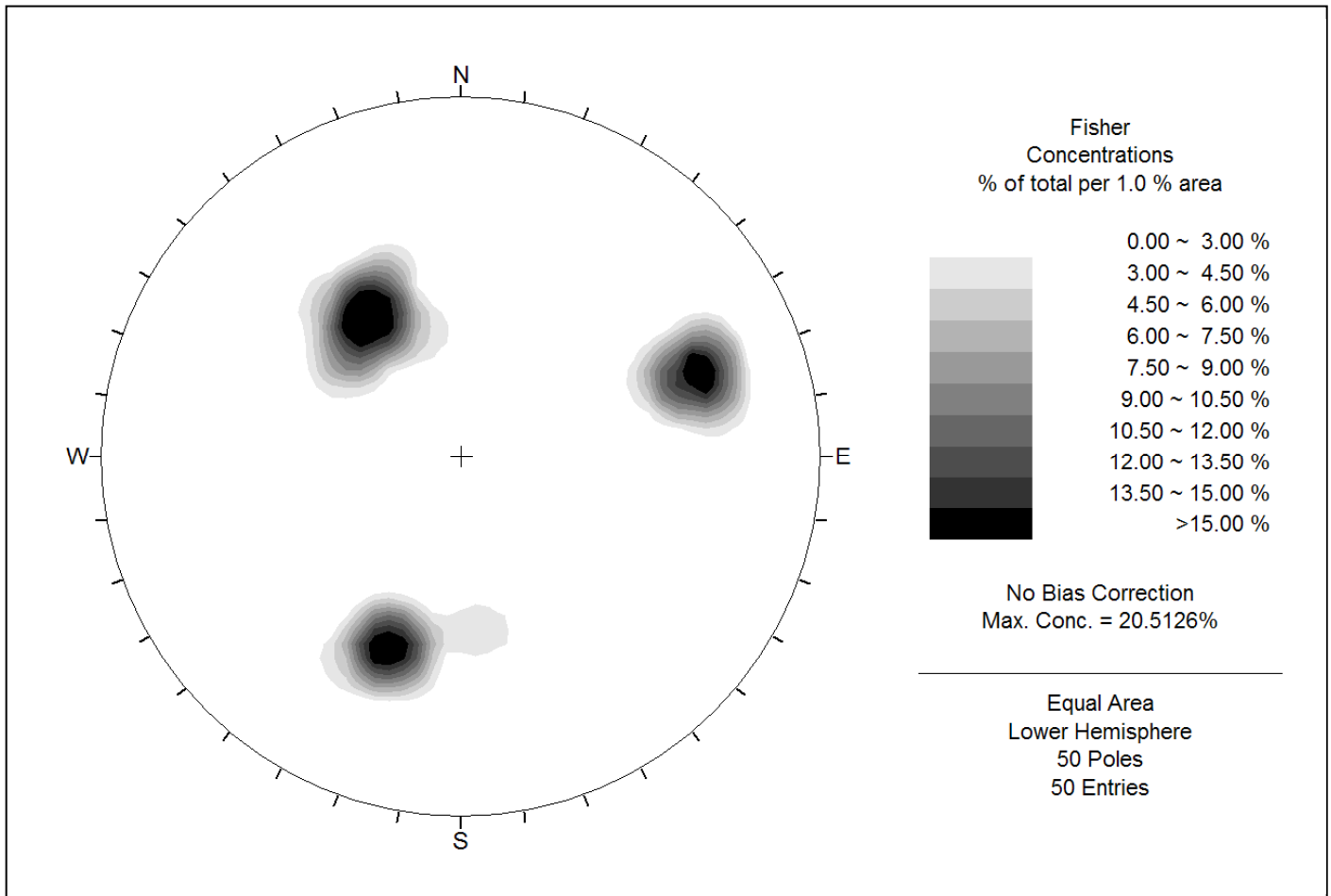
n°	litologia B					
	R	$\alpha$	corr.	R'	$\gamma$	$\sigma_{ci}$
	[-]	[°]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

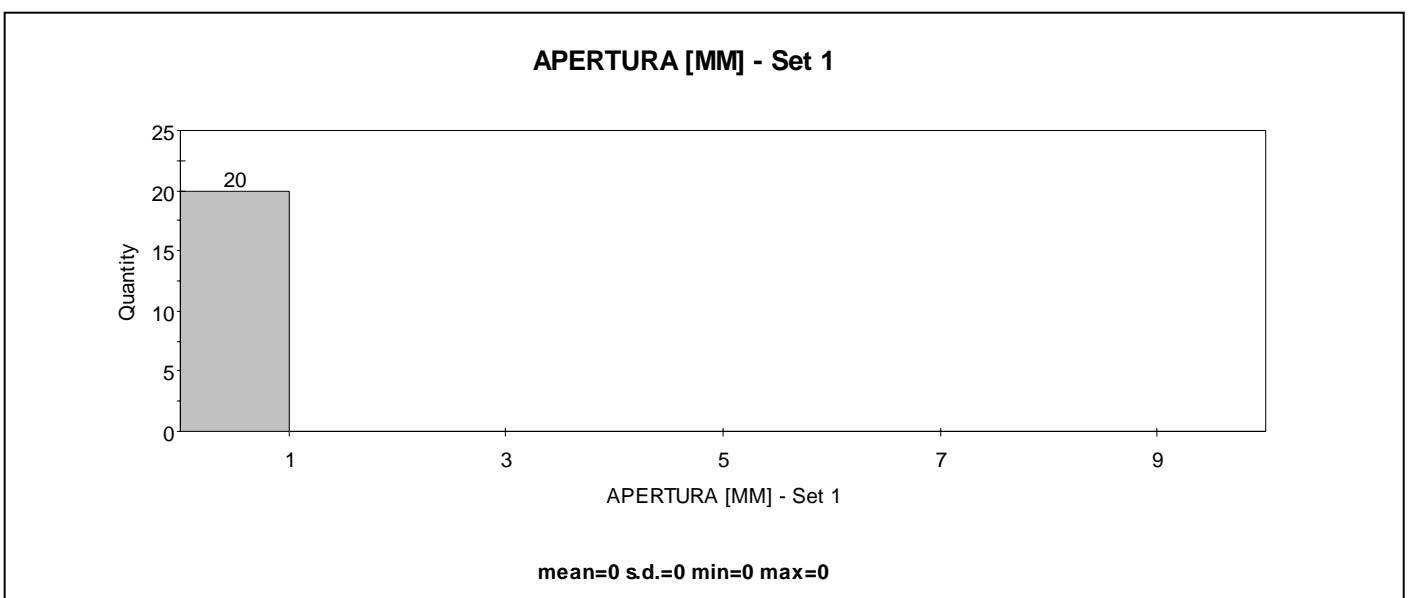
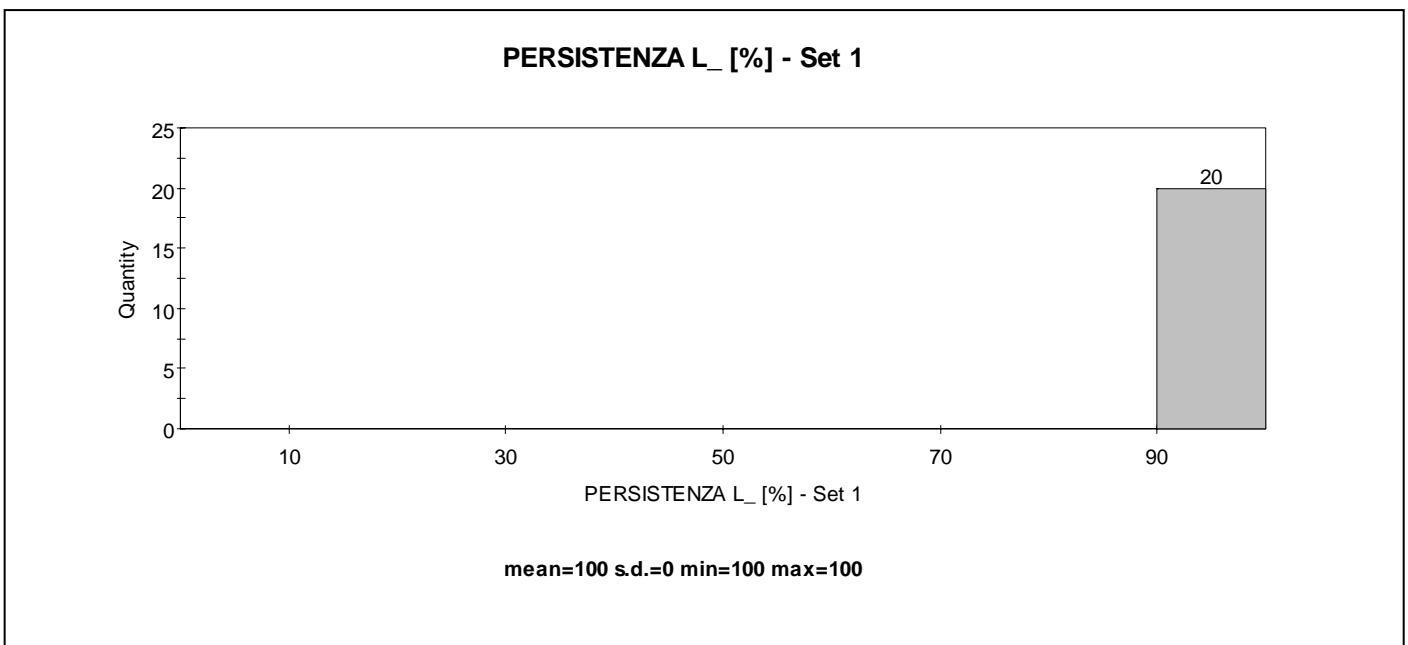
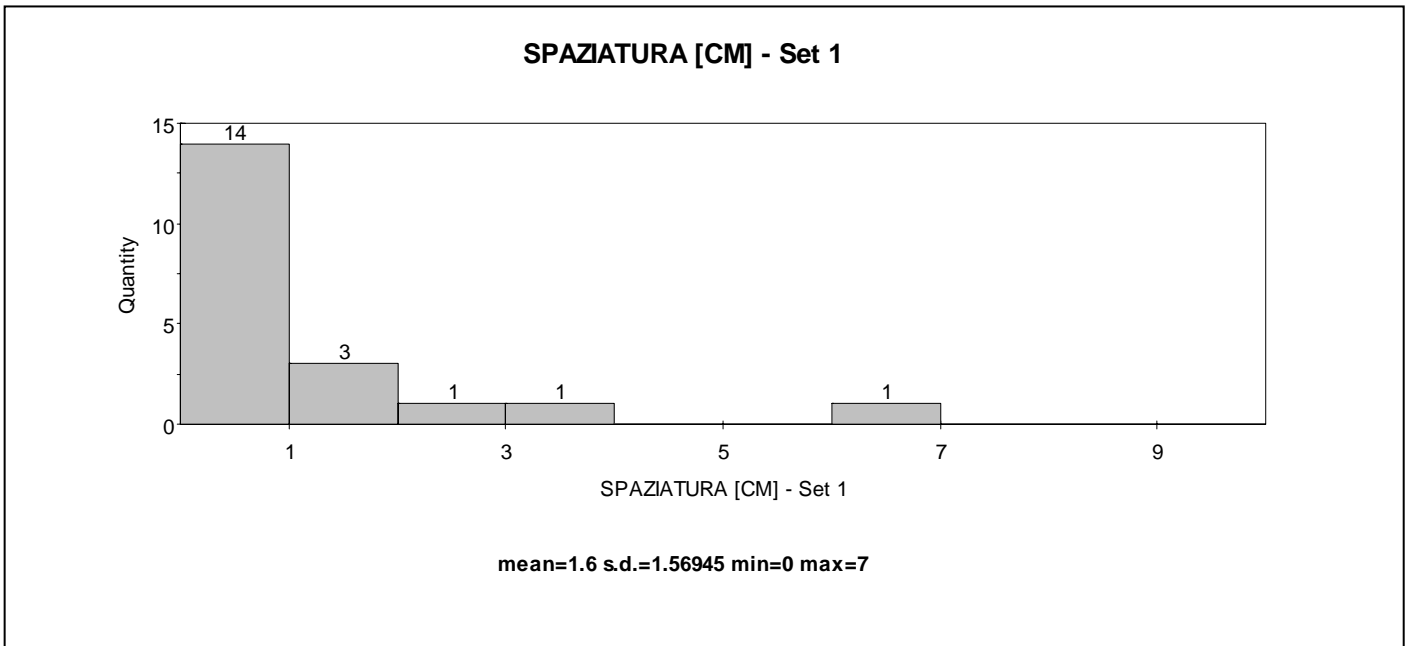
**Variabilità statistica**

$\sigma_{ci}$ [MPa]	
media	dev. st.

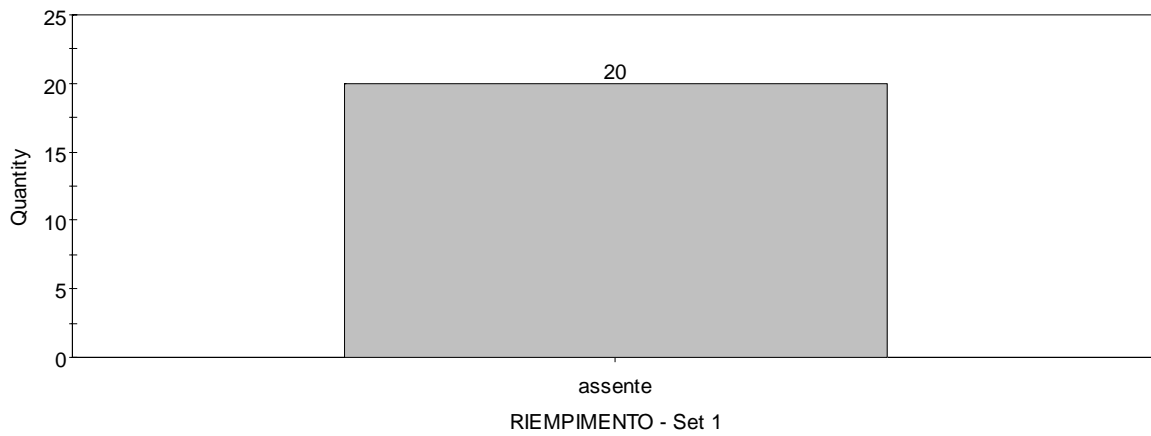
mediana	percentili	
	5°	95°



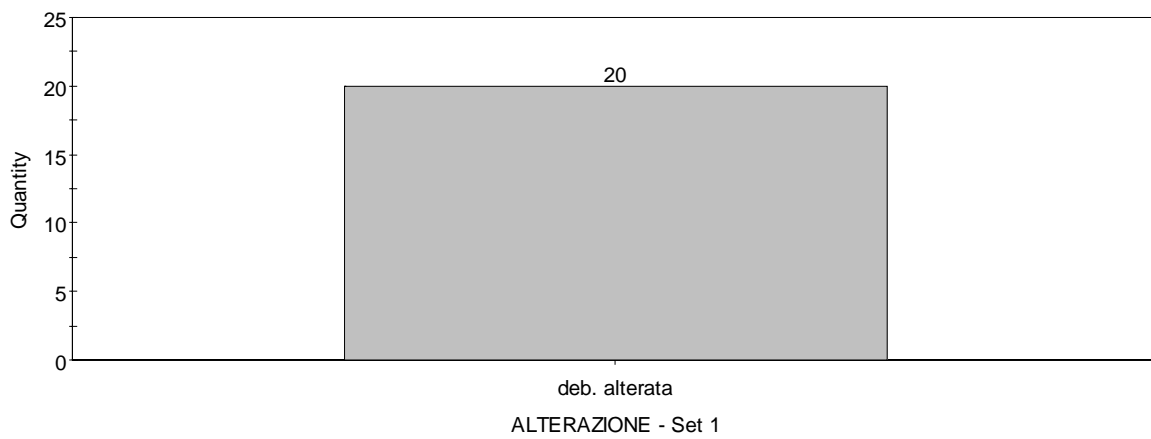




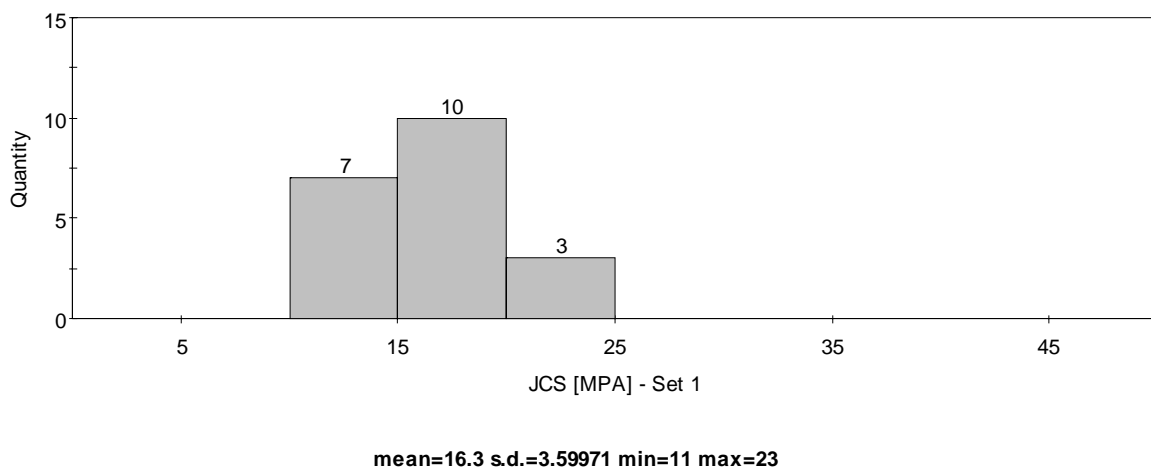
### RIEMPIMENTO - Set 1

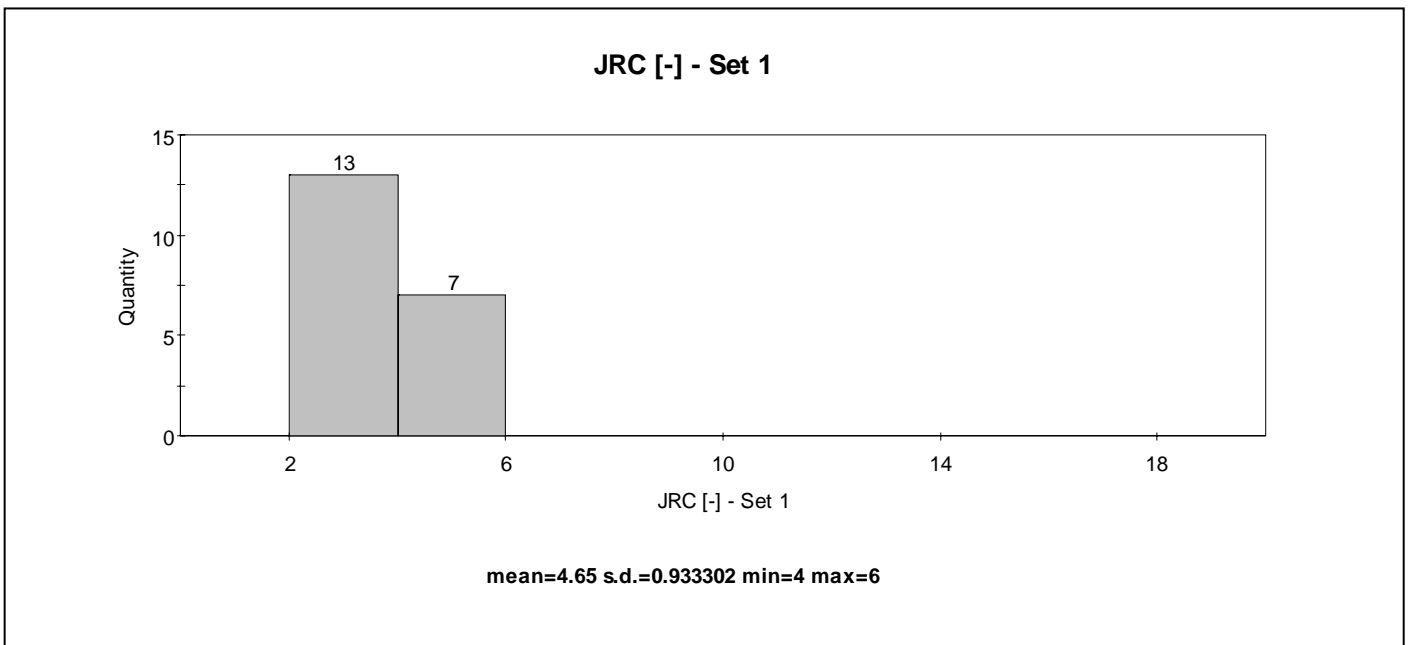
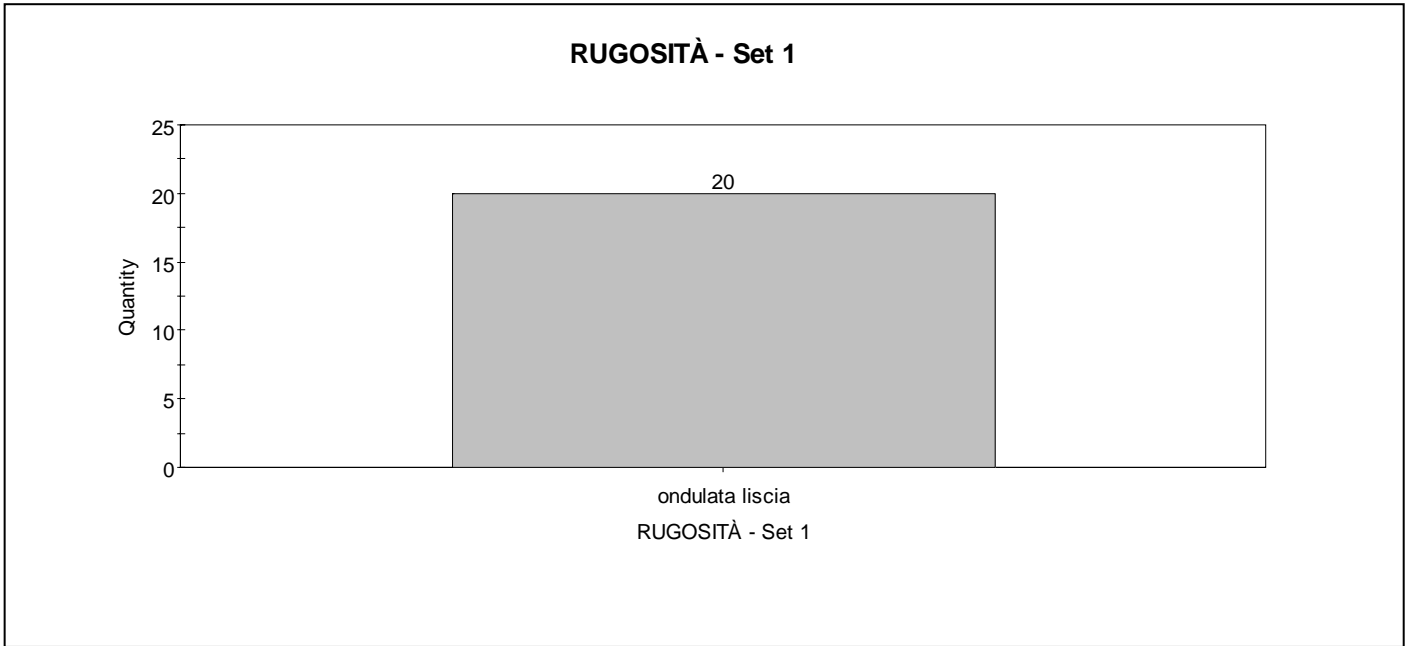


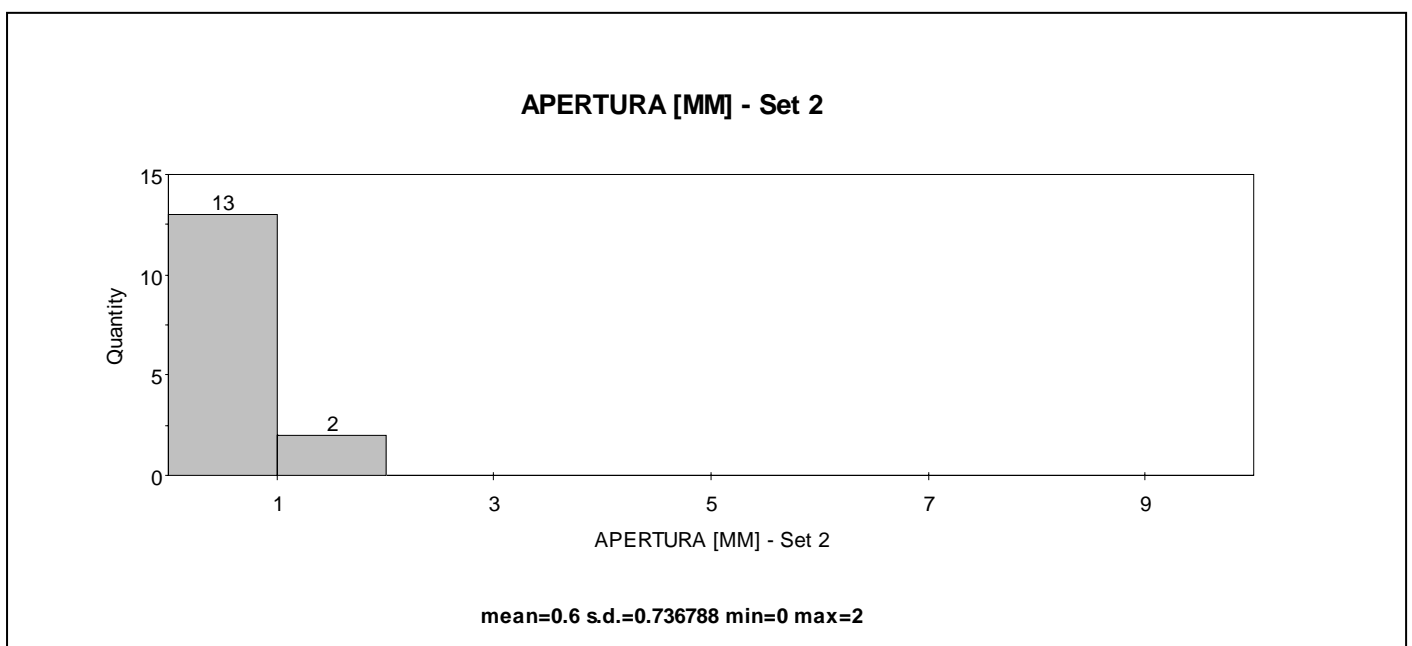
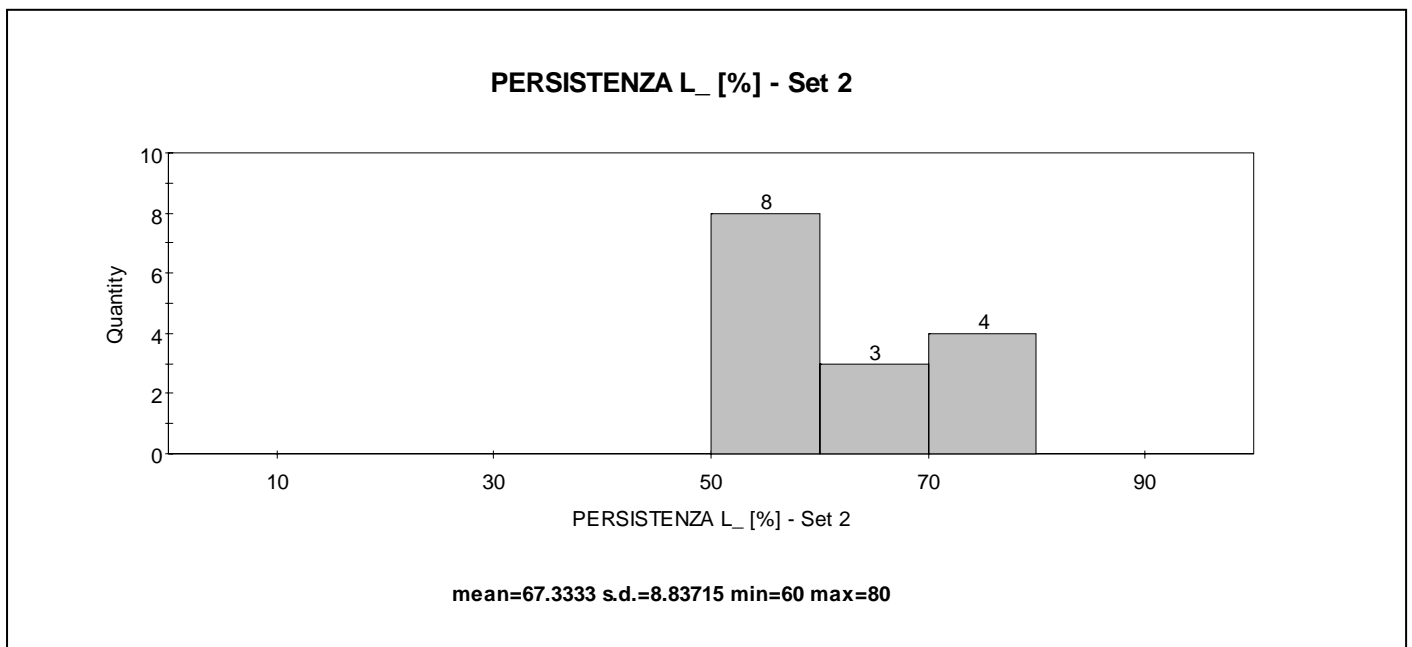
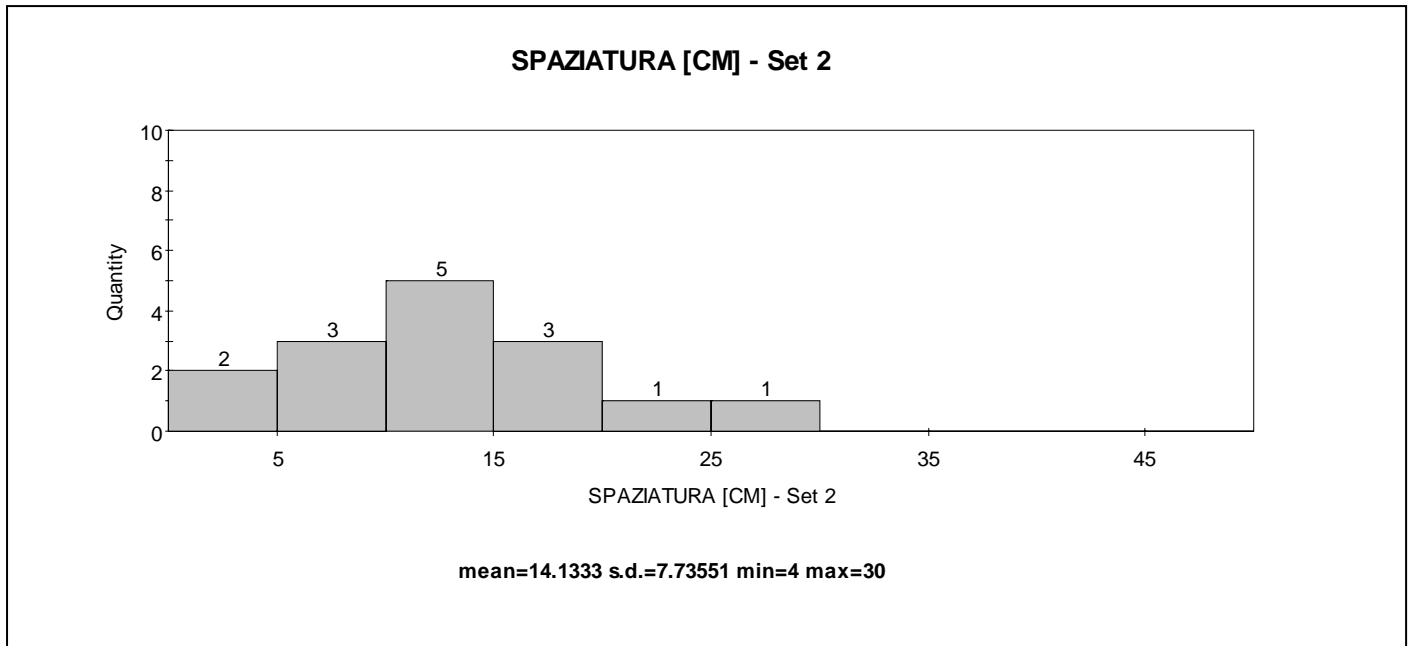
### ALTERAZIONE - Set 1

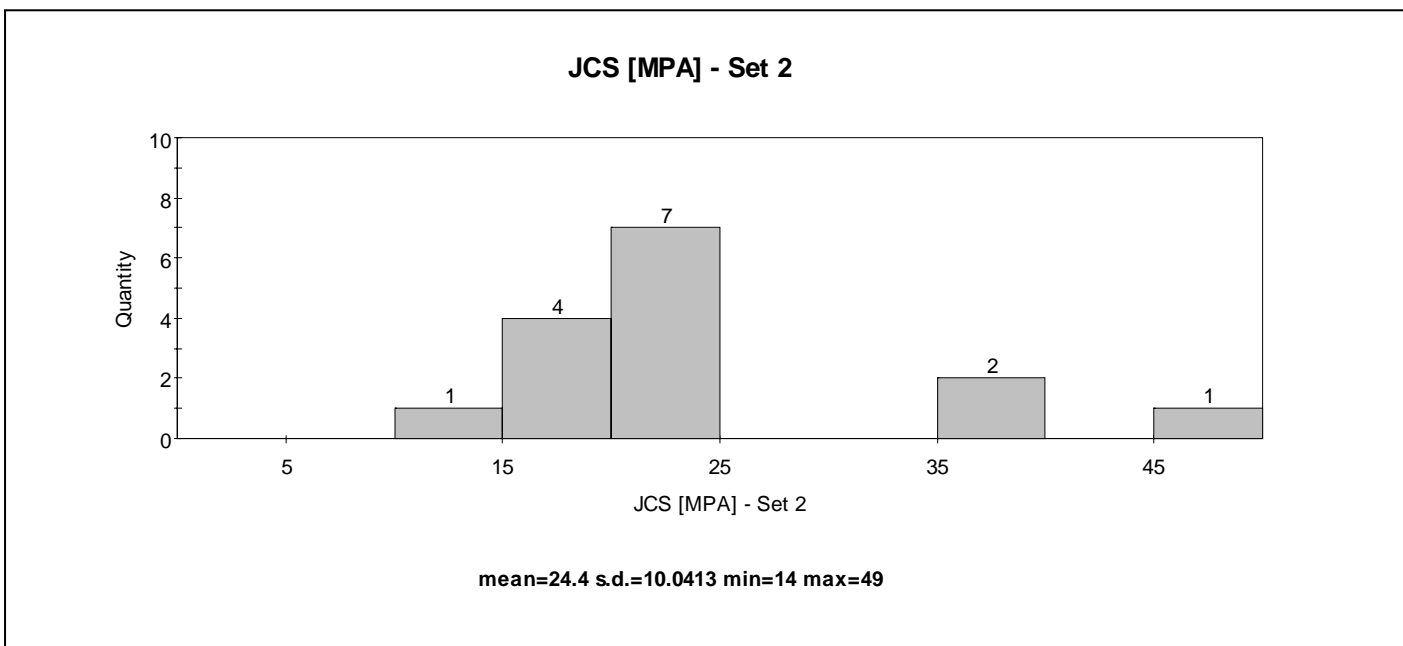
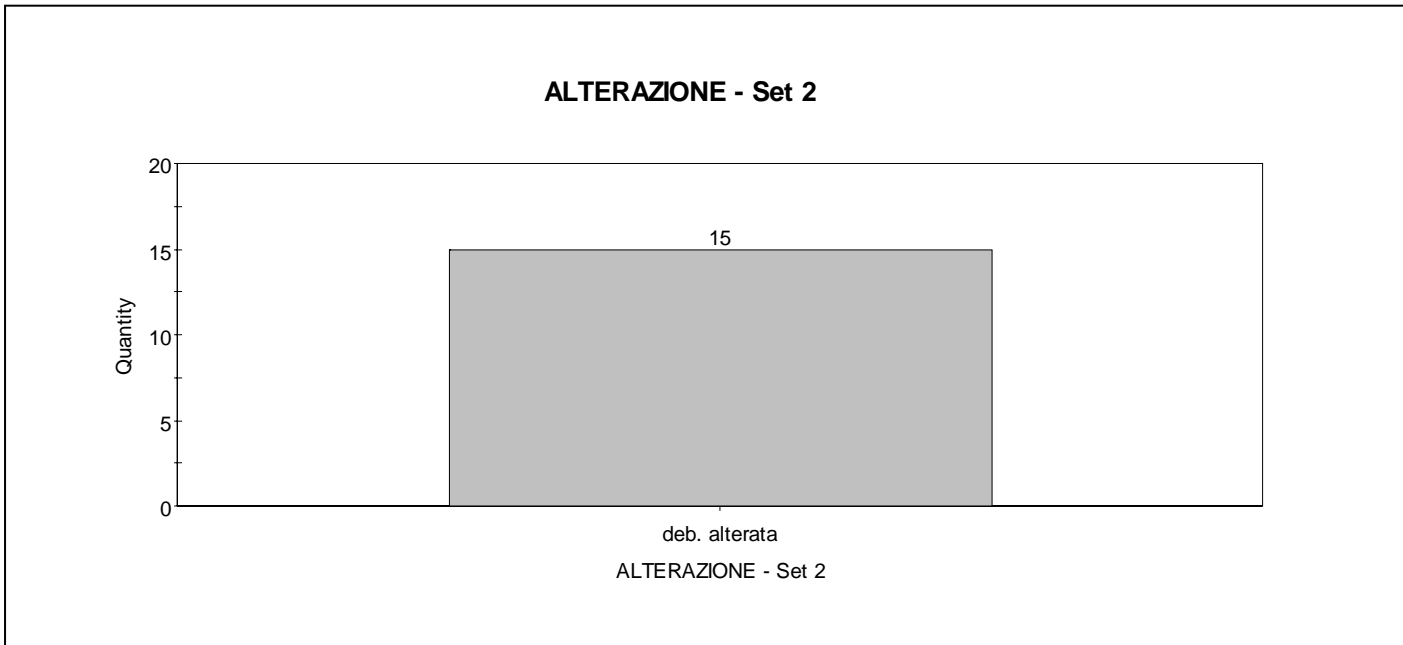
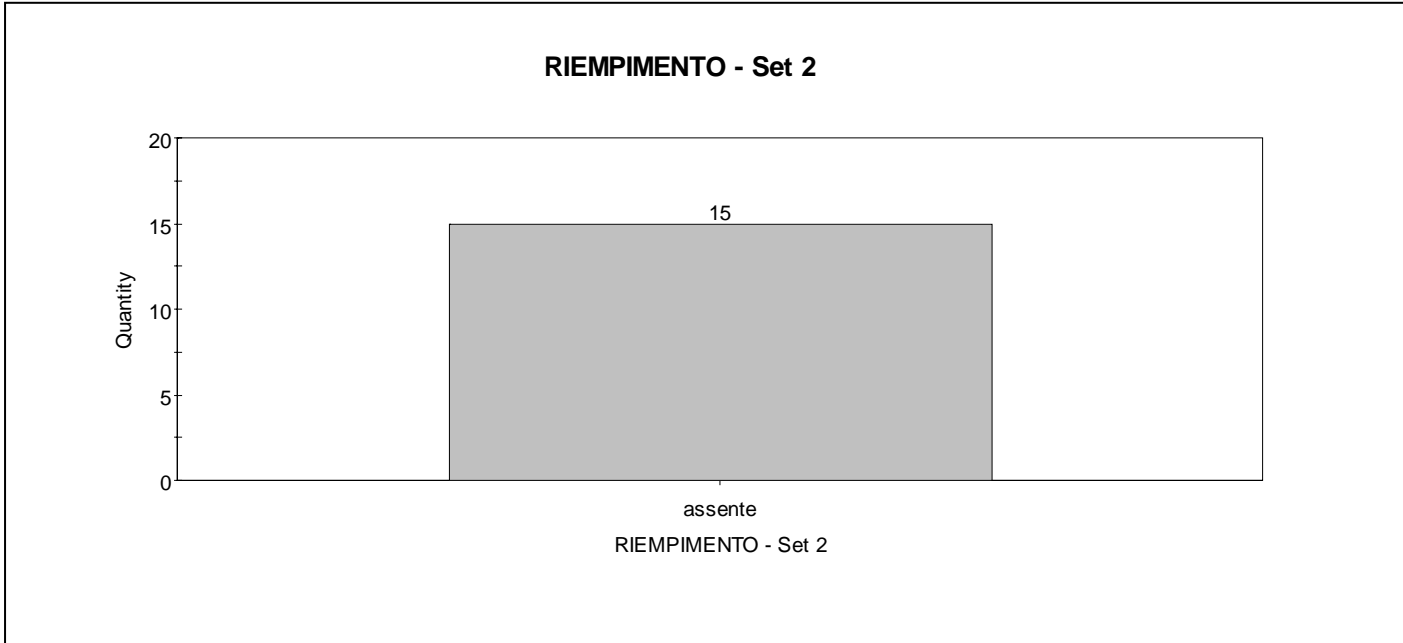


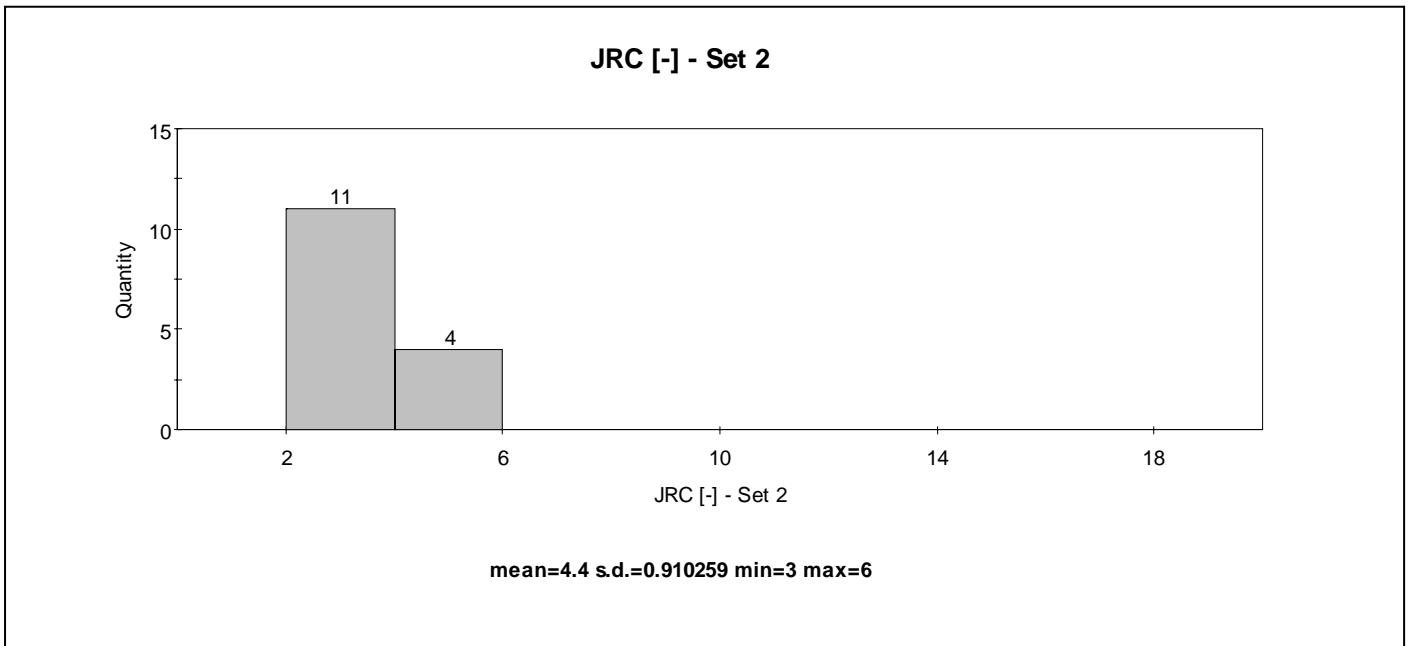
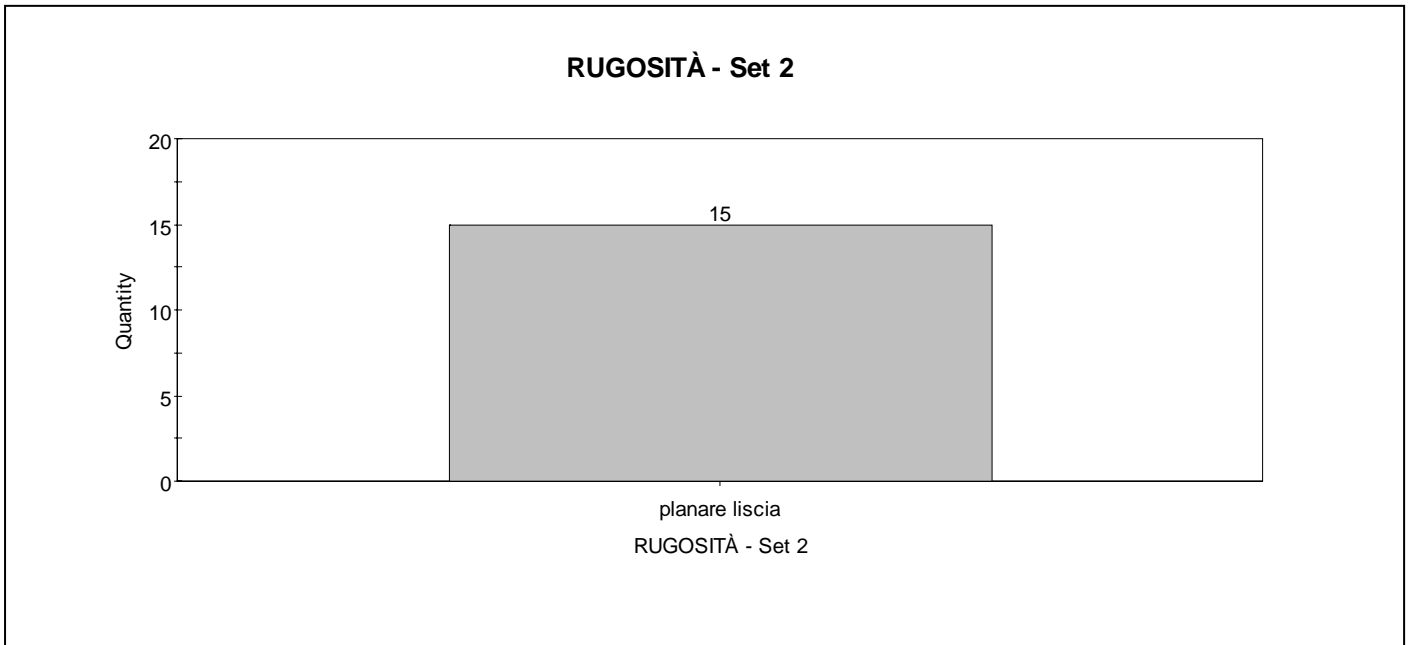
### JCS [MPA] - Set 1

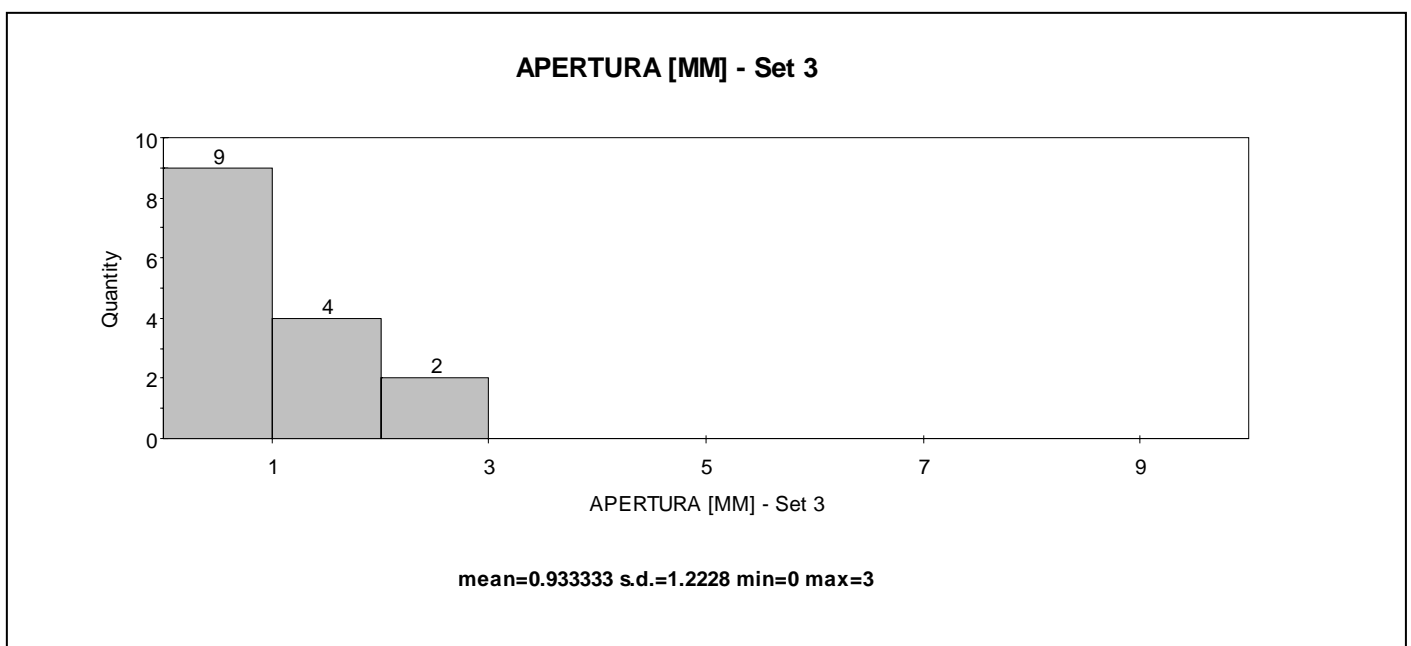
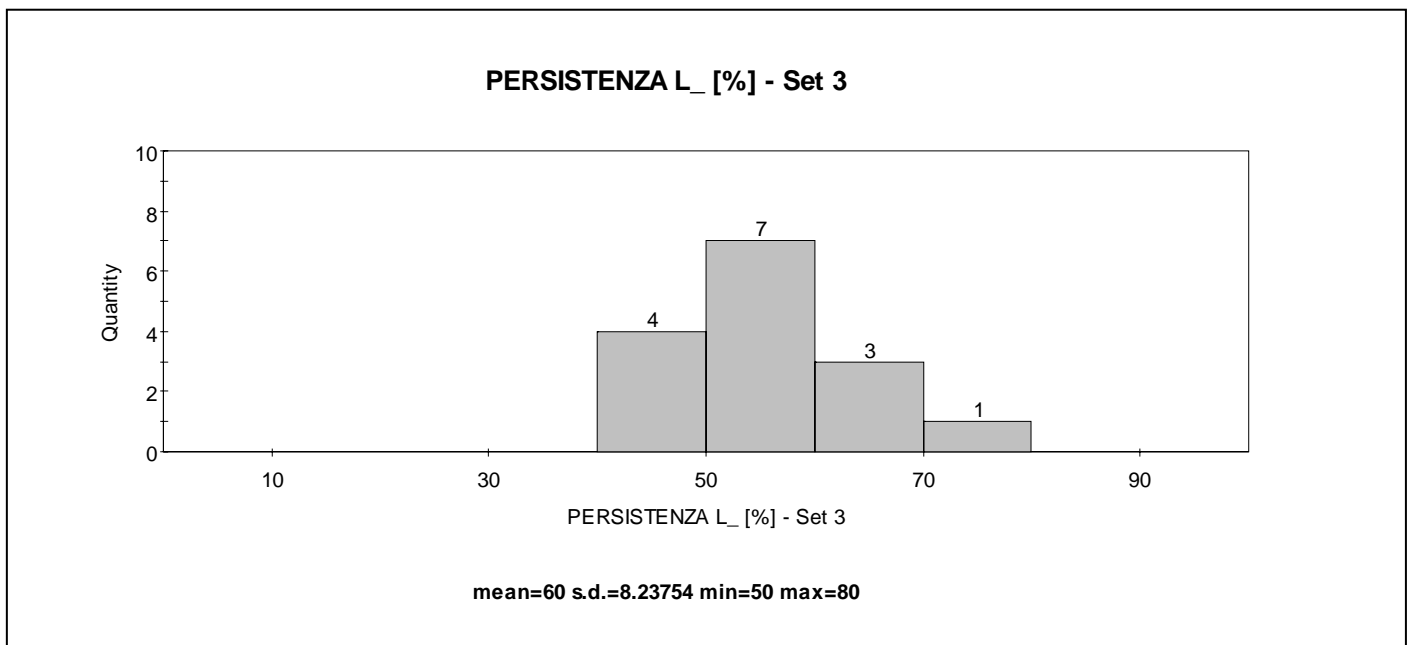
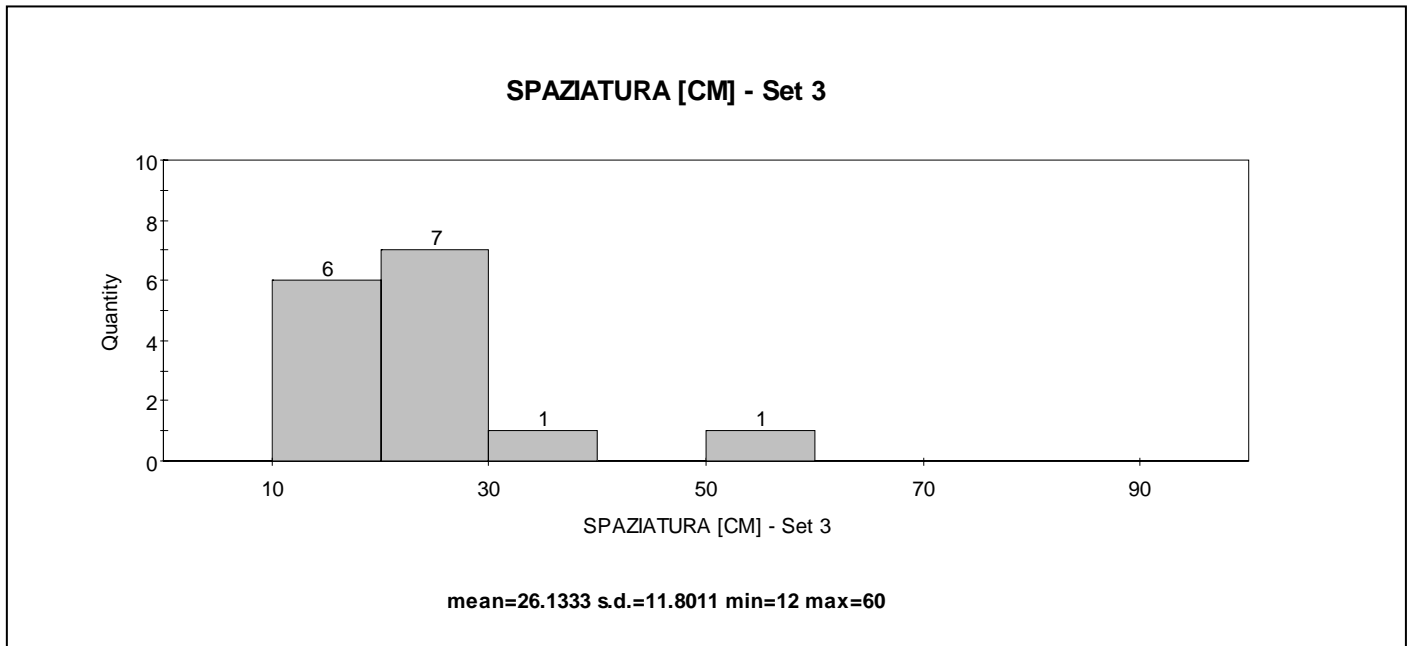




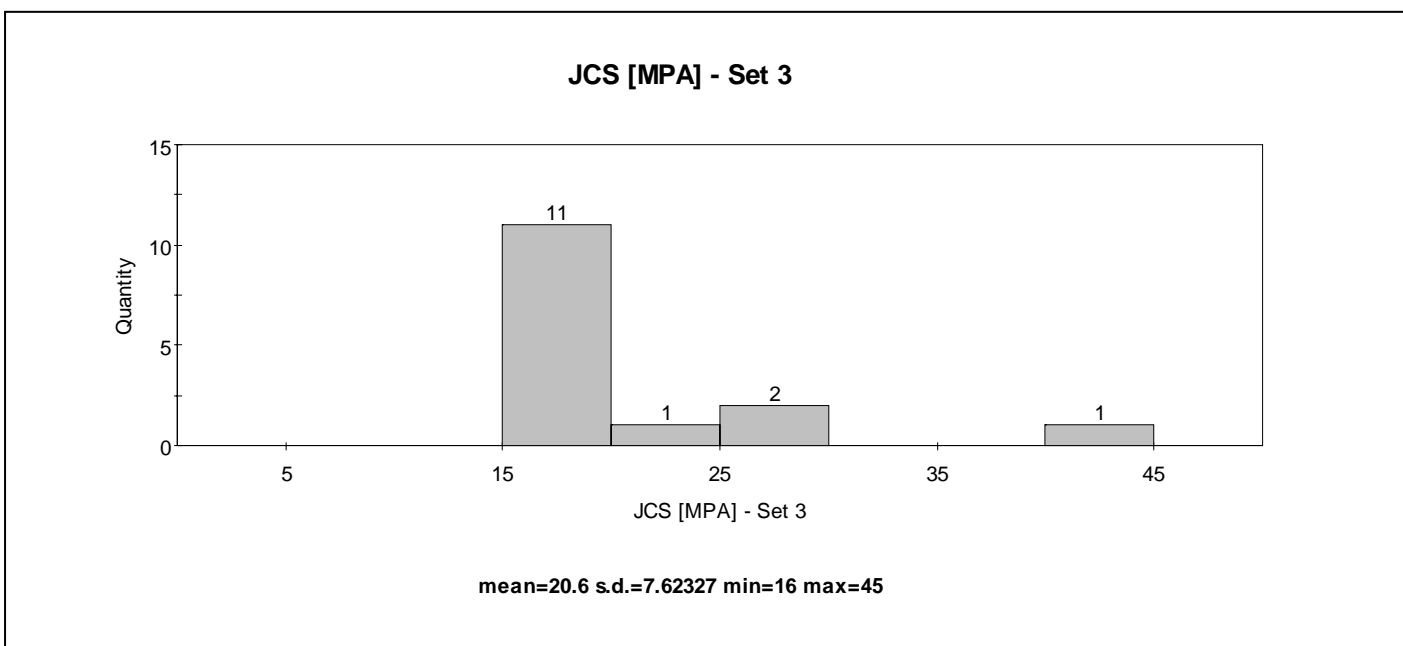
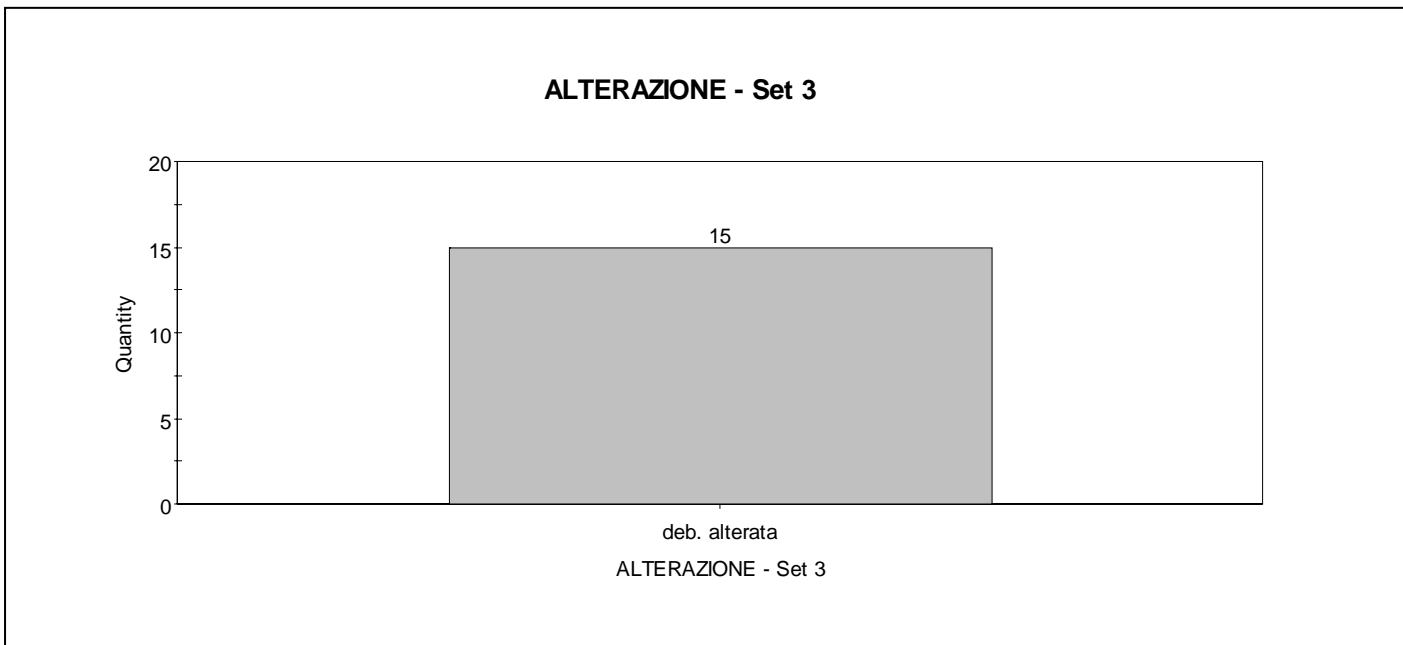
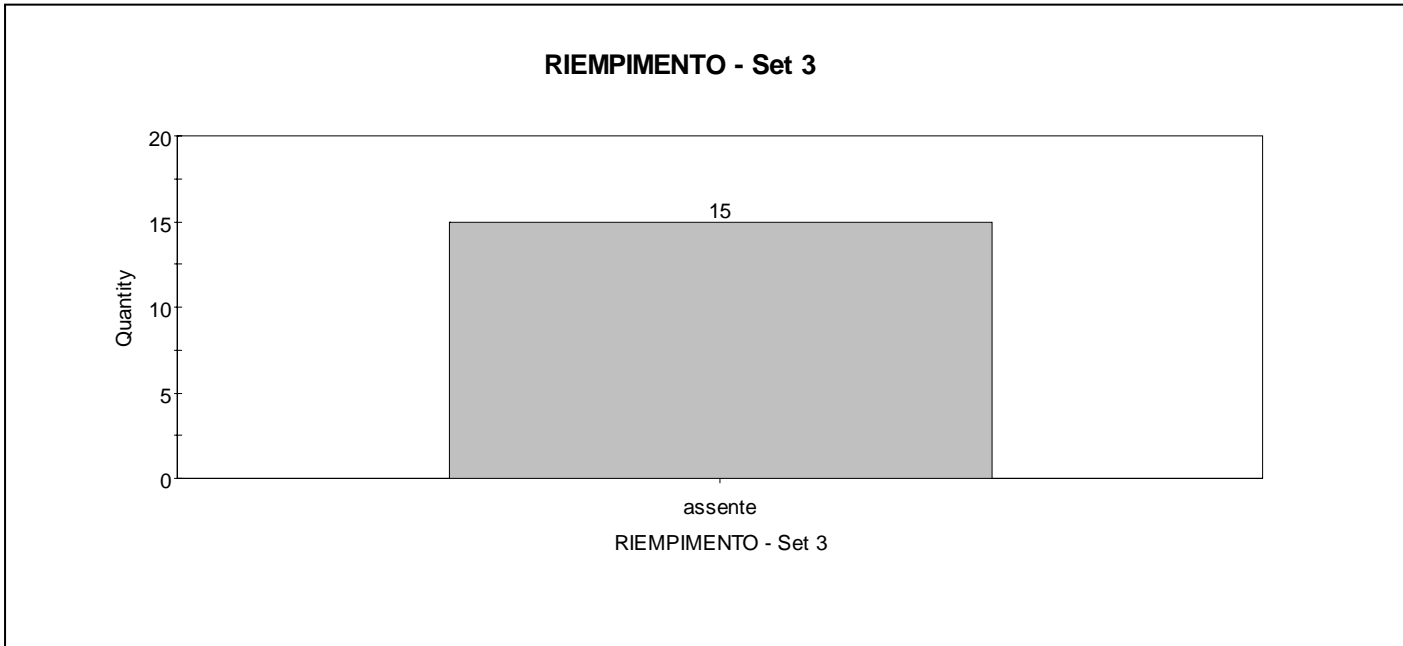


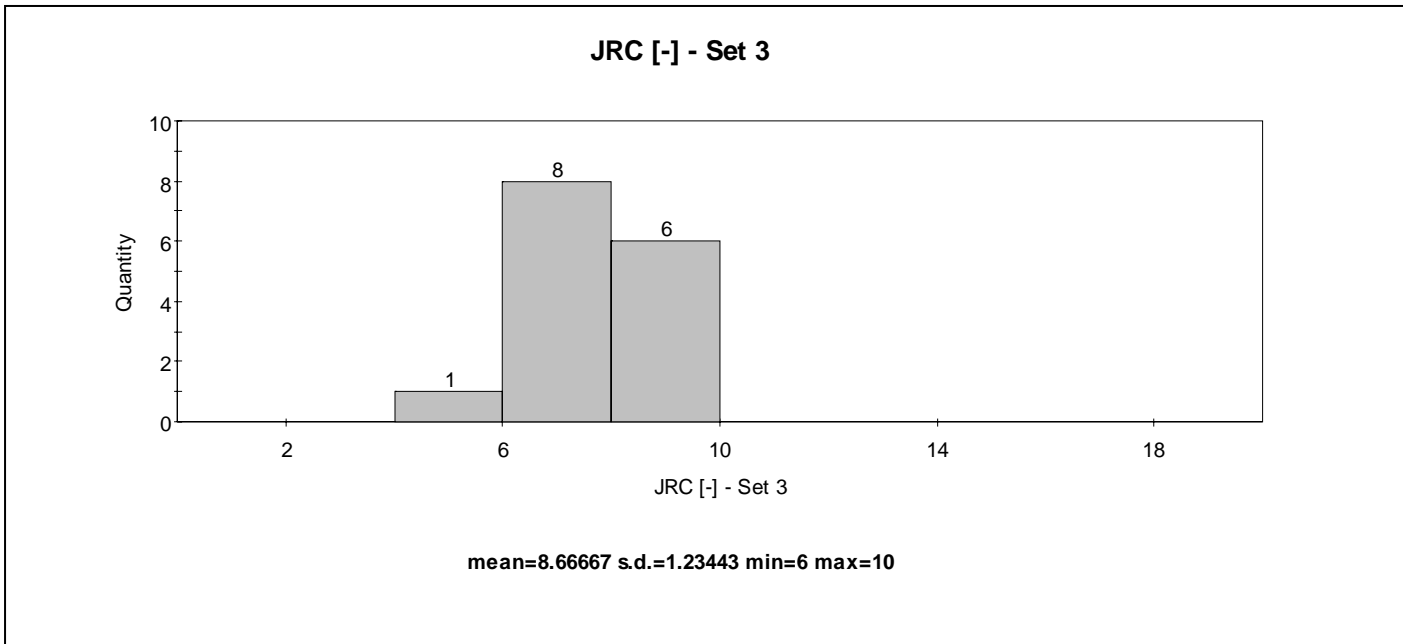
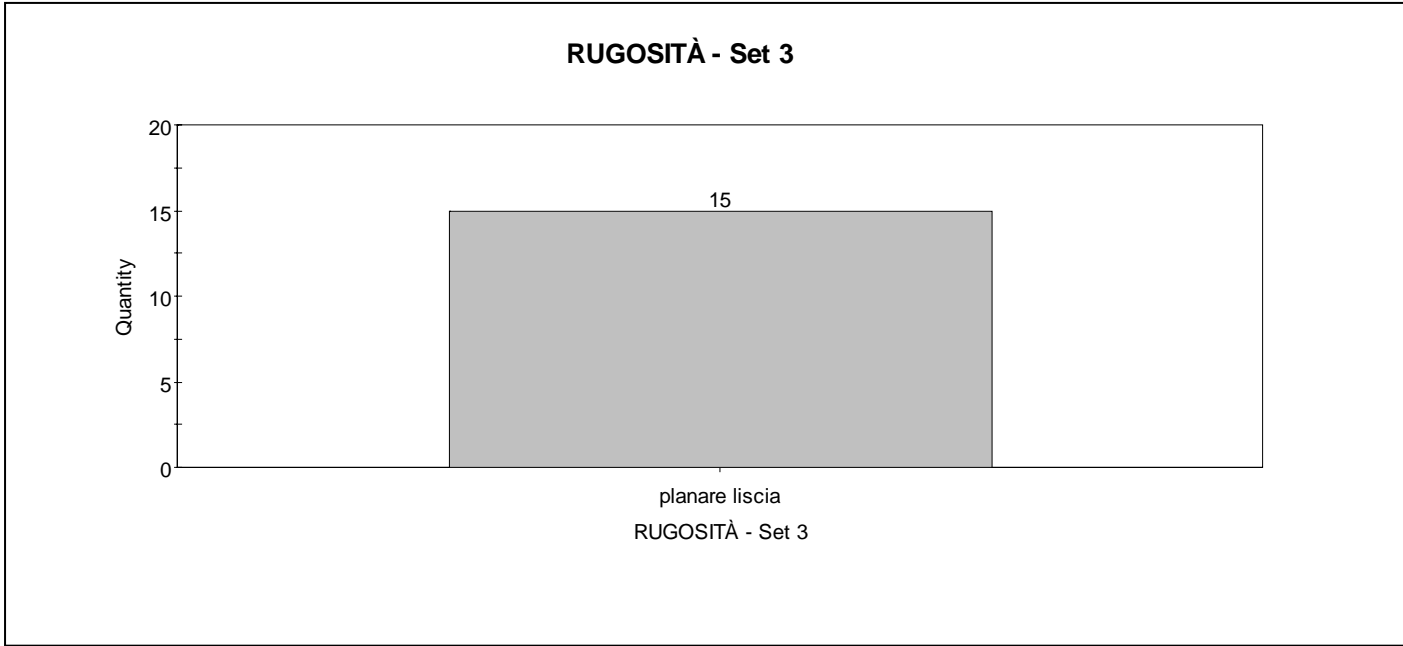










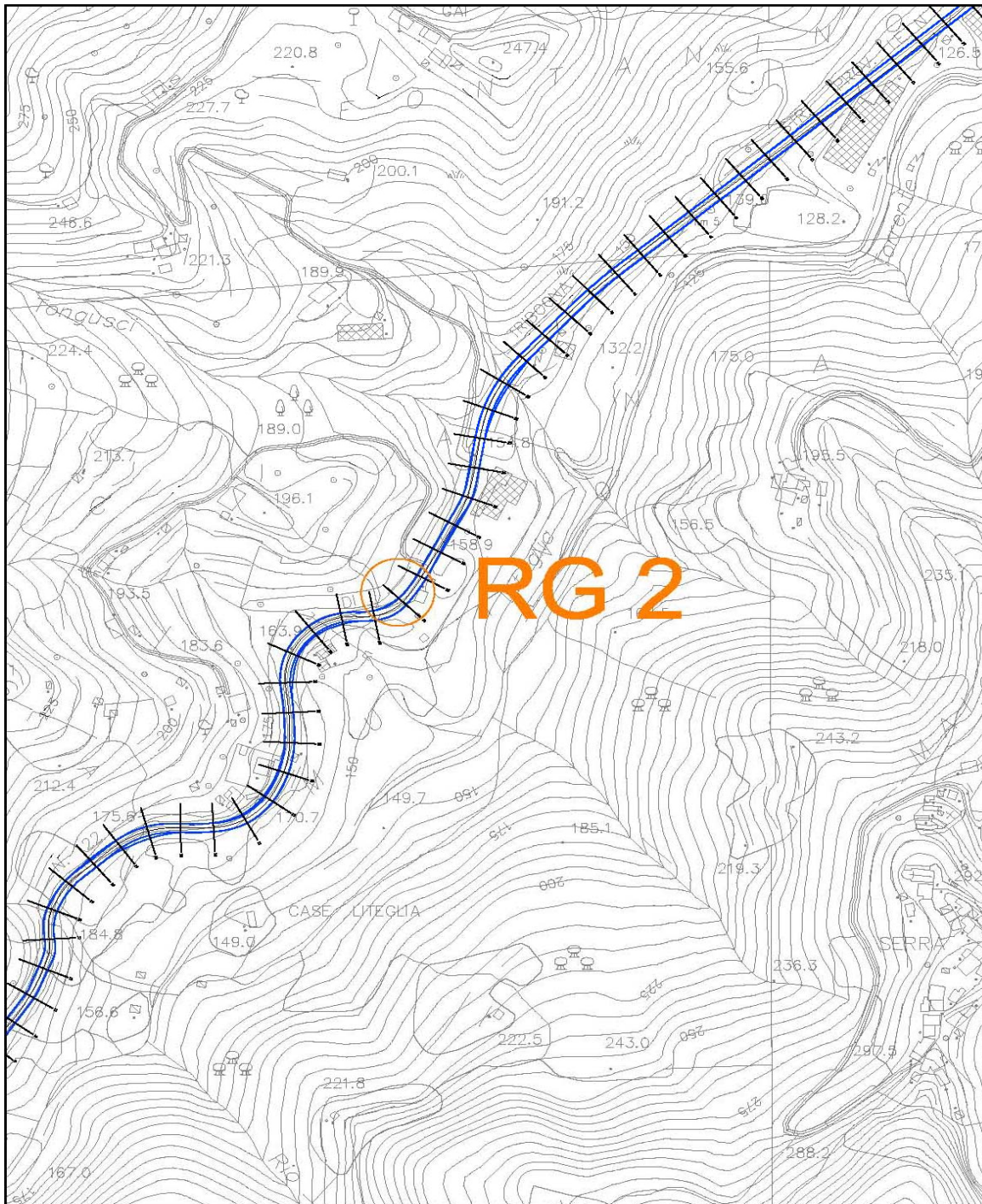


## RILIEVO GEOMECCANICO

Ubicazione area di rilievo

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.			
<b>Commessa</b>	Fontanabuona			
<b>Località</b>	Case Liteglia			
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga	X: 1516256	Y: 4917742	Quota: 160
<b>Data</b>	18/08/11			
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 2			

### Stralcio planimetrico



Scala 1:5.000



**RILIEVO GEOMECCANICO**  
**Scheda di sintesi**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.		
<b>Commessa</b>	Fontanabuona		
<b>Località</b>	Case Liteglia		
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga X: 1516256	Y: 4917742	Quota: 160
<b>Data</b>	18/08/11		
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG2		

**Condizioni generali dell'ammasso roccioso**

Giacitura del fronte di misura	[°/°]	130/85
Giacitura generale del pendio	[°/°]	130/40
Dimensioni dell'area di rilievo geomeccanico	[m x m]	15 x 20
Volume roccioso unitario medio [dimensioni]	[cm x cm x cm]	1 x 1 x 2
	[forma]	scaglie
Resistenza a compressione monoassiale del materiale roccia:	litologia	A   B
	moda [MPa]	49
	variabilità [MPa]	8-98
Percentuale relativa	[%]	84   16
Intercetta delle discontinuità	[cm]	0,8
Numero di discontinuità per metro cubo d'ammasso - J <sub>v</sub>	[n°/m <sup>3</sup> ]	118,4

Grado di alterazione dell'ammasso	non alterato	debolm. alterato	moder. alterato	molto alterato	decomposto

Condizioni di umidità dell'ammasso	asciutto	umido	bagnato	stillicidio	flusso
------------------------------------	----------	-------	---------	-------------	--------



**Geological Strength Index**

Struttura in ammassi complessi	A	B	C	D	E	F	G	H
Struttura in ammassi omogenei	I	B	VB	B/D/S	D	L/S		
Condizioni delle discontinuità	VG	G	F	P	VP			
						GSI	20±5	

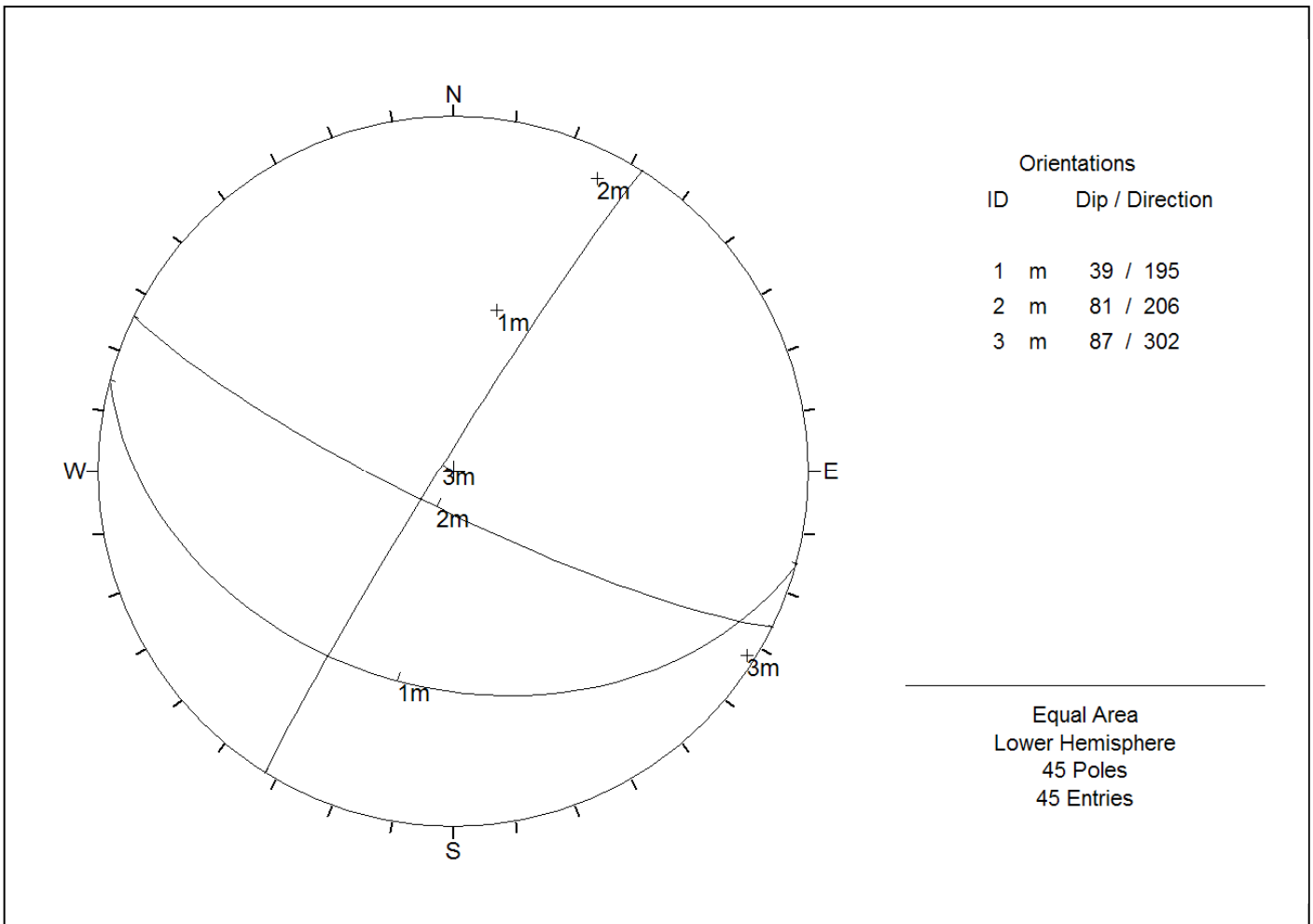
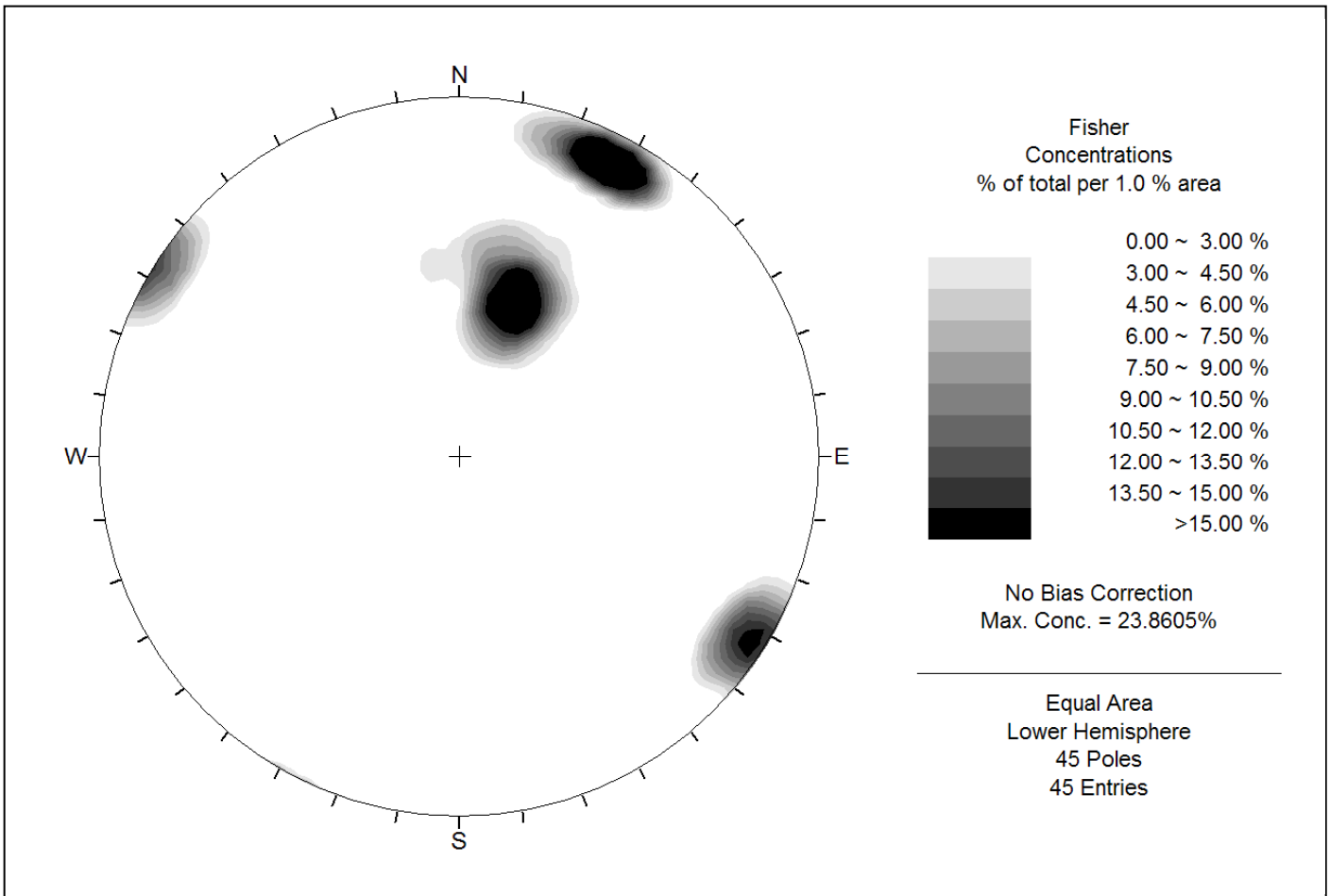
**Litologia e descrizione geologica generale**

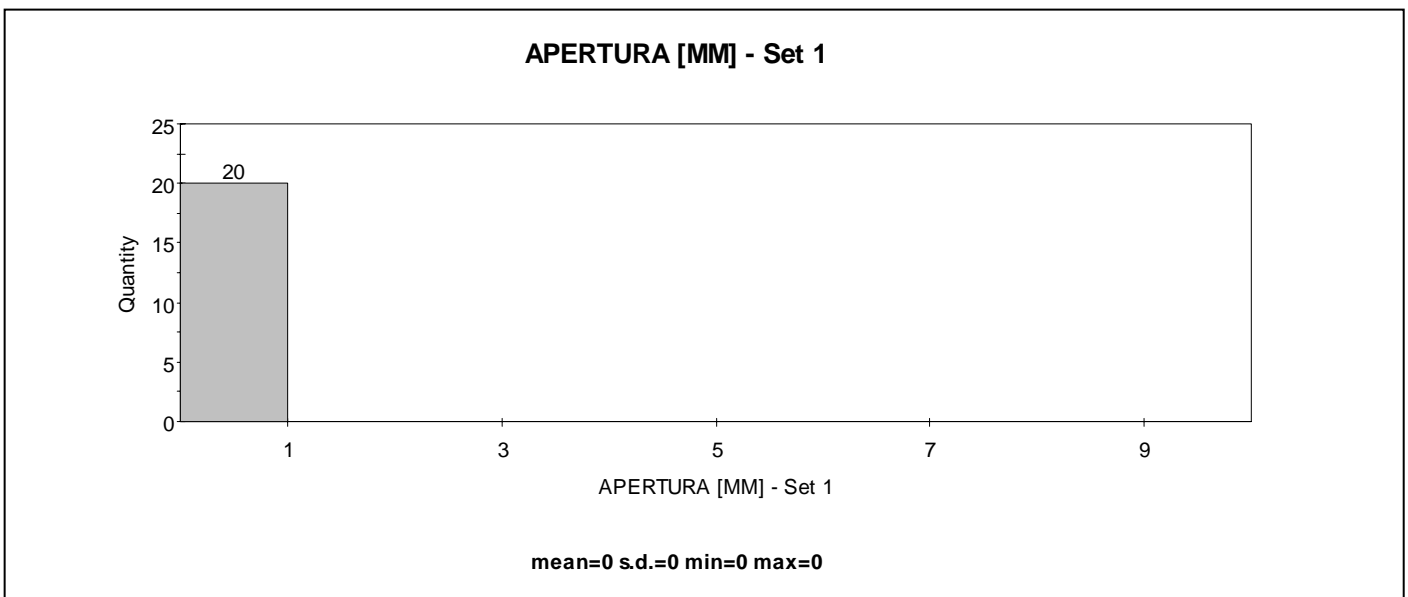
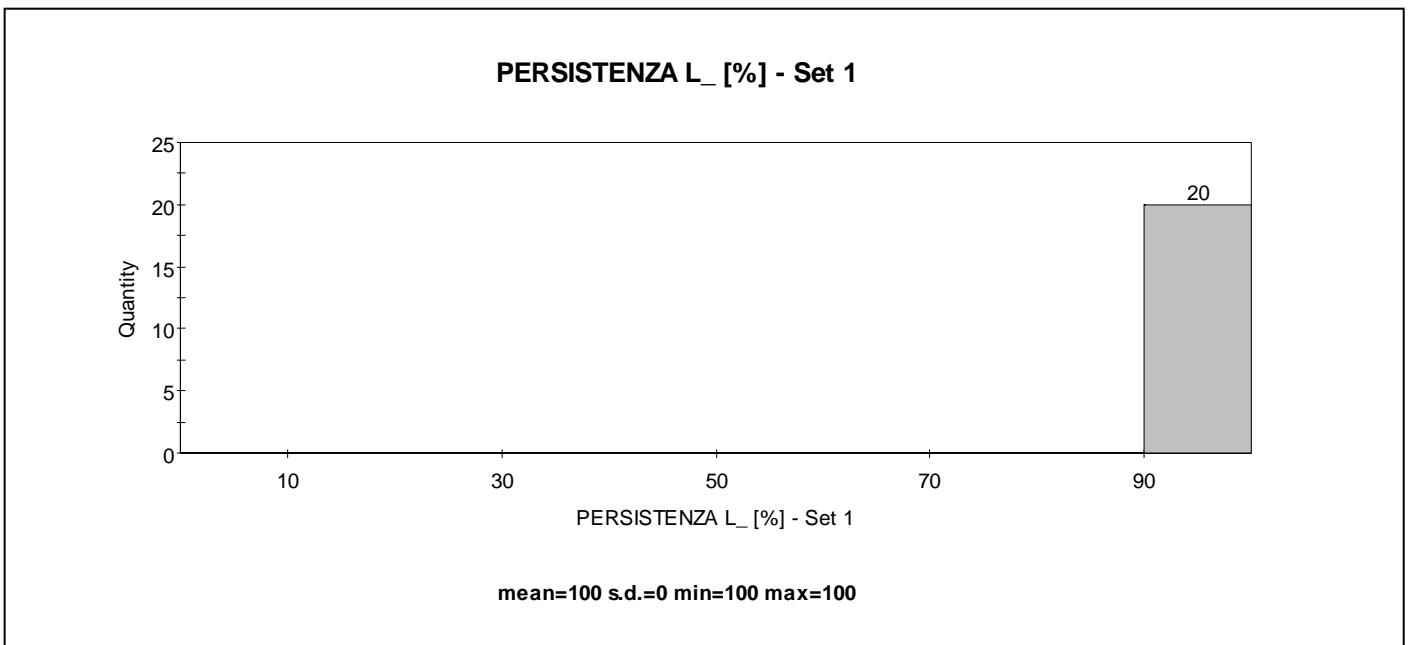
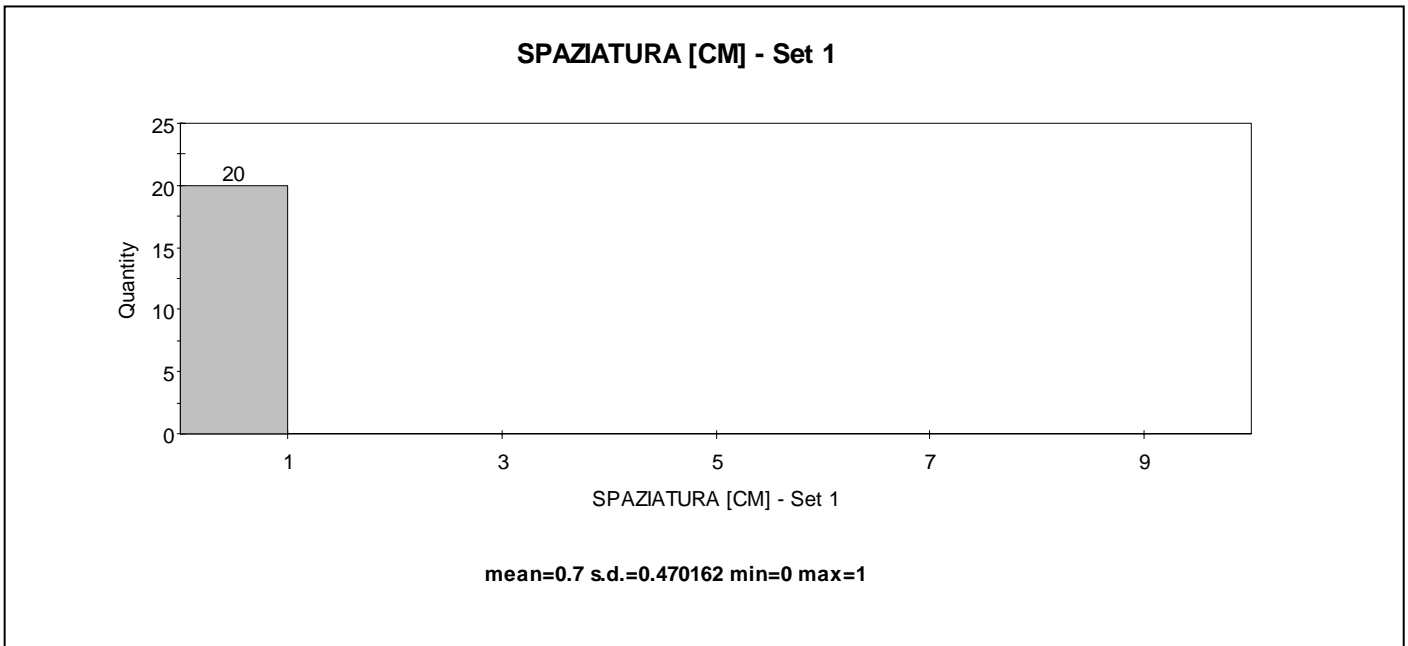
Siltiti grigio-verdastre con intercalazioni di spessore decimetrico di calcareniti fini grigiastre. Il rapporto tra gli strati calcarenitici e gli strati siltitici, misurato su una lunghezza di 18 m è risultato pari a 0,18 (CA= 16% - S=84%). L'ammasso è intensamente tettonizzato, con sviluppo di pieghe strizzate e strutture fluidali.

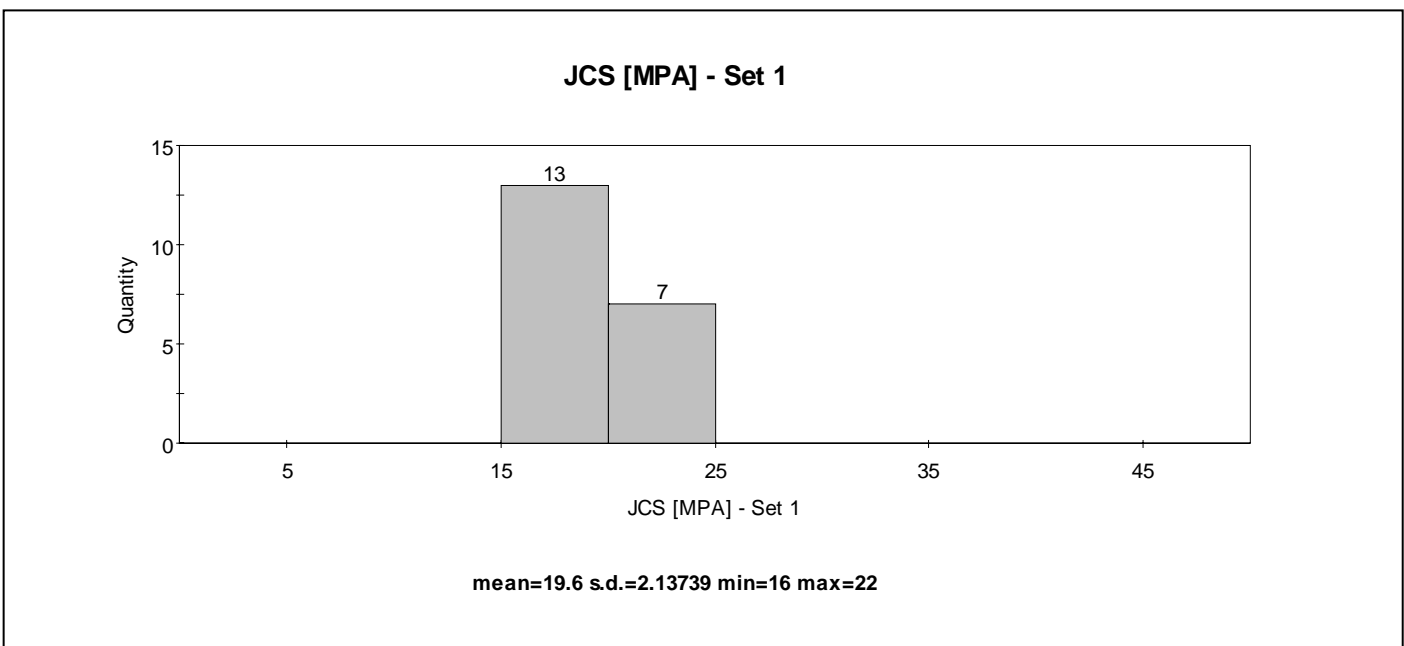
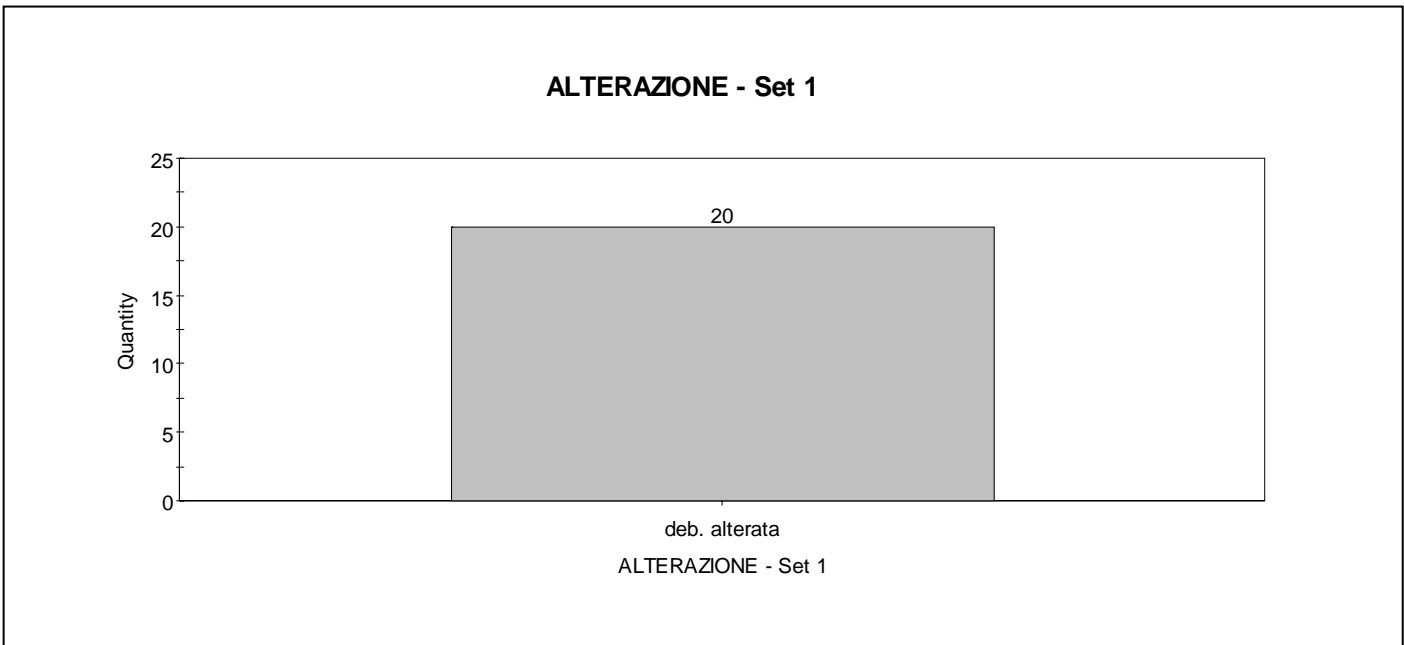
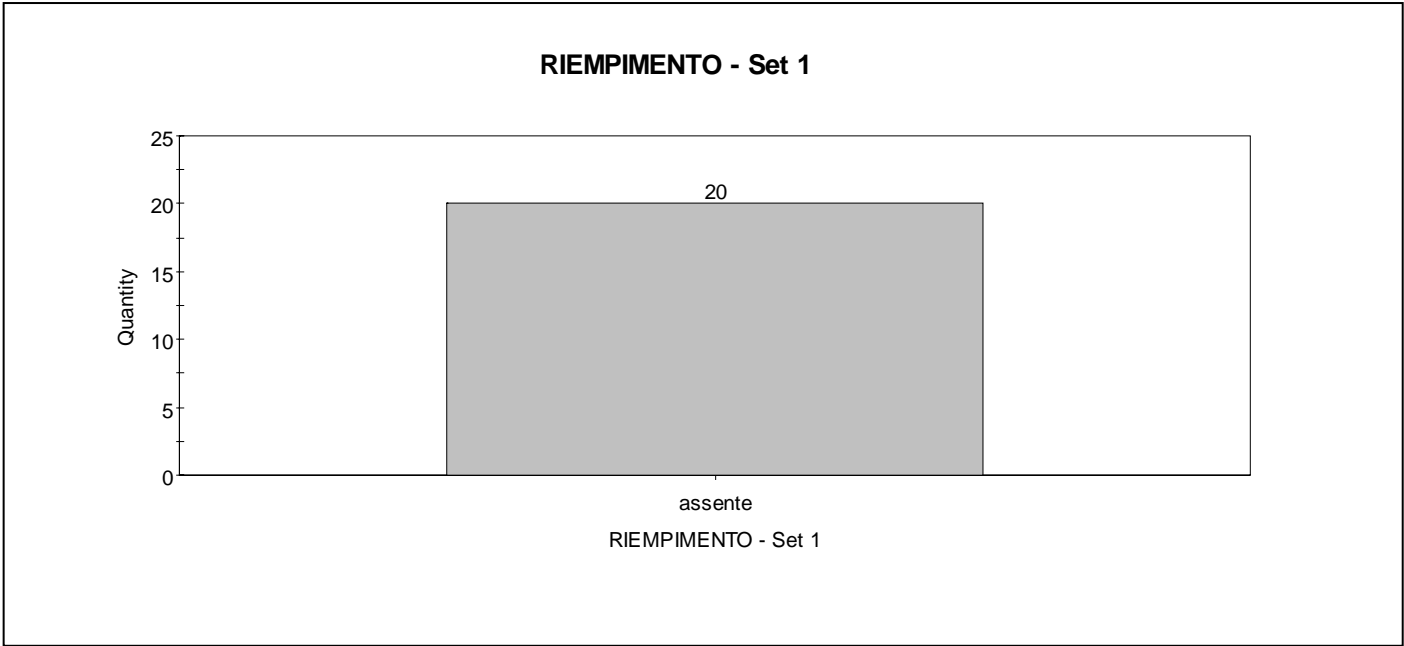
**Condizioni generali delle discontinuità**

set	giacitura [°]	spaziatura [cm]		persistenza [%]		apertura [mm]		ondulazione e rugosità				JRC [-]	Jr [-]	JCS [MPa]	Ja [-]	alterazione	pellicole		riempimento																		
		moda	variabilità	moda	variabilità	moda	variabilità	moda	variabilità	moda	variabilità						moda	variabilità	materiale prevalente	sabbia	limo	argilla	scaglie e argilla arenarie	materiale rigonfiante	durezza	spessore [mm]											
																											debolm. alterato	moder. alterato	molto alterato	decomposto	minerali asbestiformi	vene minerali	duro	tenero	< 5	> 5	
1-S	195/39	1	0,5-1	100	-	0	-	a scalini	ondulata	planare	10	8-14	2	2-3	18	16-22	1	-	non alt.	deb. alt.	mod. alt.																
								molto rug.	rugosa	deb. rug.									liscia	lisciata	molto alt.															decomposta	
2-k1	206/81	13	3-35	100	-	0	0-2	a scalini	ondulata	planare	8	8-10	1	-	23	15-56	1	0,75-1	non alt.	deb. alt.	mod. alt.																
								molto rug.	rugosa	deb. rug.									liscia	lisciata	molto alt.																decomposta
3-k2	302/87	7	2-10	75	60-80	0	0-1	a scalini	ondulata	planare	4	4-6	1	-	19	15-33	1	0,75-1	non alt.	deb. alt.	mod. alt.																
								molto rug.	rugosa	deb. rug.									liscia	lisciata	molto alt.																
								a scalini	ondulata	planare									non alt.	deb. alt.	mod. alt.																
								molto rug.	rugosa	deb. rug.									liscia	lisciata	molto alt.																
								a scalini	ondulata	planare									non alt.	deb. alt.	mod. alt.																
								molto rug.	rugosa	deb. rug.									liscia	lisciata	molto alt.																

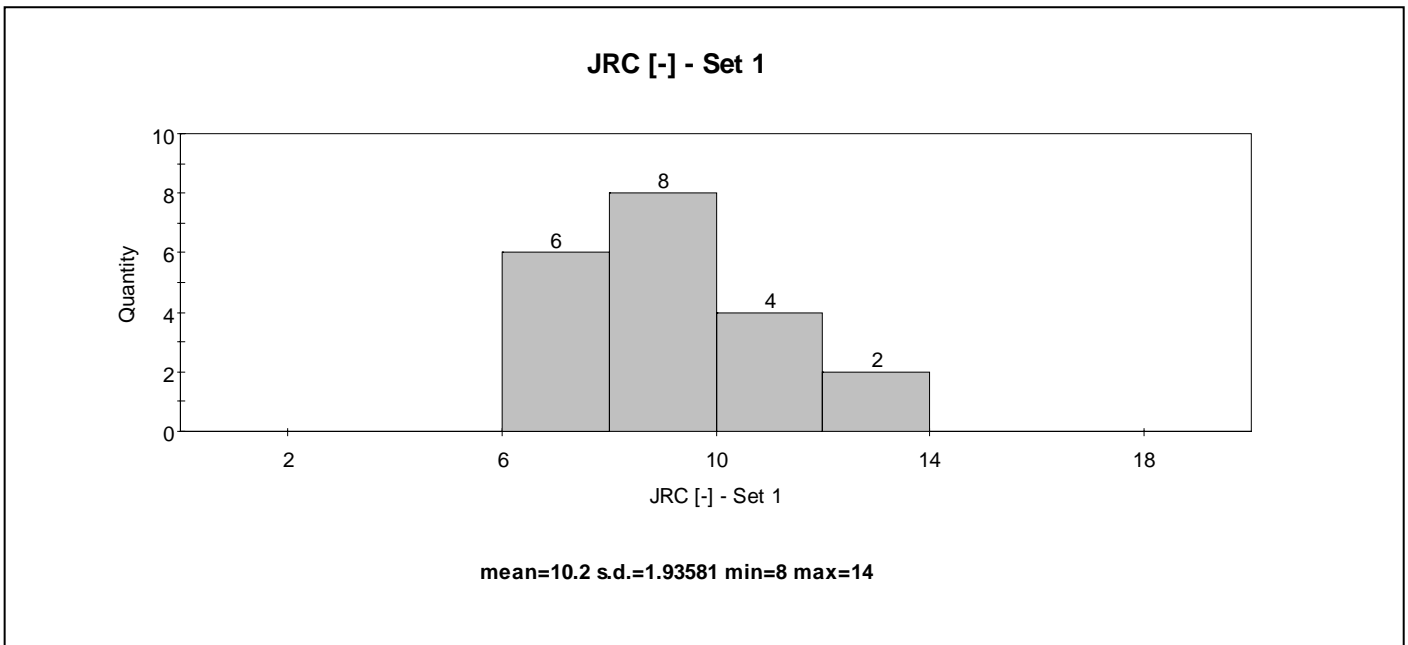
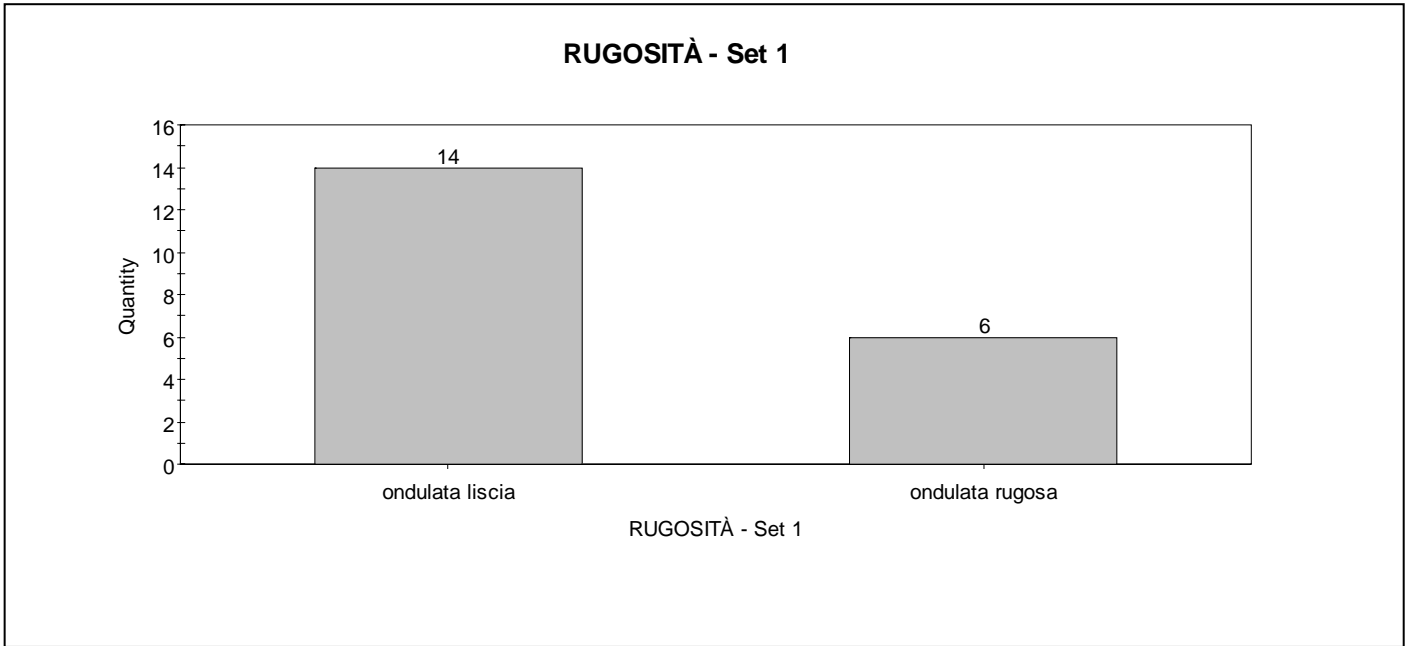


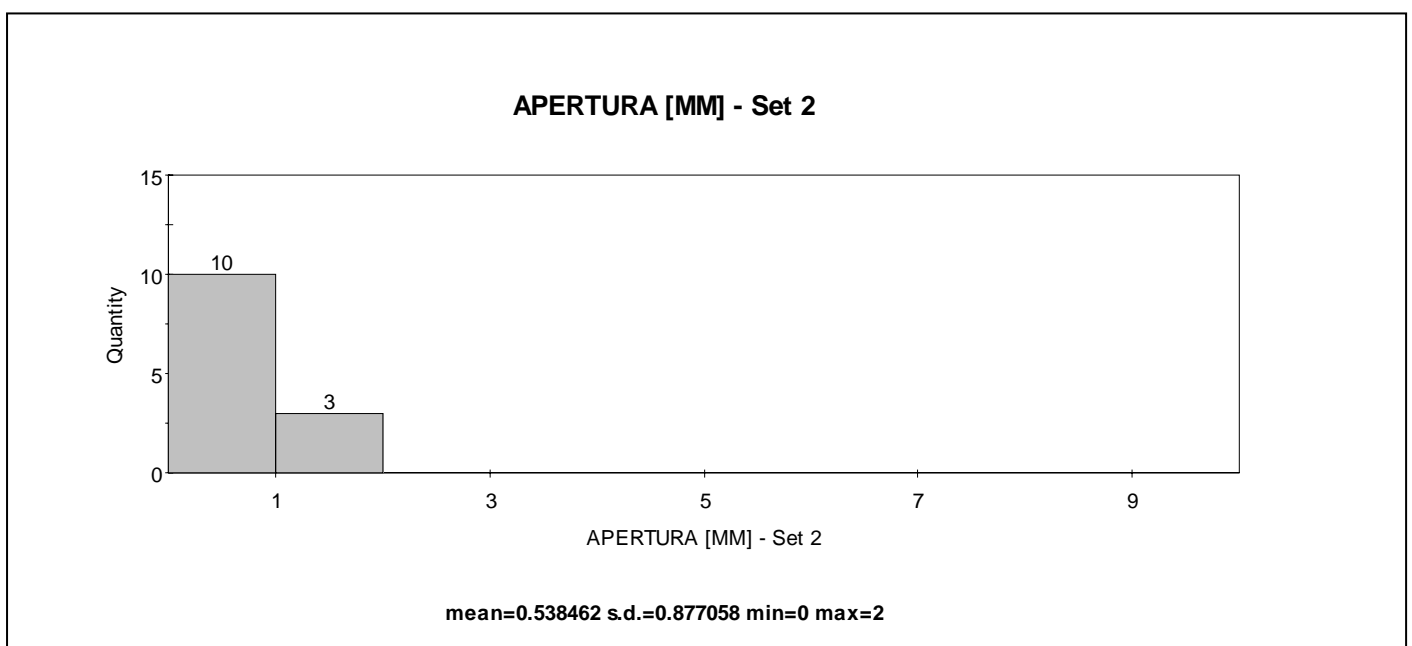
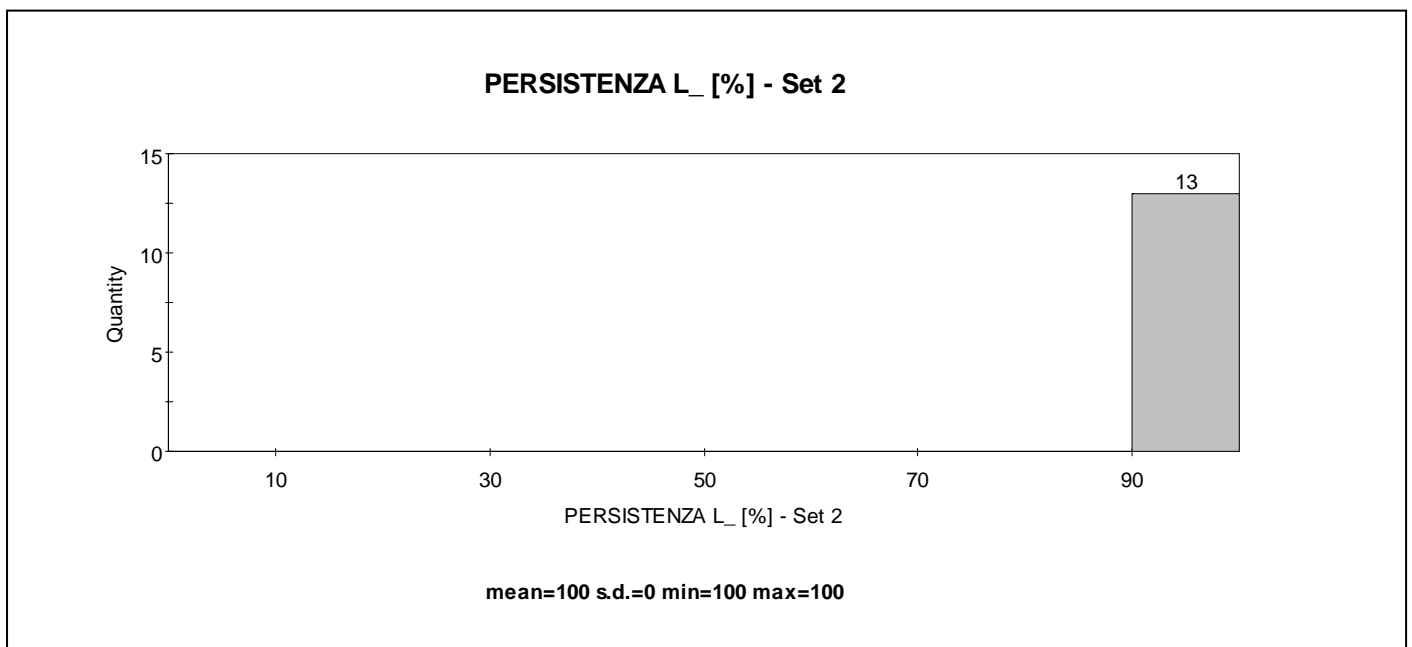
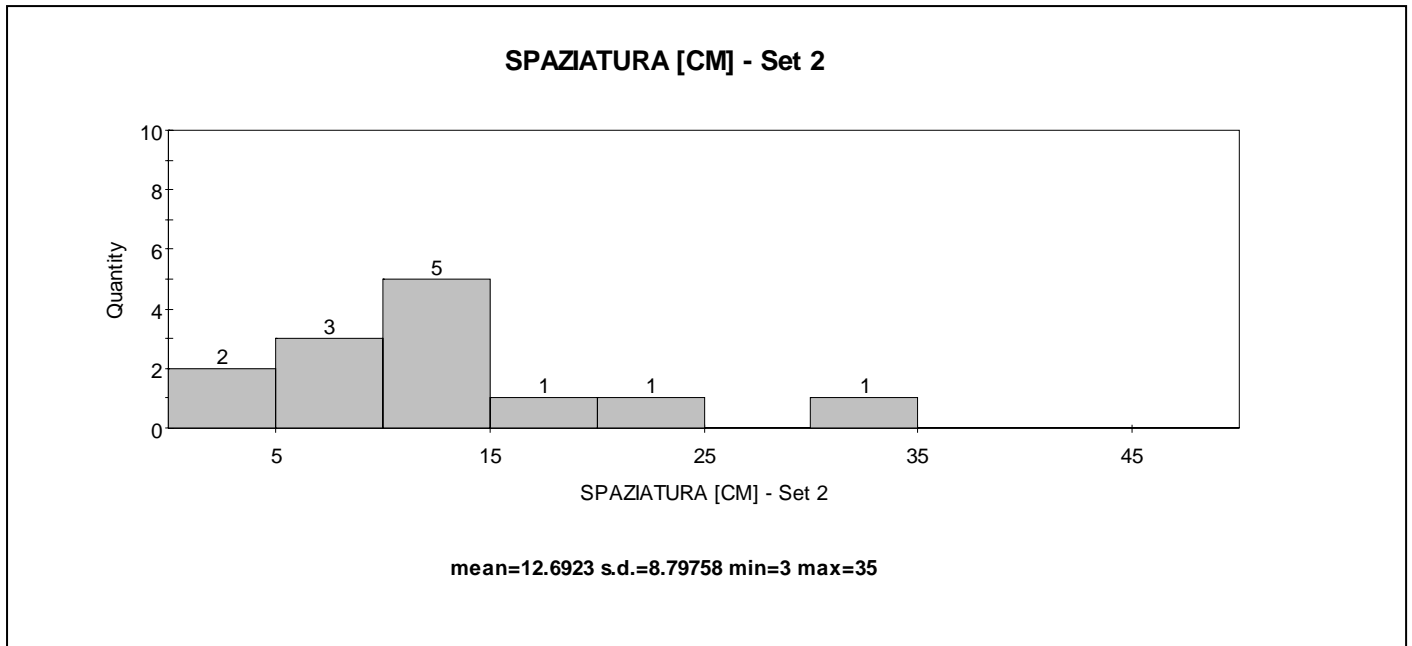


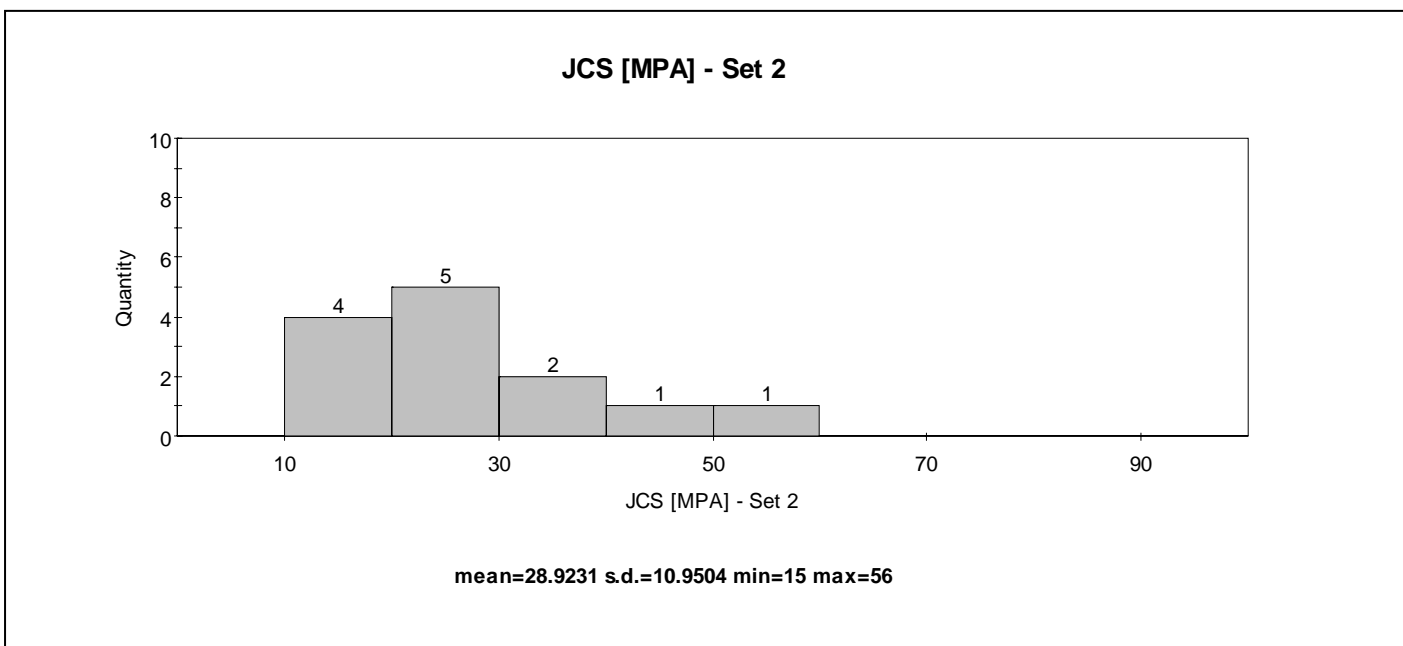
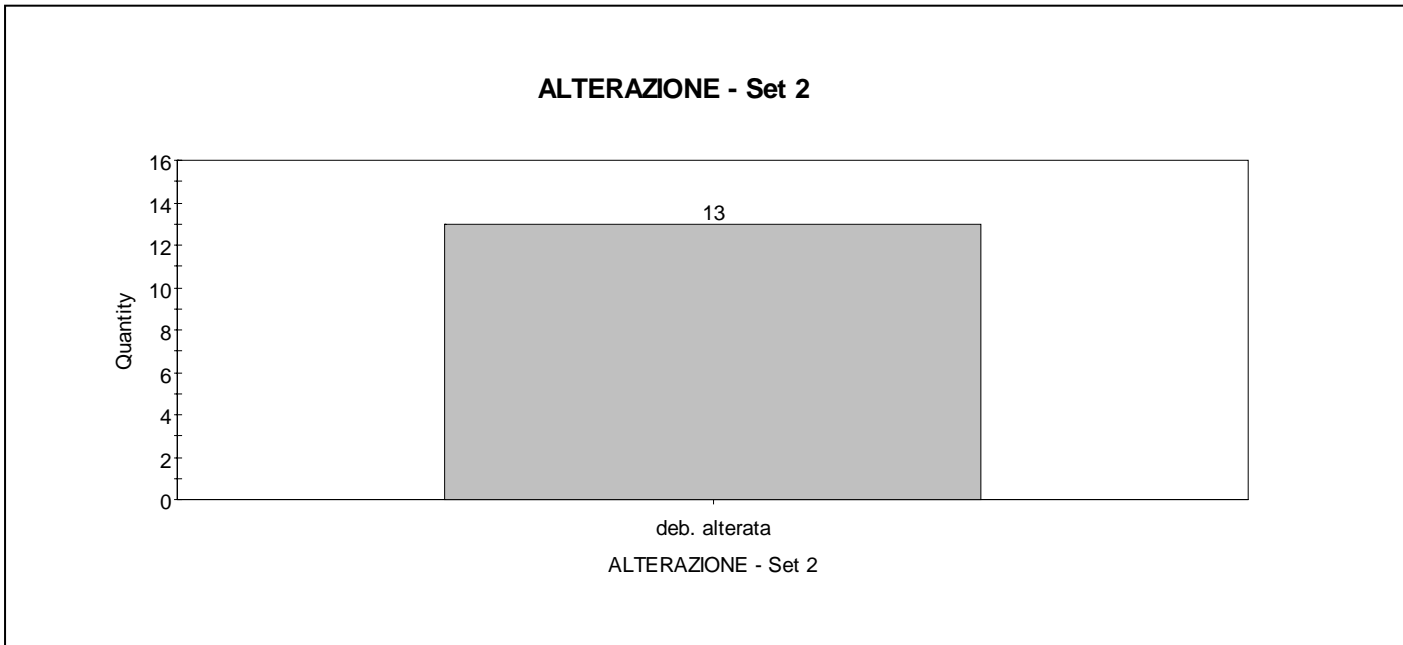
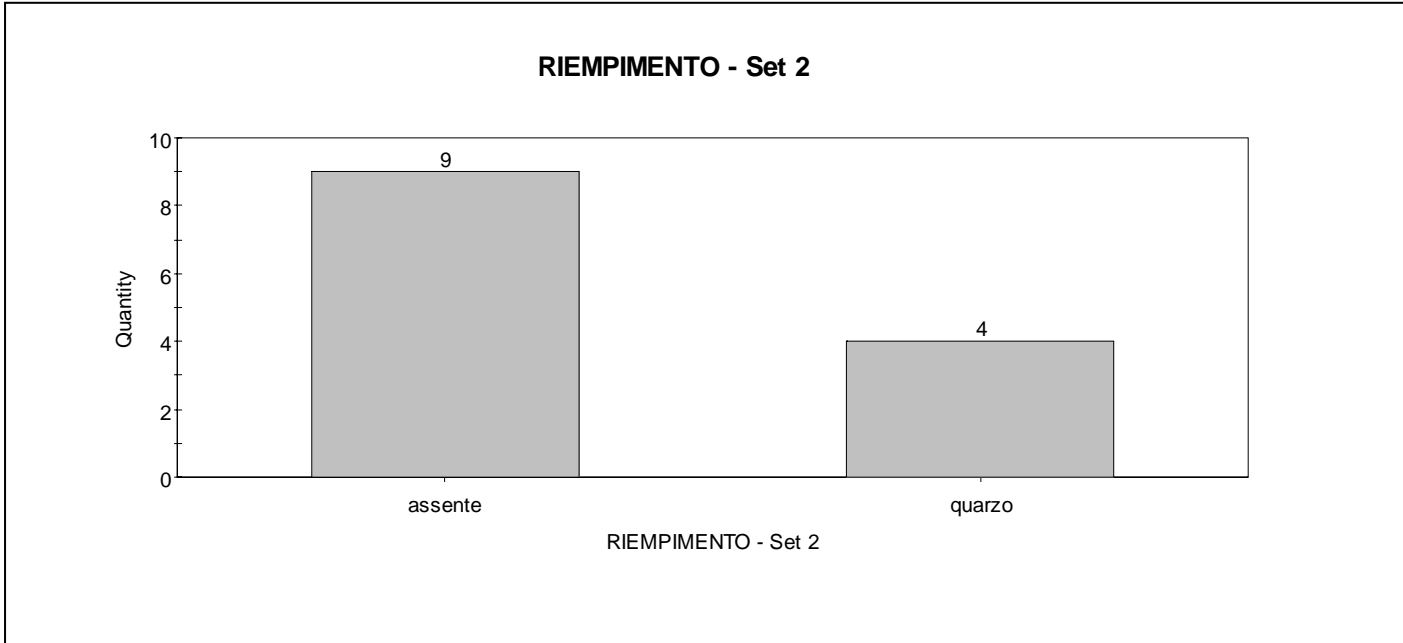


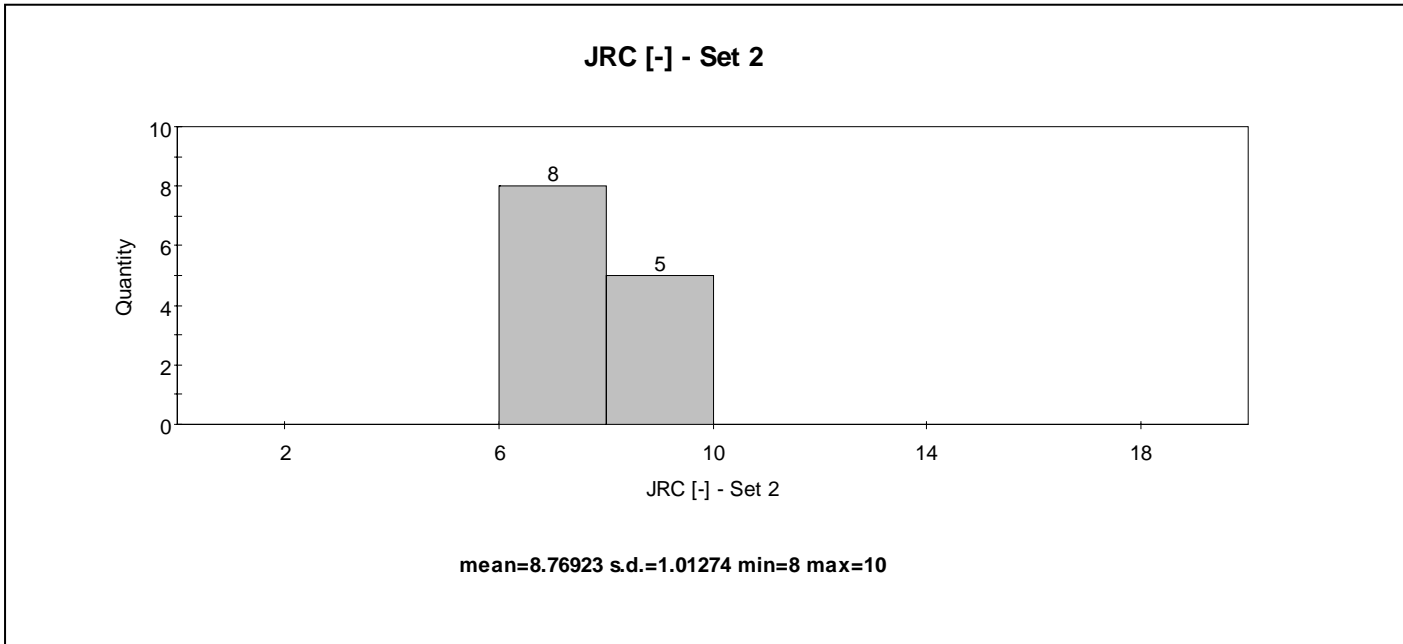
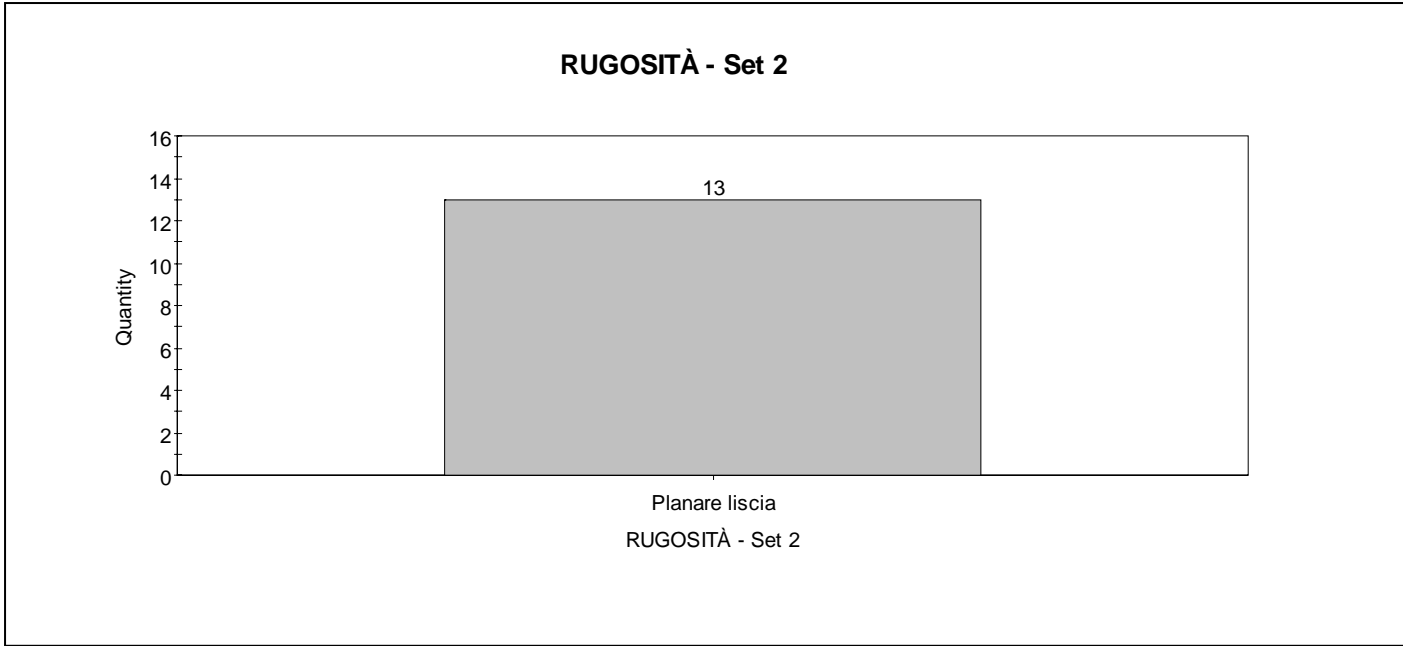


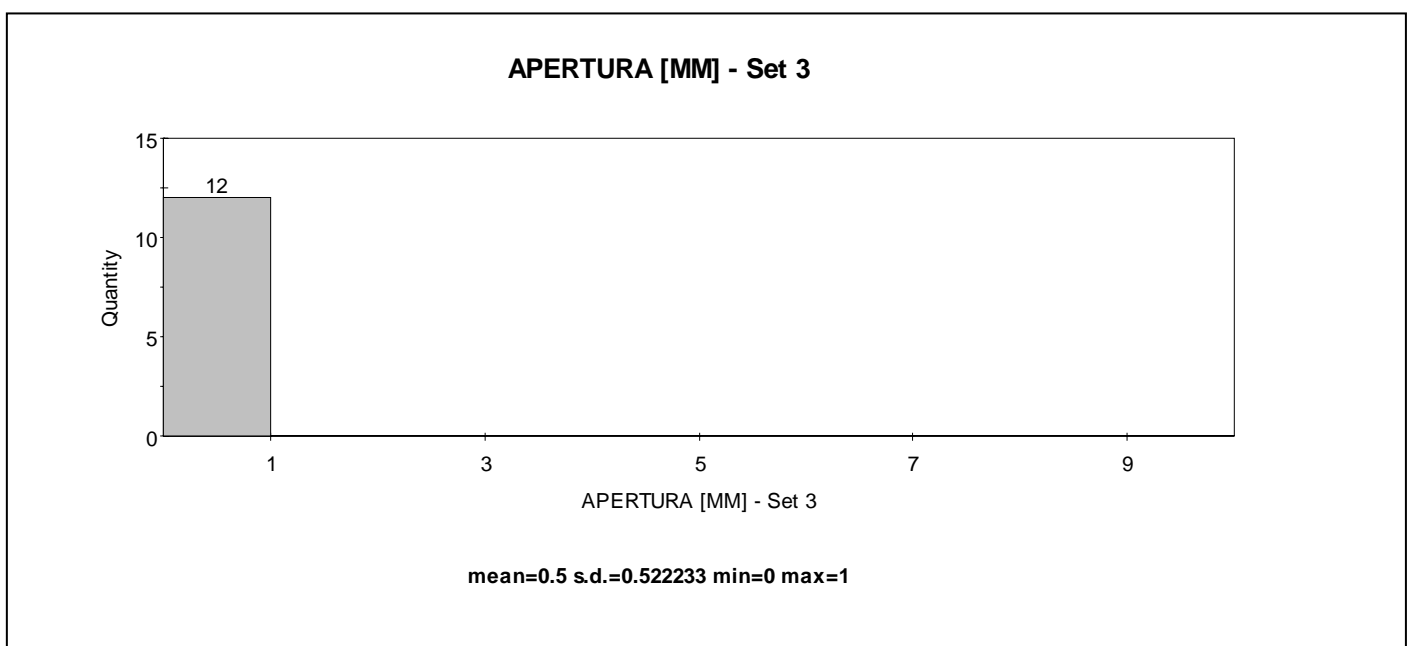
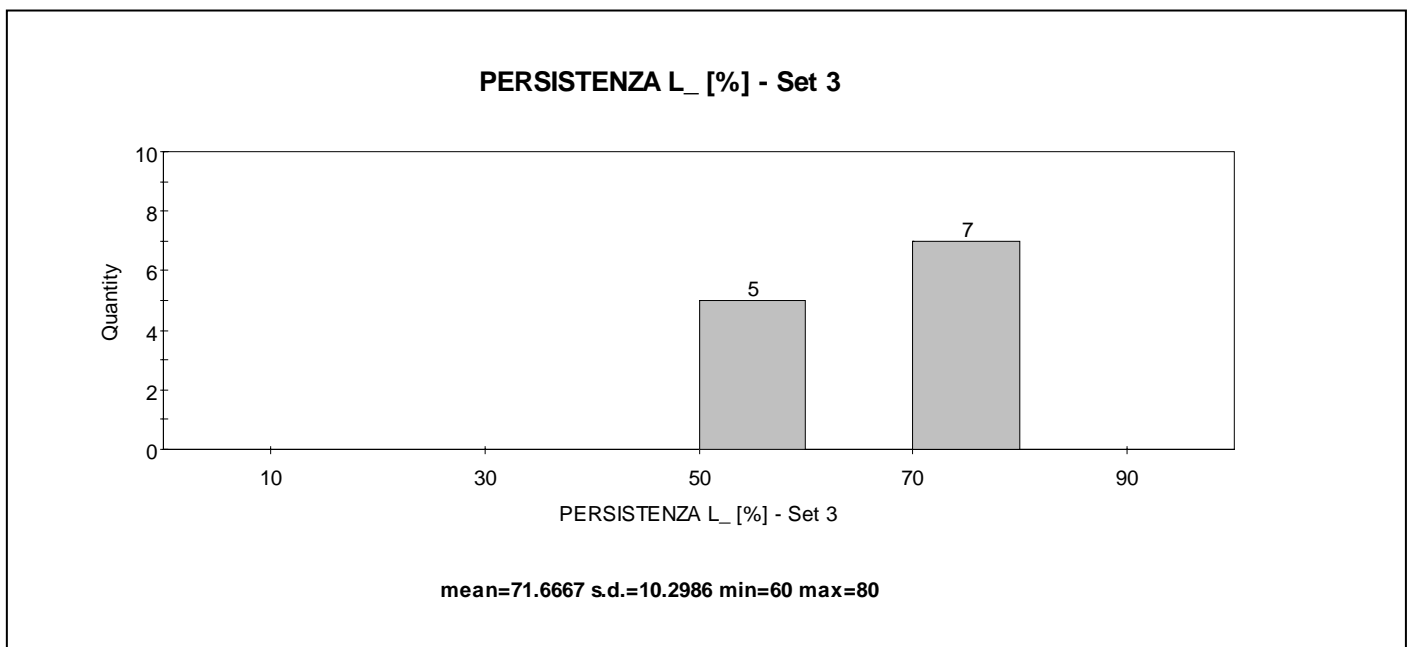
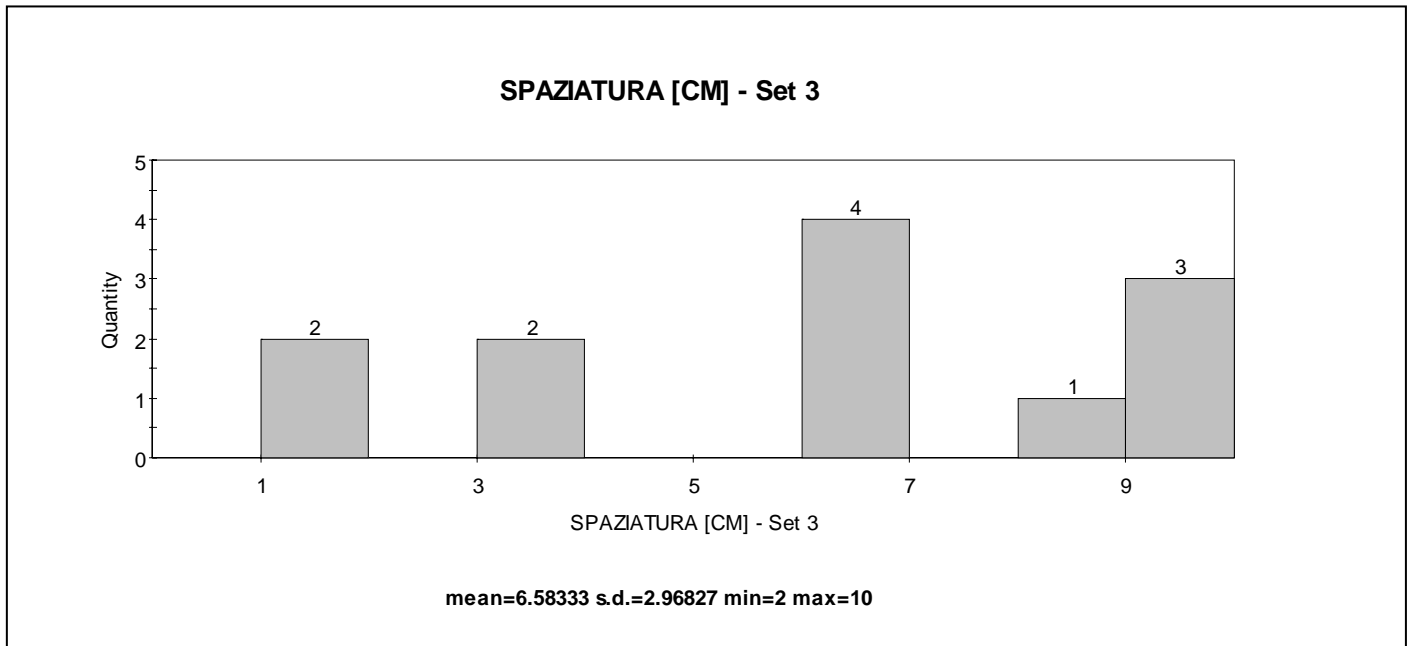


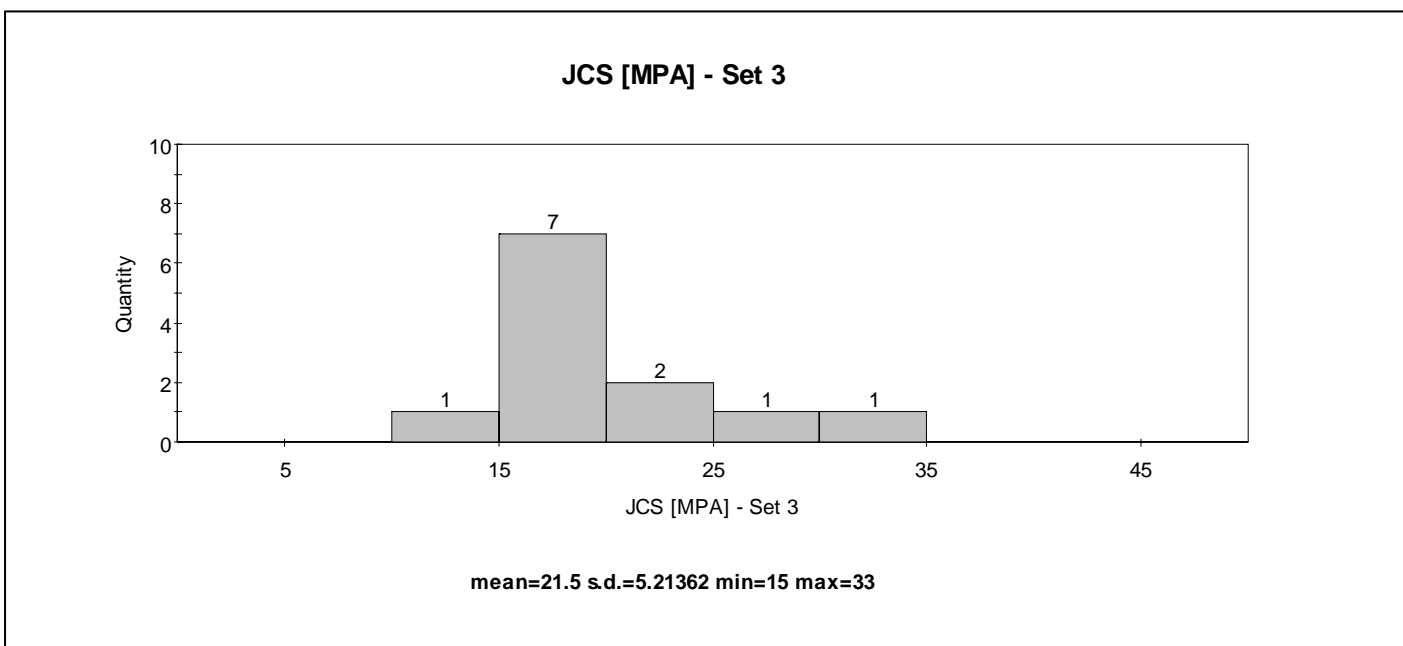
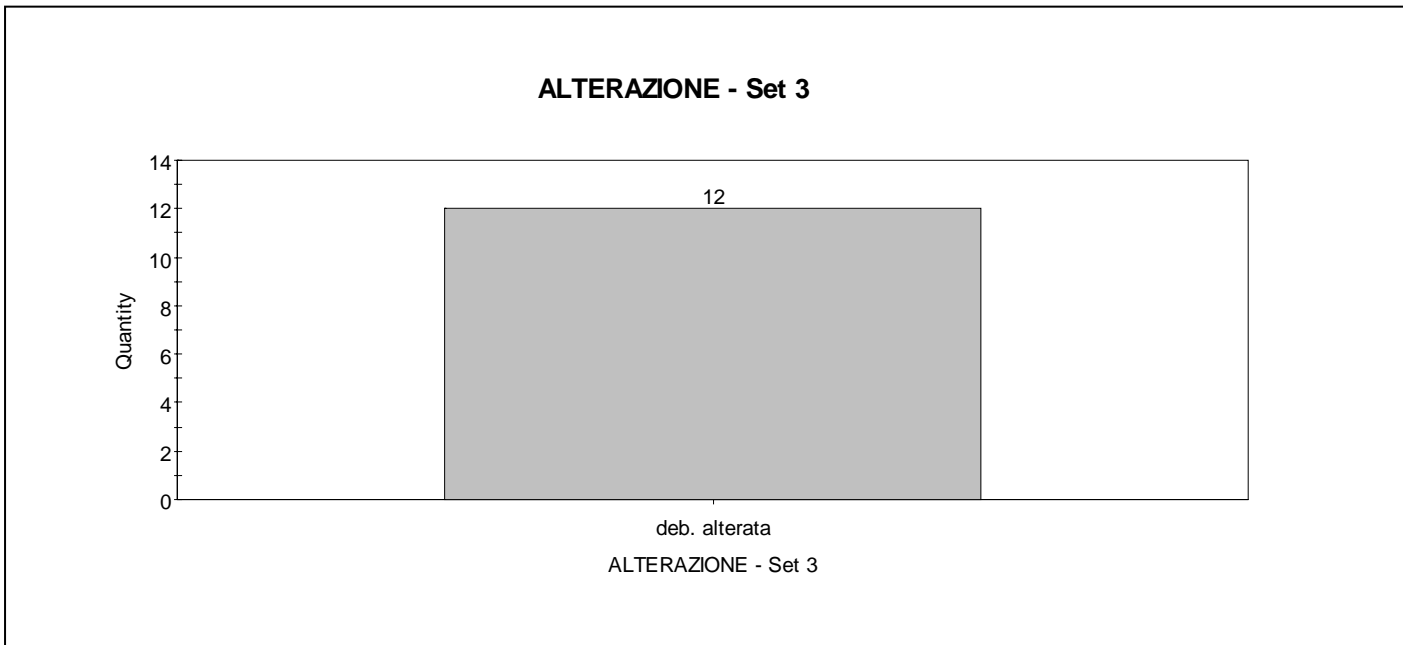
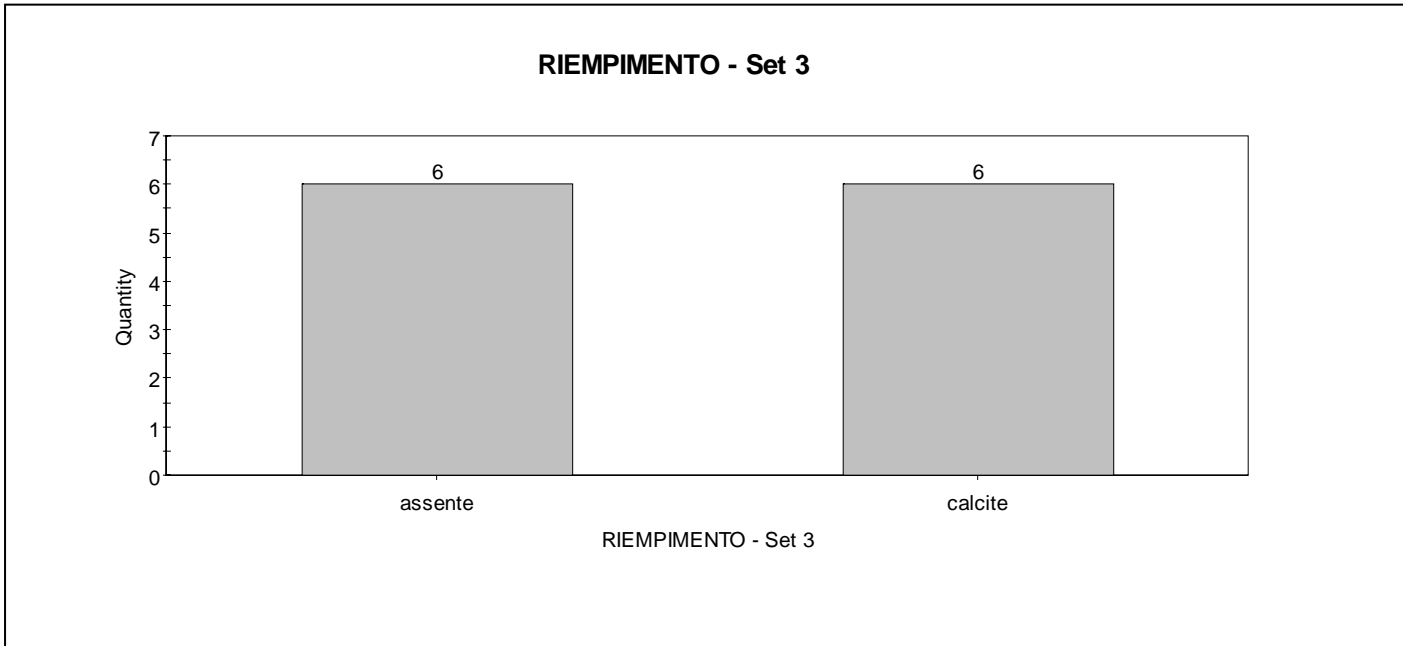


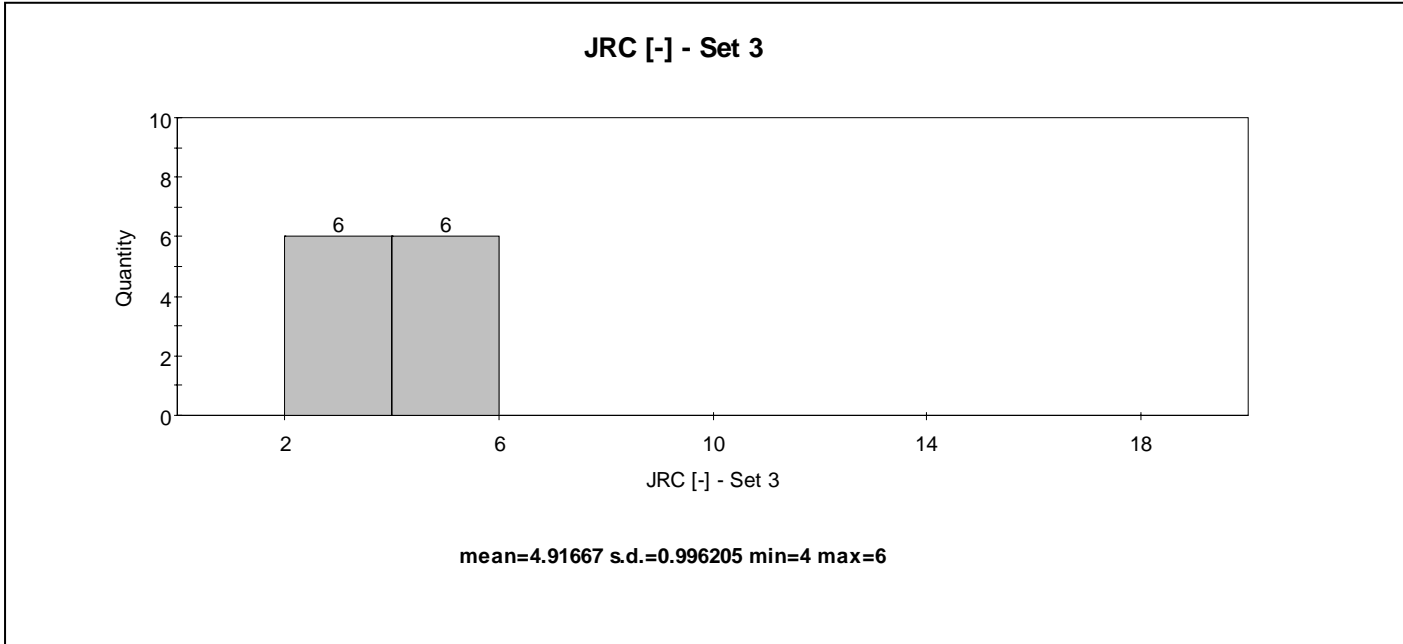
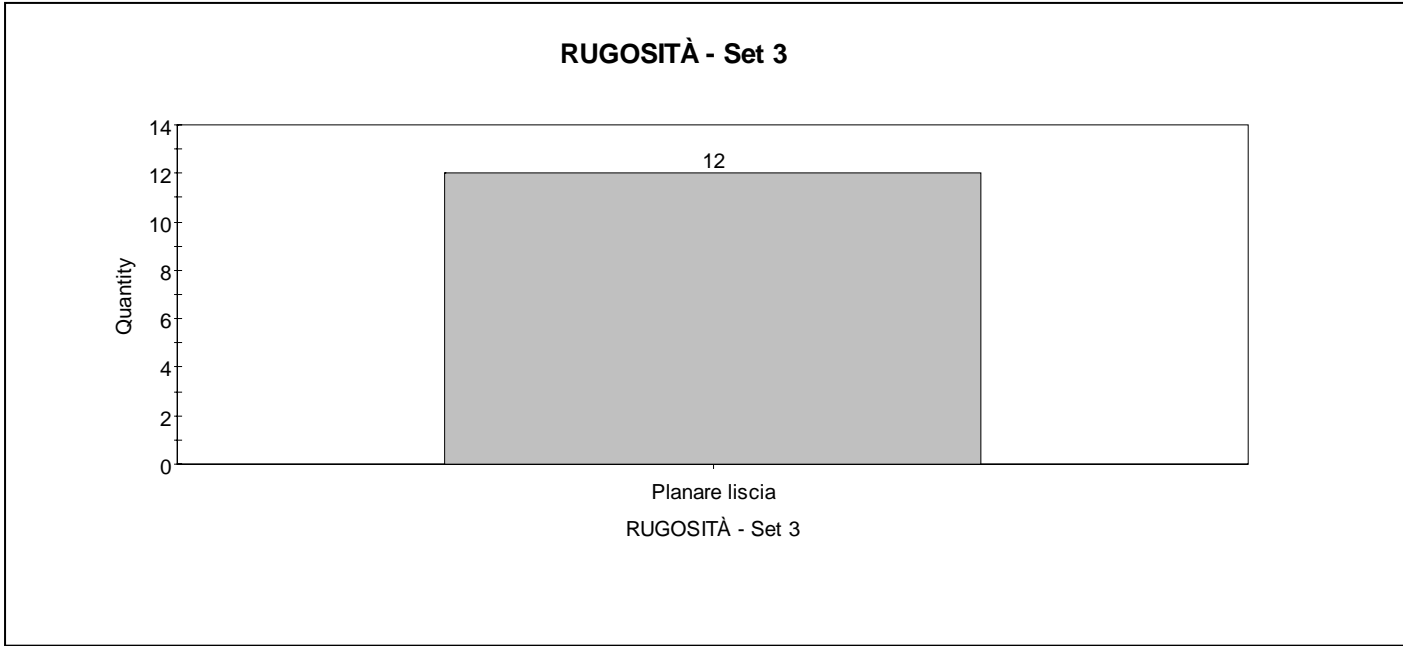










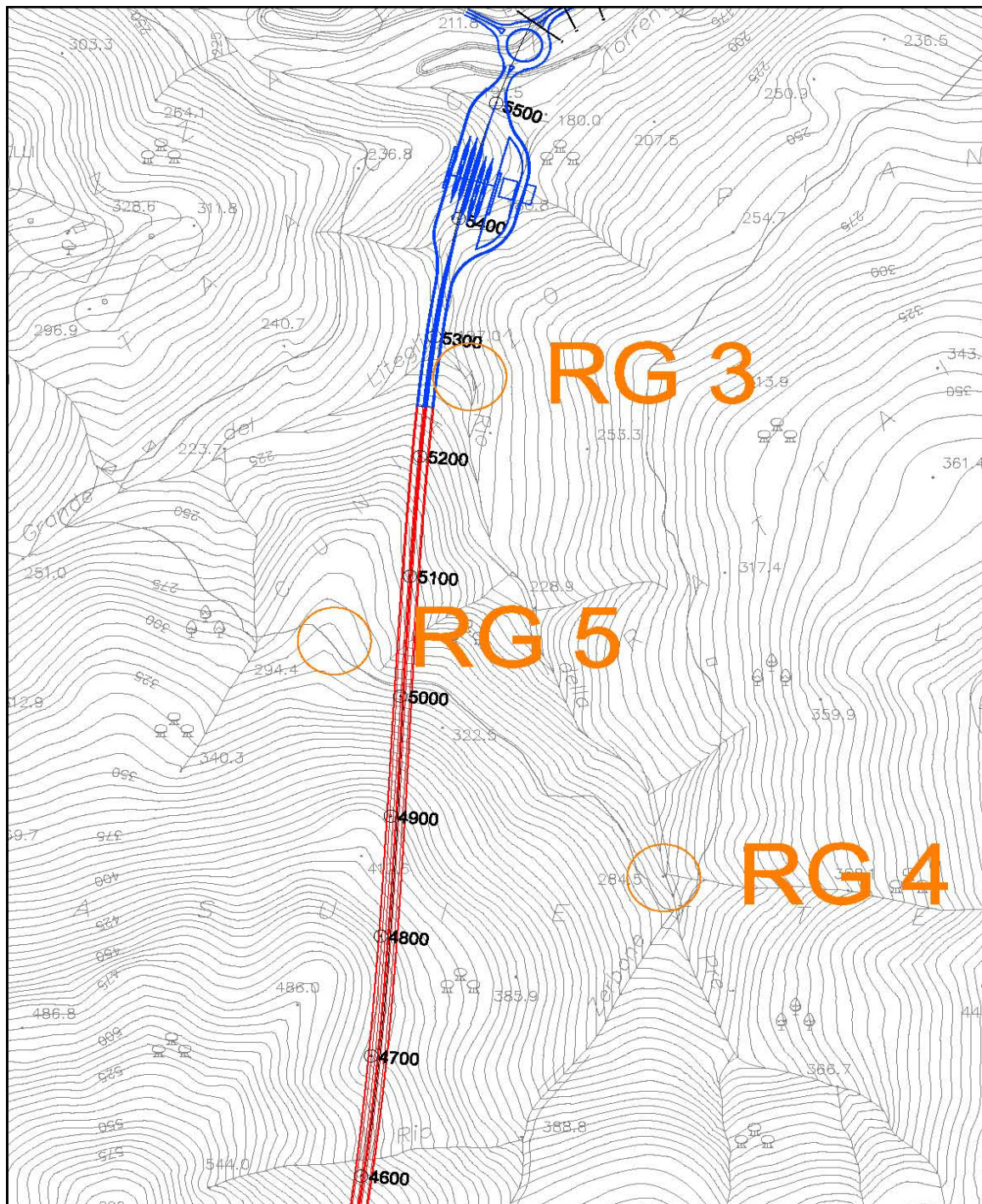


# RILIEVO GEOMECCANICO

Ubicazione area di rilievo

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.			
<b>Commessa</b>	Fontanabuona			
<b>Località</b>	Rio della Prè			
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga	X: 1515773	Y: 4916943	Quota: 202
<b>Data</b>	18/08/11			
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 3			

## Stralcio planimetrico



Scala 1:5.000







**RILIEVO GEOMECCANICO**  
**Rilievi sclerometrici sul materiale roccia**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.					
<b>Commessa</b>	Fontanabuona					
<b>Località</b>	Rio della Prè					
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga X: 1515773		Y: 4916943 Quota: 202			
<b>Data</b>	19/08/11					
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG3					

n°	litologia A					
	R	$\alpha$	corr.	R'	$\gamma$	$\sigma_{ci}$
	[-]	[°]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]
1	40	-90	0	40	25	77,62
2	42	-90	0	42	25	85,90
3	38	-90	0	38	25	70,15
4	40	-90	0	40	25	77,62
5	38	-90	0	38	25	70,15
6	40	-90	0	40	25	77,62
7	36	-90	0	36	25	63,39
8	38	-90	0	38	25	70,15
9	26	-90	0	26	25	38,19
10	34	-90	0	34	25	57,28
11	22	-90	0	22	25	31,19
12	30	-90	0	30	25	46,77
13	42	-90	0	42	25	85,90
14	36	-90	0	36	25	63,39
15	36	-90	0	36	25	63,39
16	36	-90	0	36	25	63,39
17	26	-90	0	26	25	38,19
18	32	-90	0	32	25	51,76
19	26	-90	0	26	25	38,19
20	32	-90	0	32	25	51,76

**Variabilità statistica**

$\sigma_{ci}$ [MPa]	
<b>media</b>	<b>dev. st.</b>
<b>61,10</b>	<b>16,51</b>

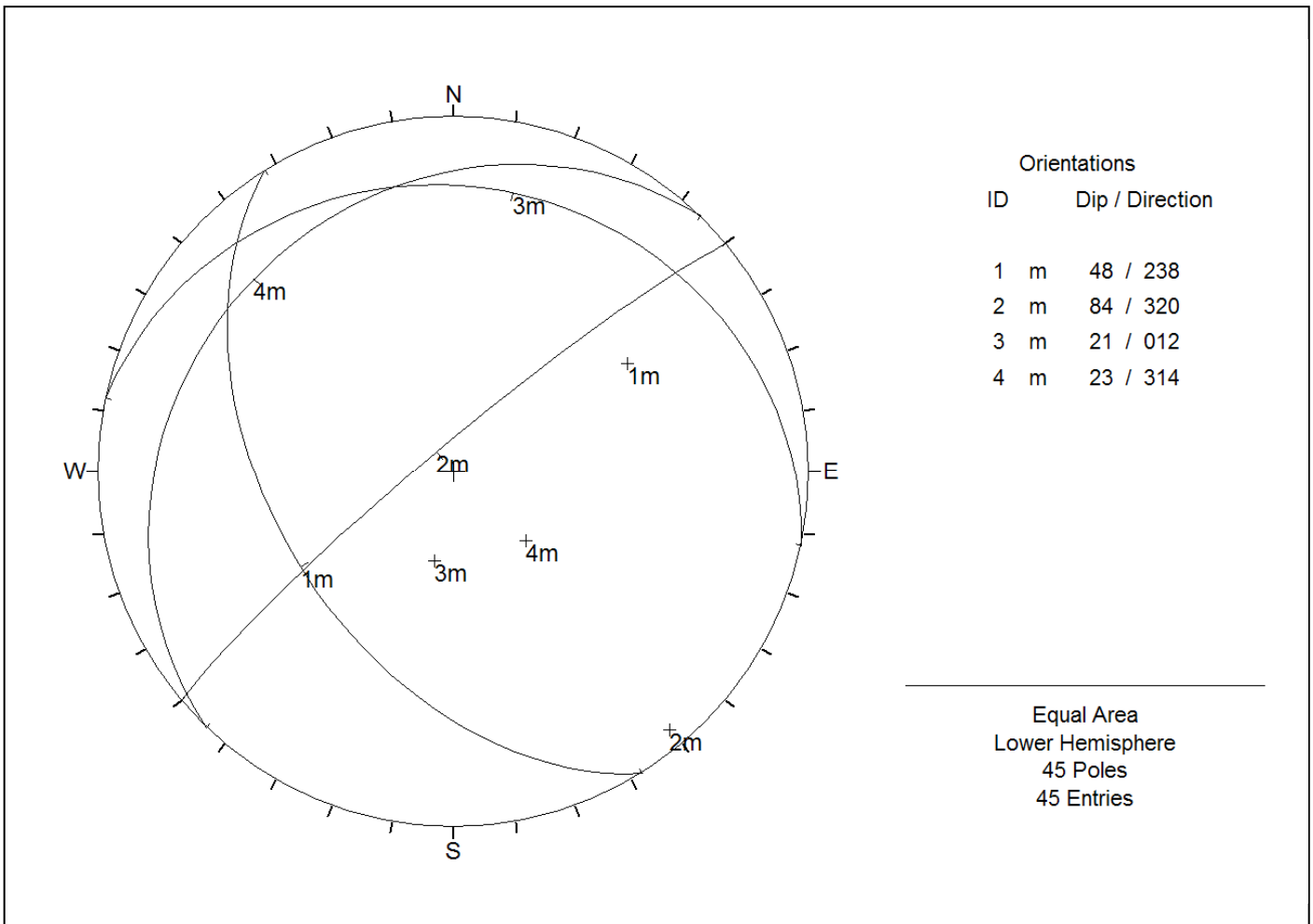
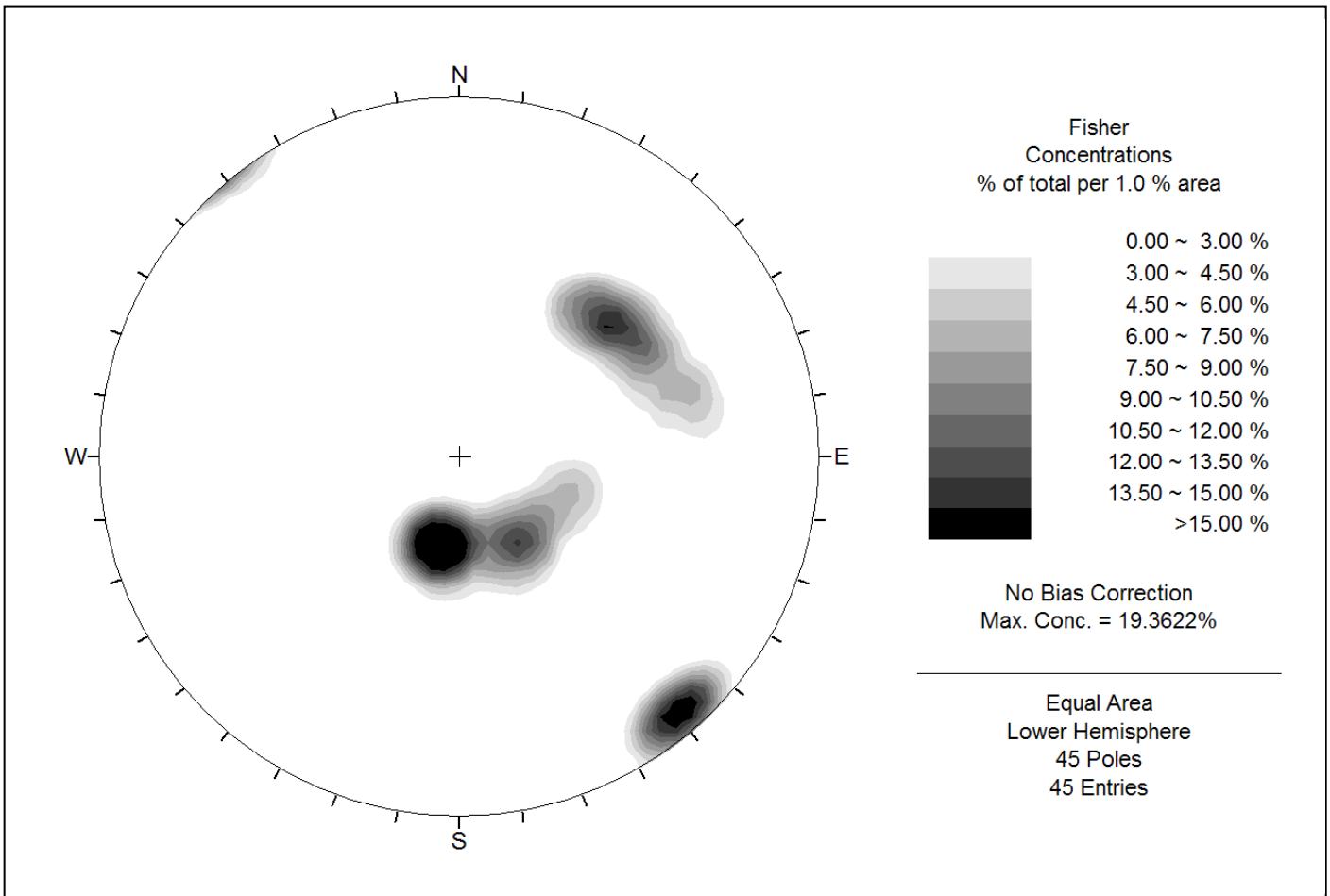
mediana	percentili	
	5°	95°
<b>63,39</b>	<b>37,84</b>	<b>85,90</b>

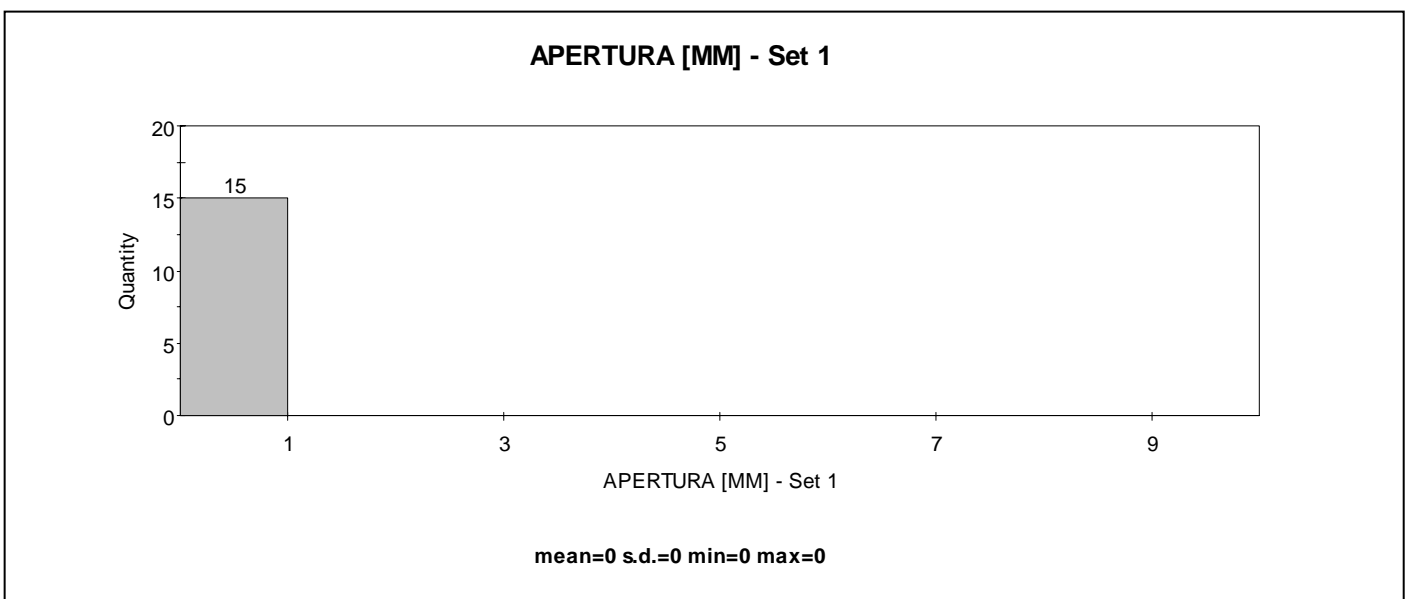
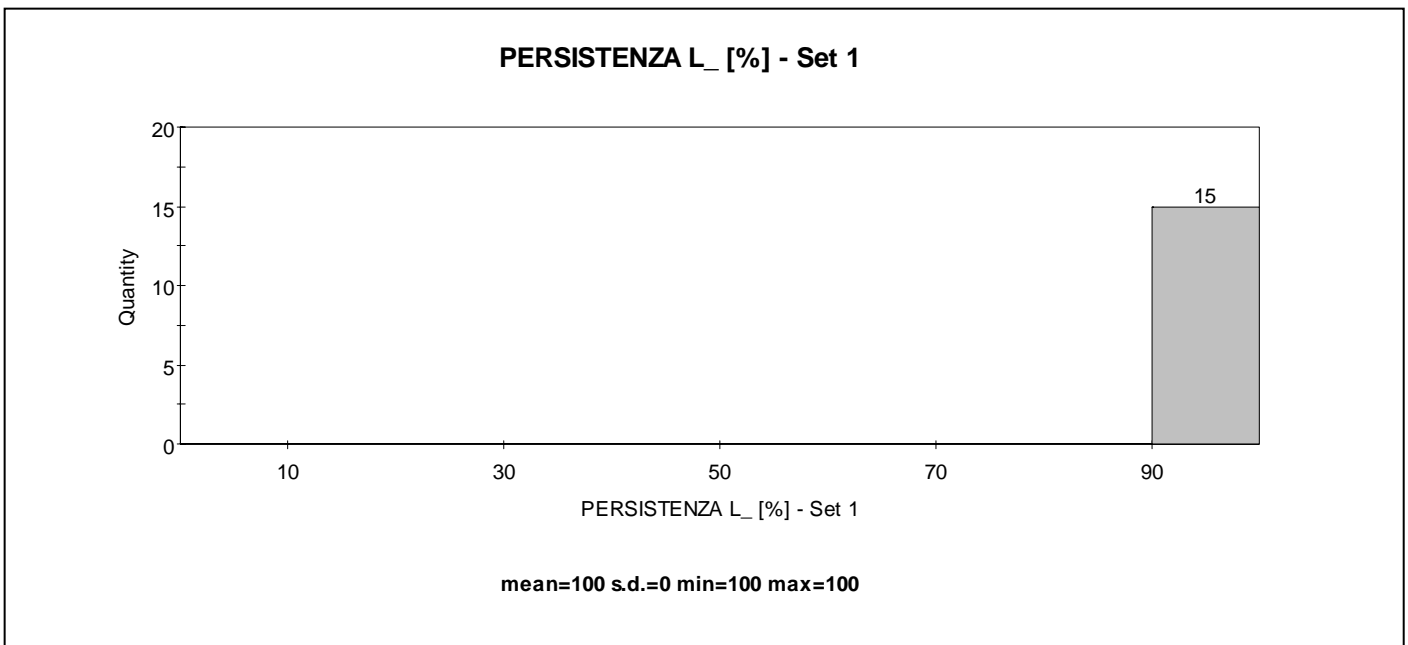
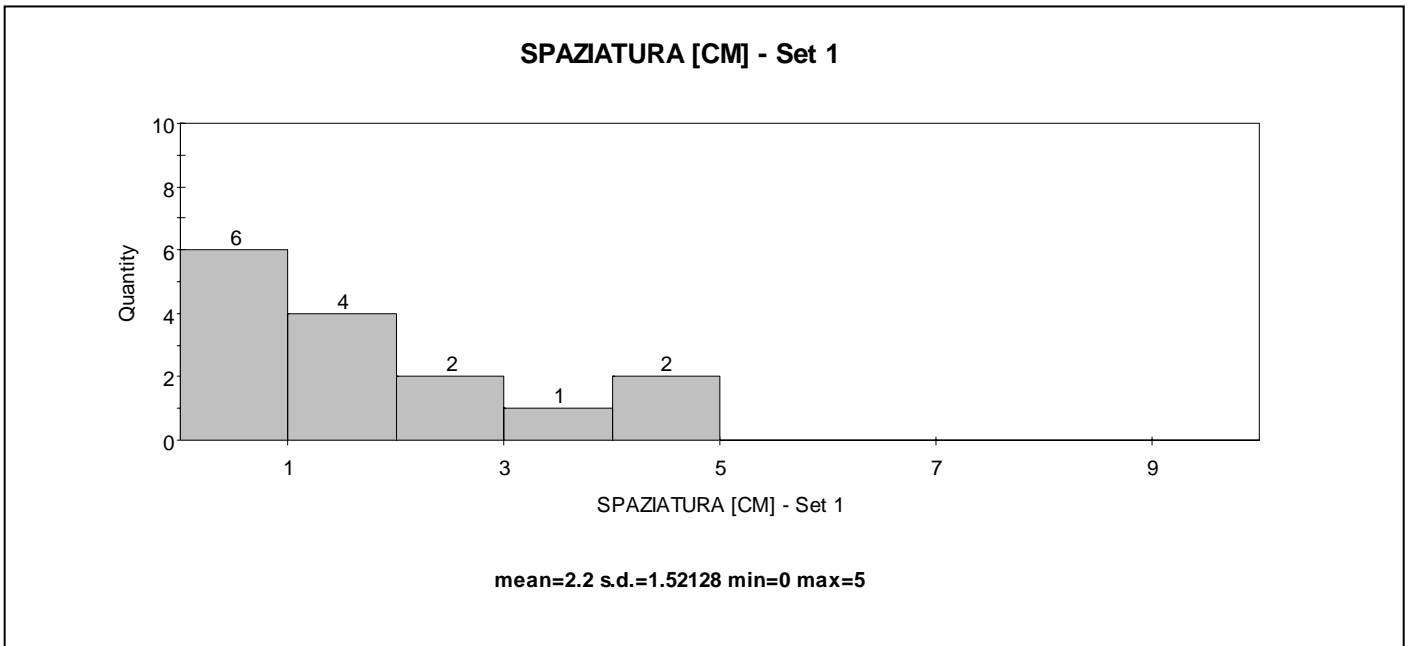
n°	litologia B					
	R	$\alpha$	corr.	R'	$\gamma$	$\sigma_{ci}$
	[-]	[°]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

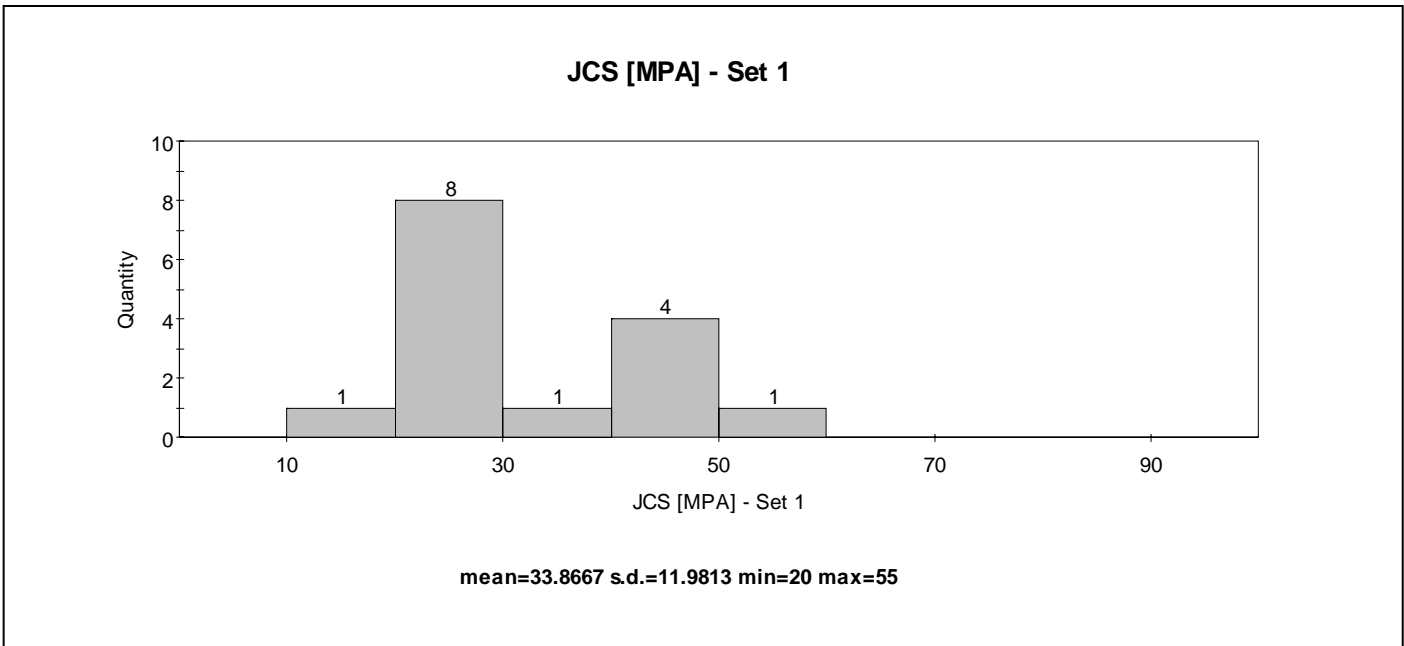
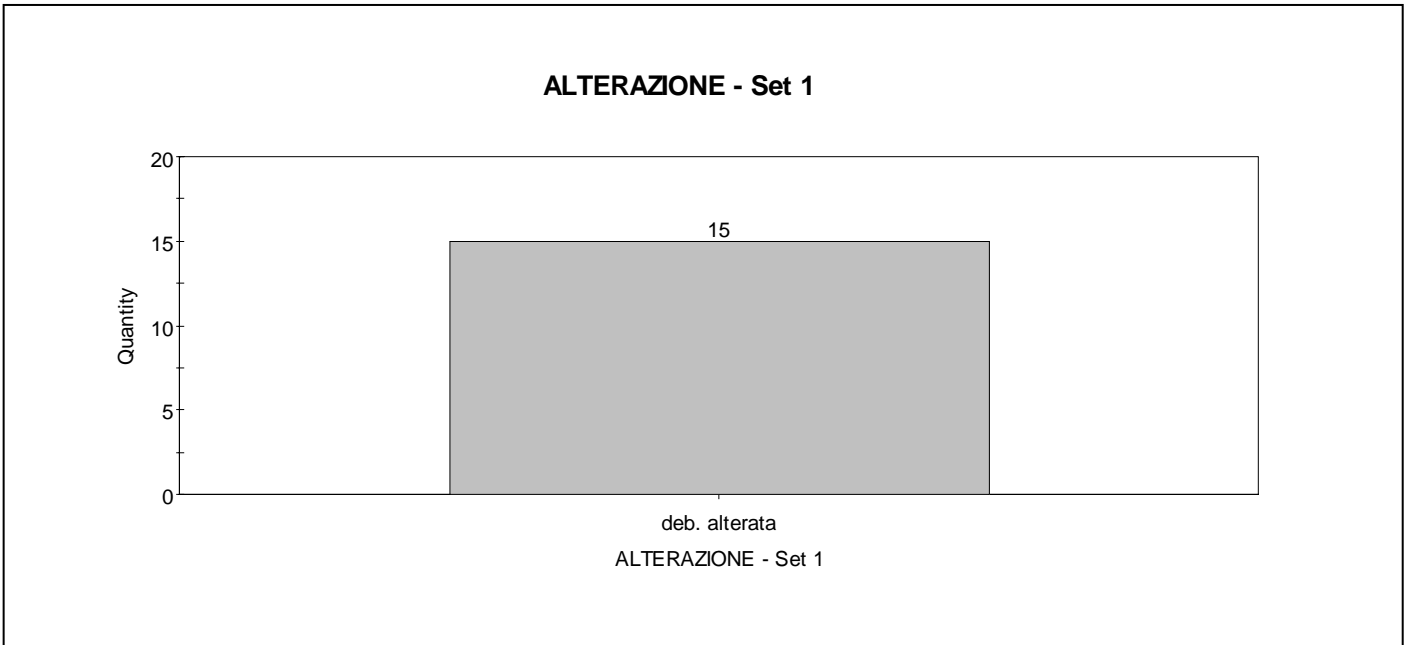
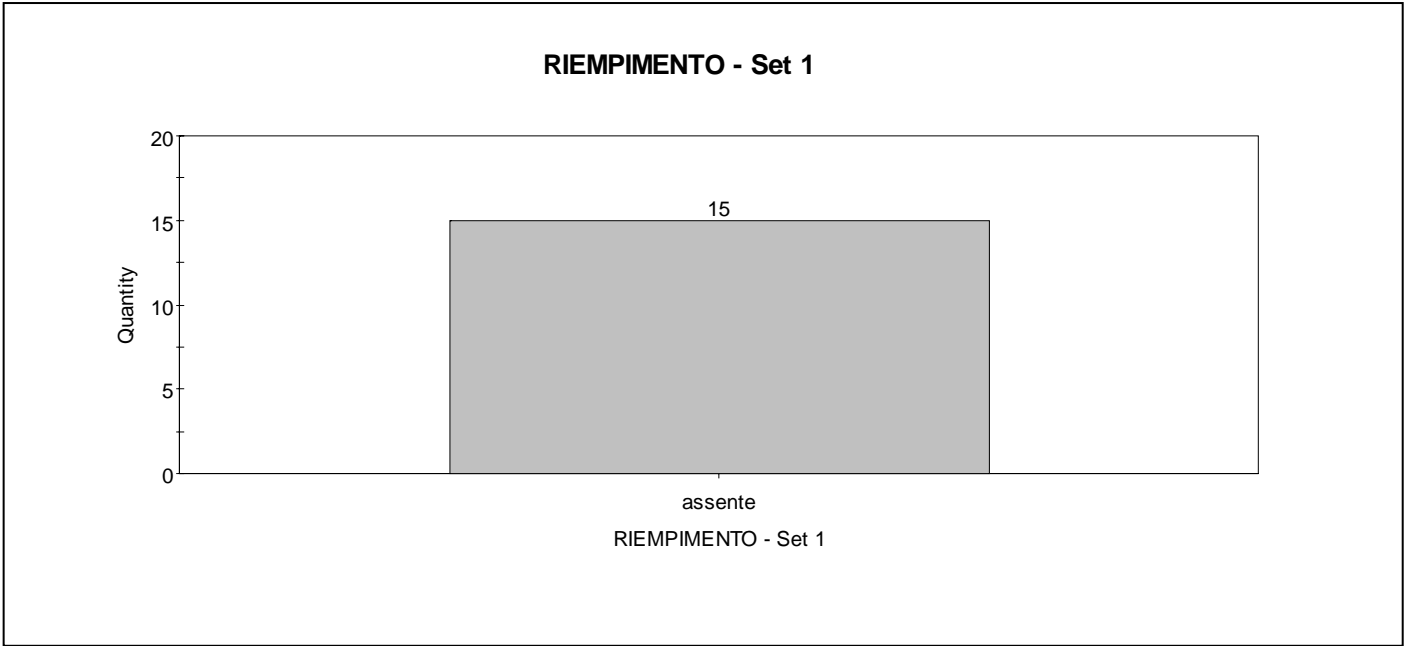
**Variabilità statistica**

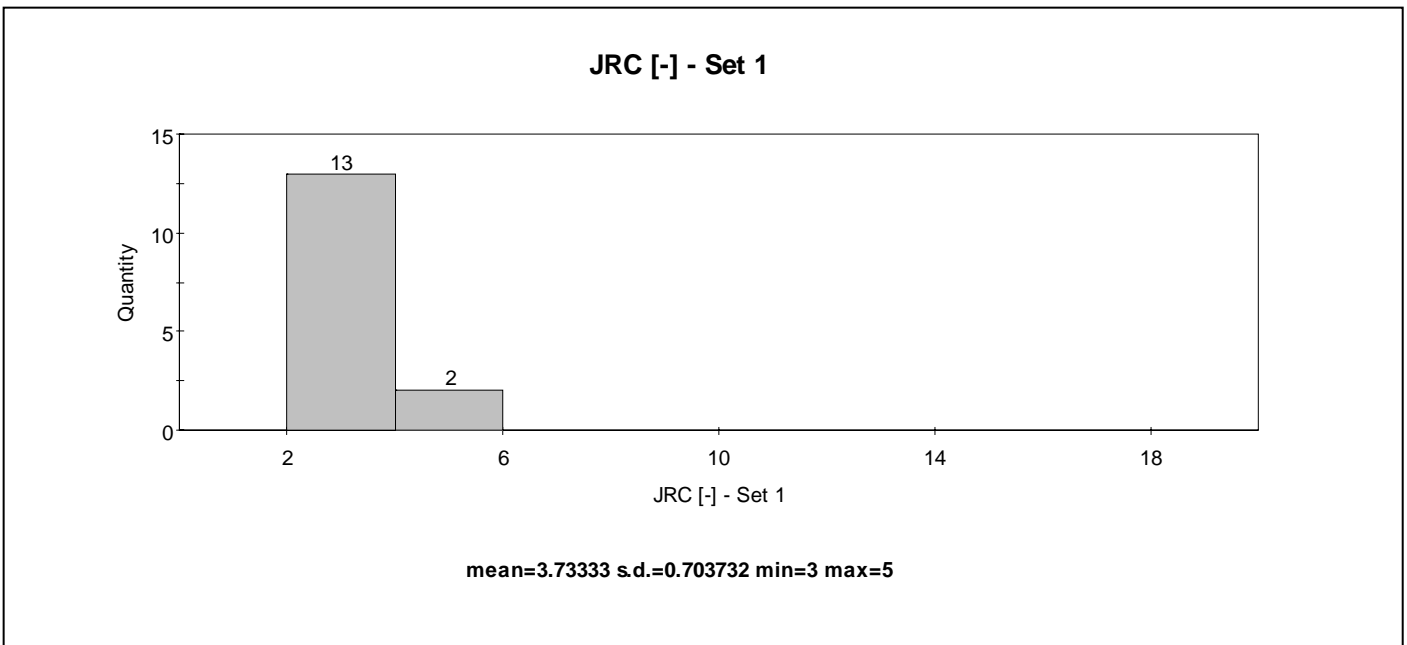
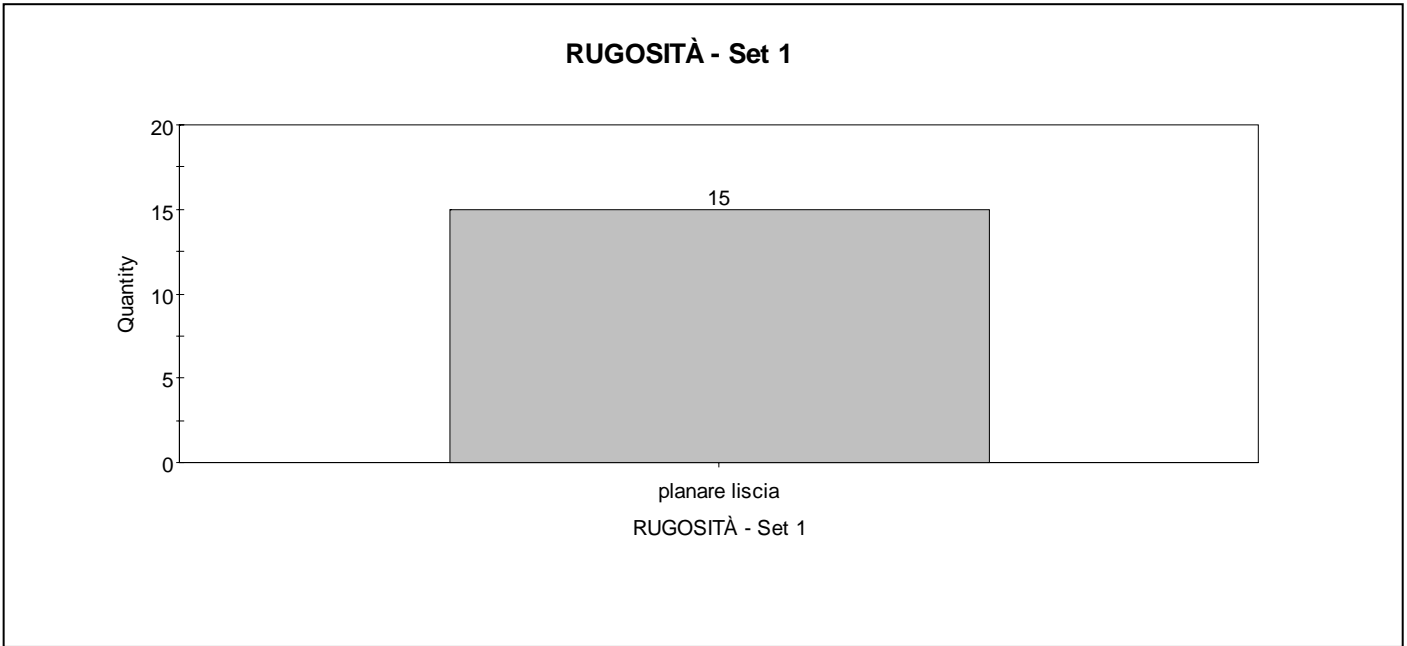
$\sigma_{ci}$ [MPa]	
<b>media</b>	<b>dev. st.</b>
<b>-</b>	<b>-</b>

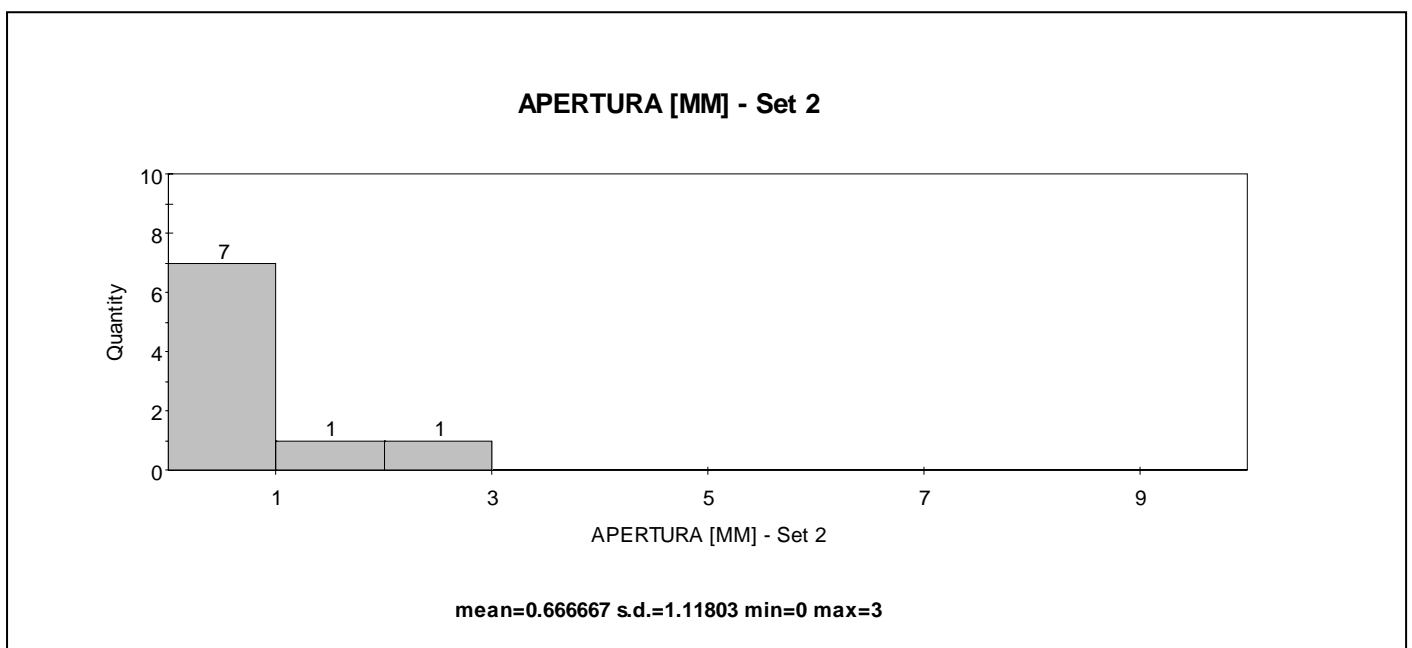
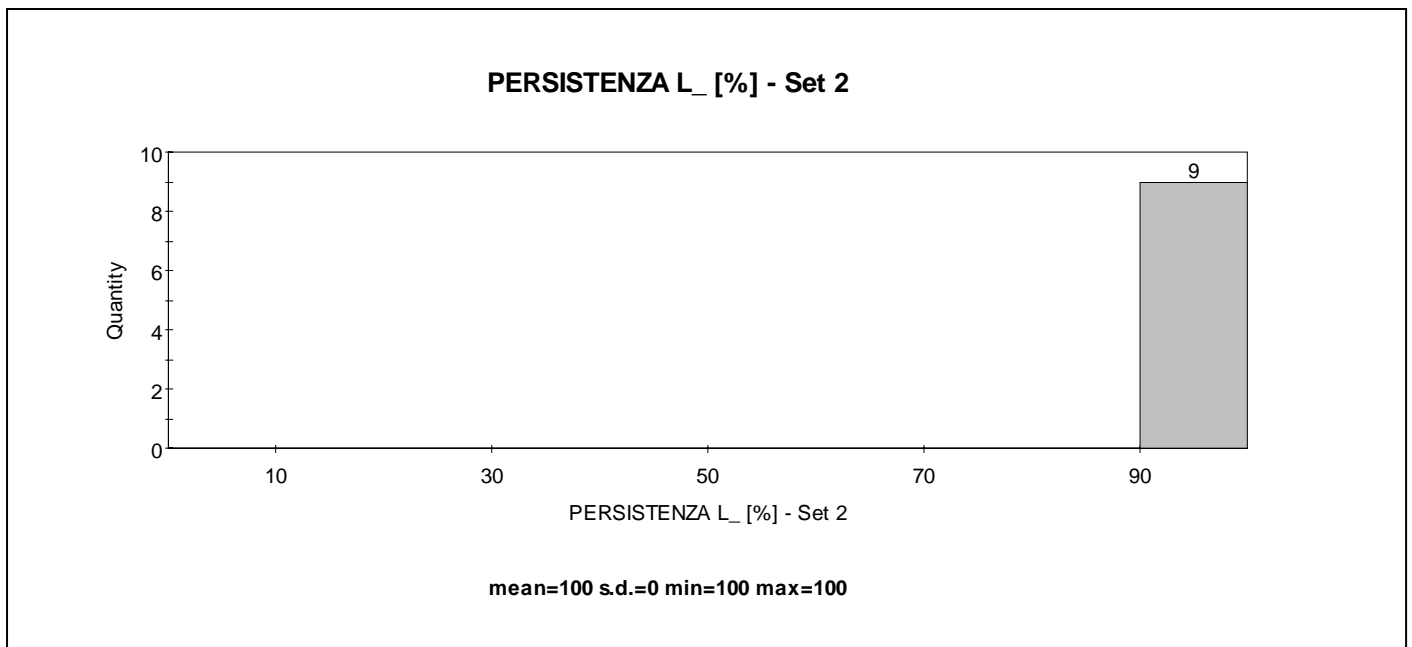
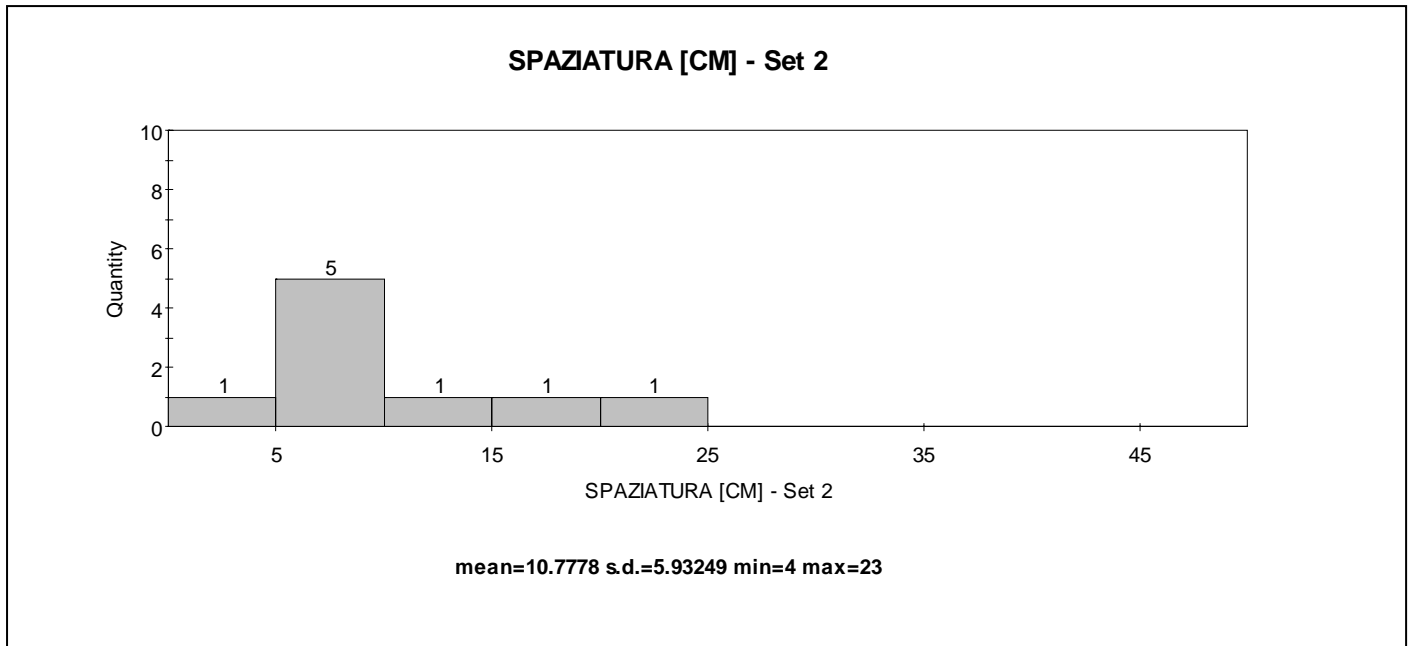
mediana	percentili	
	5°	95°
<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>



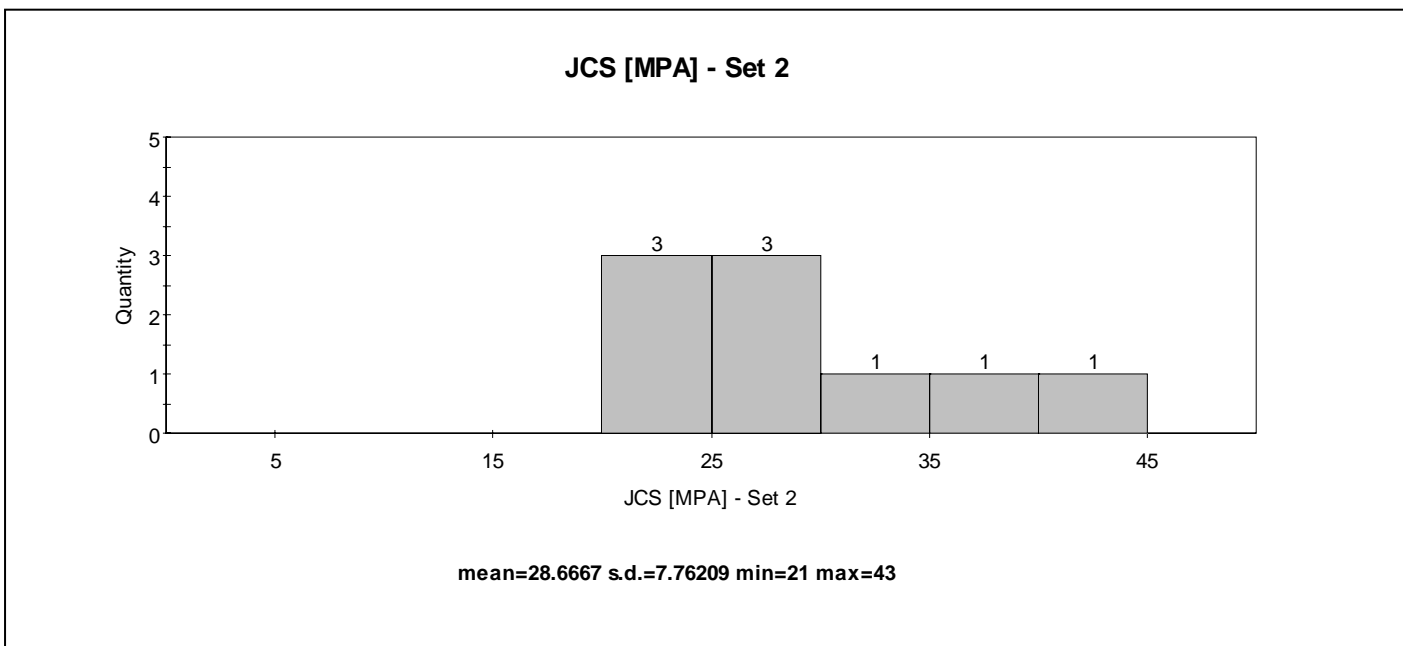
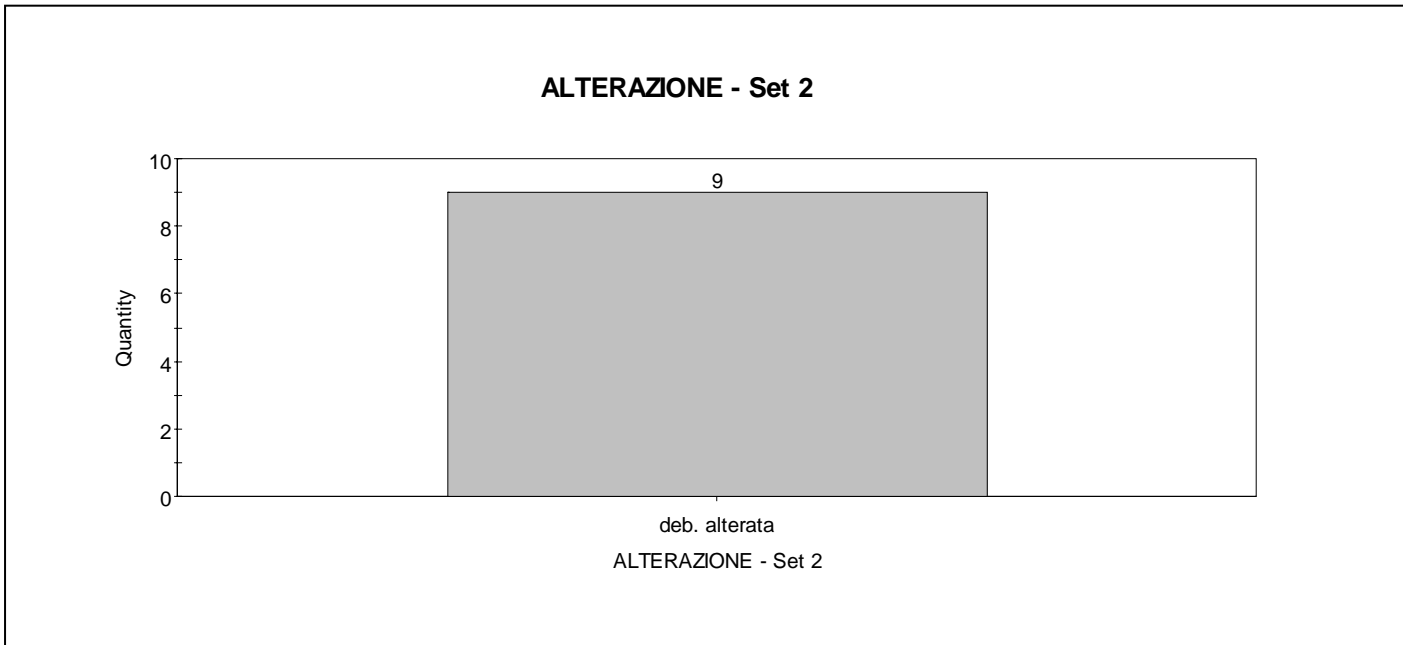
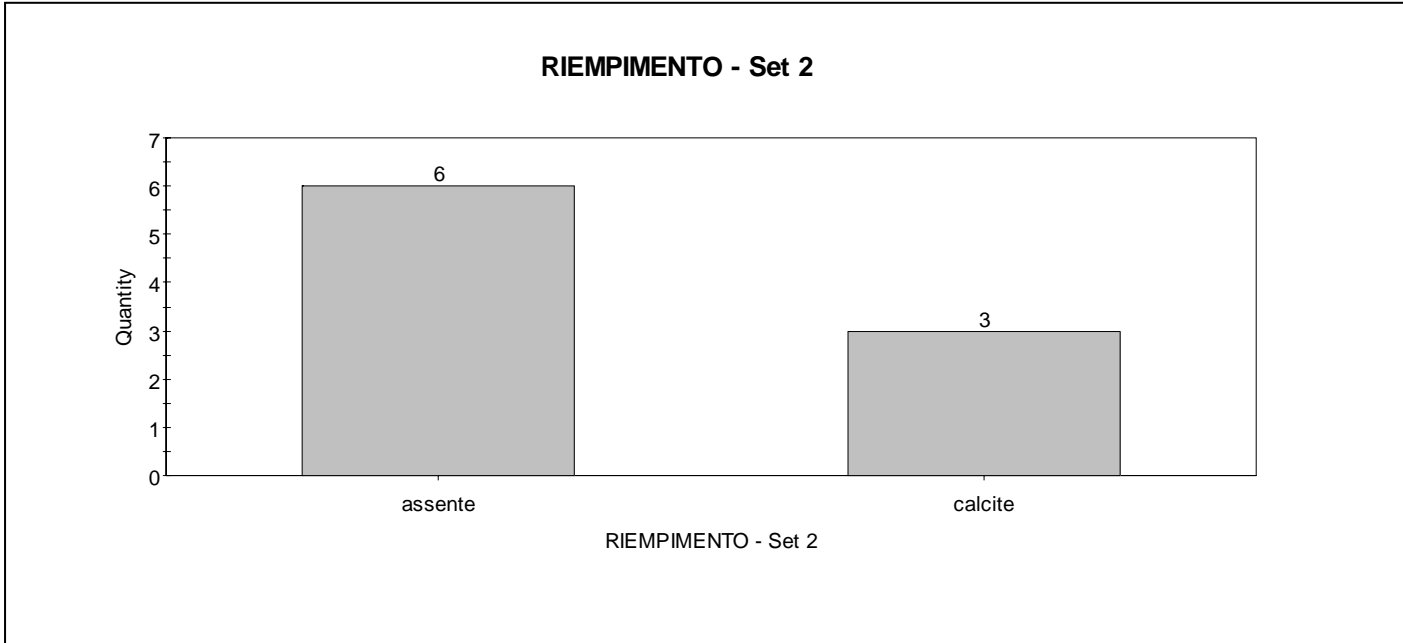


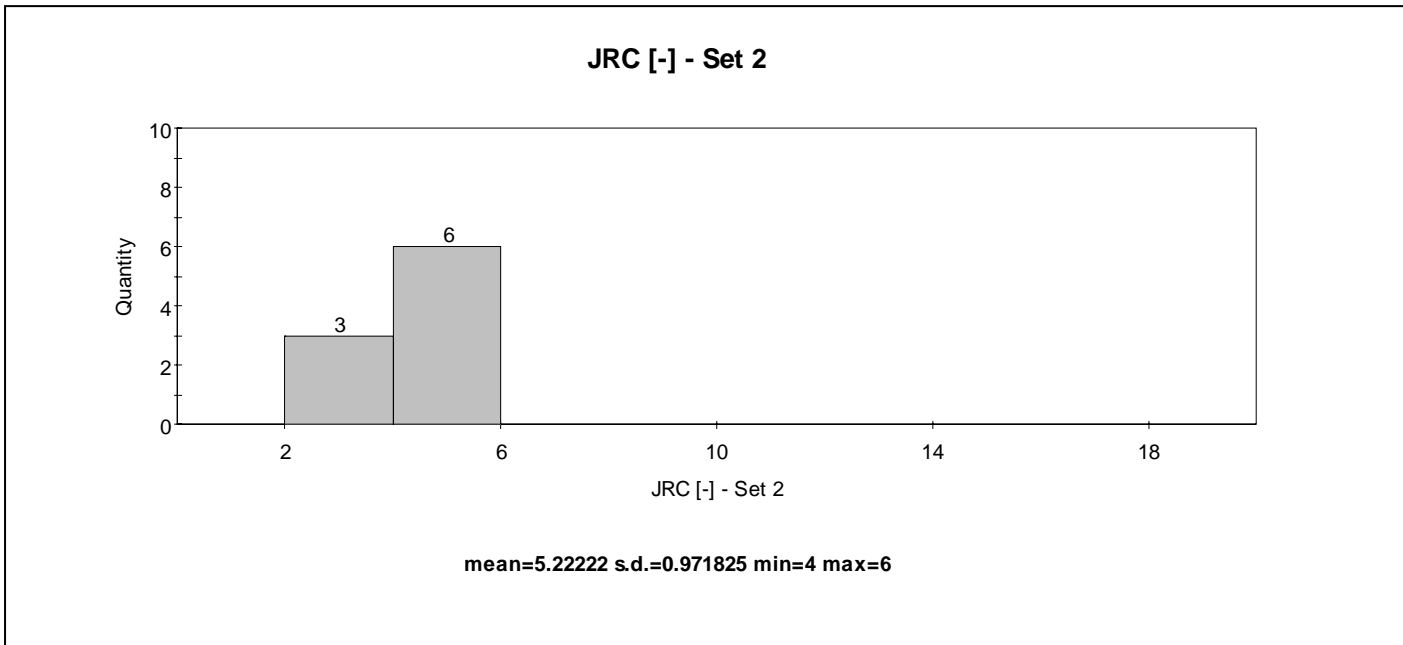
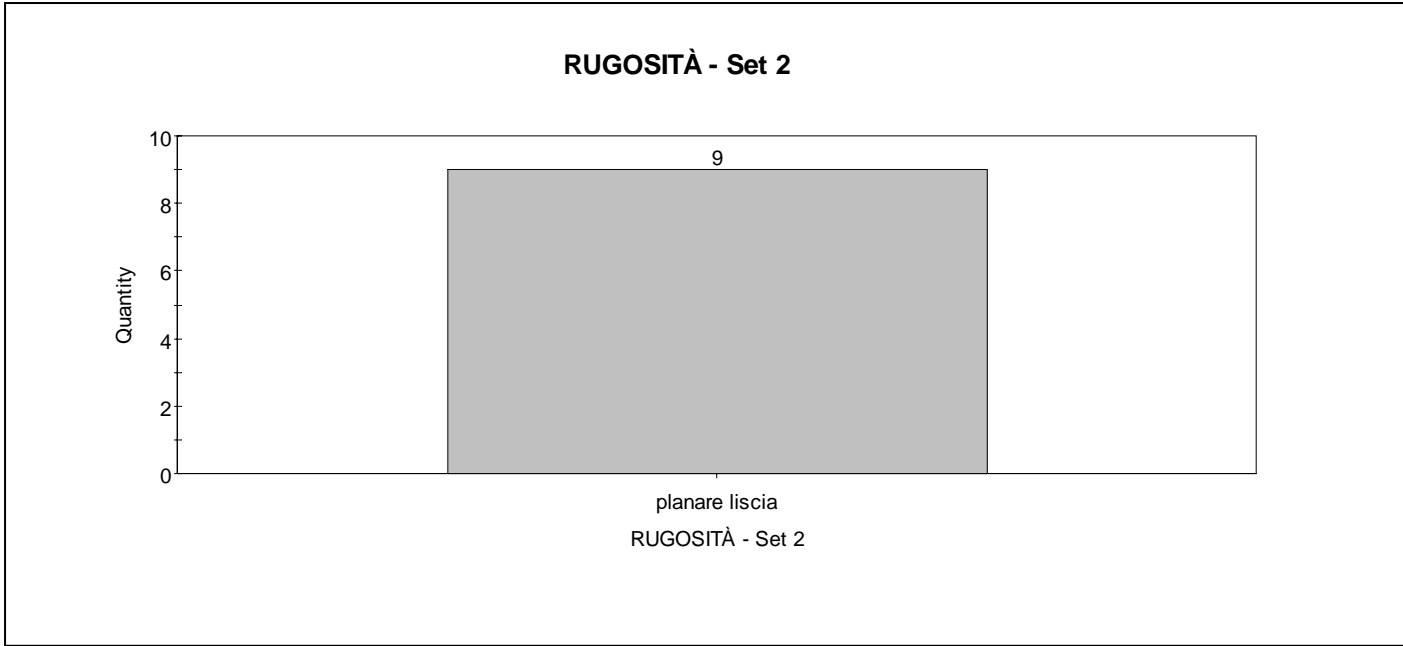


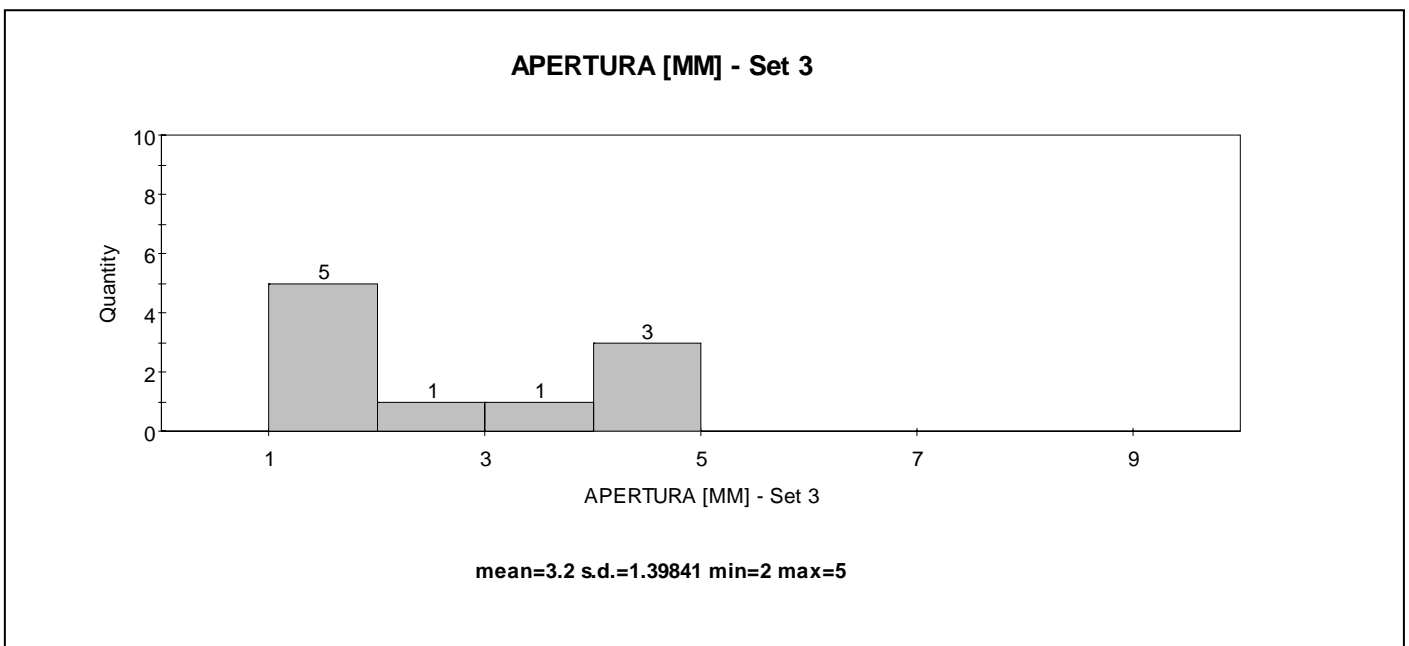
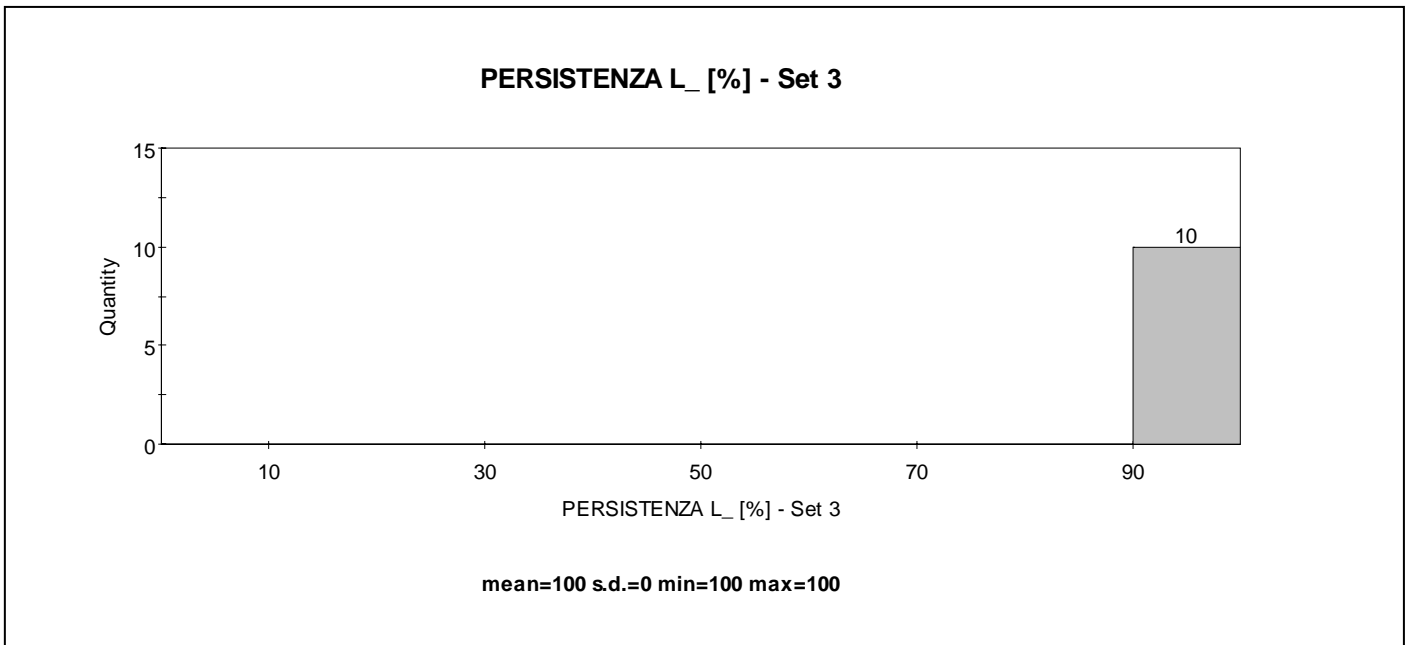
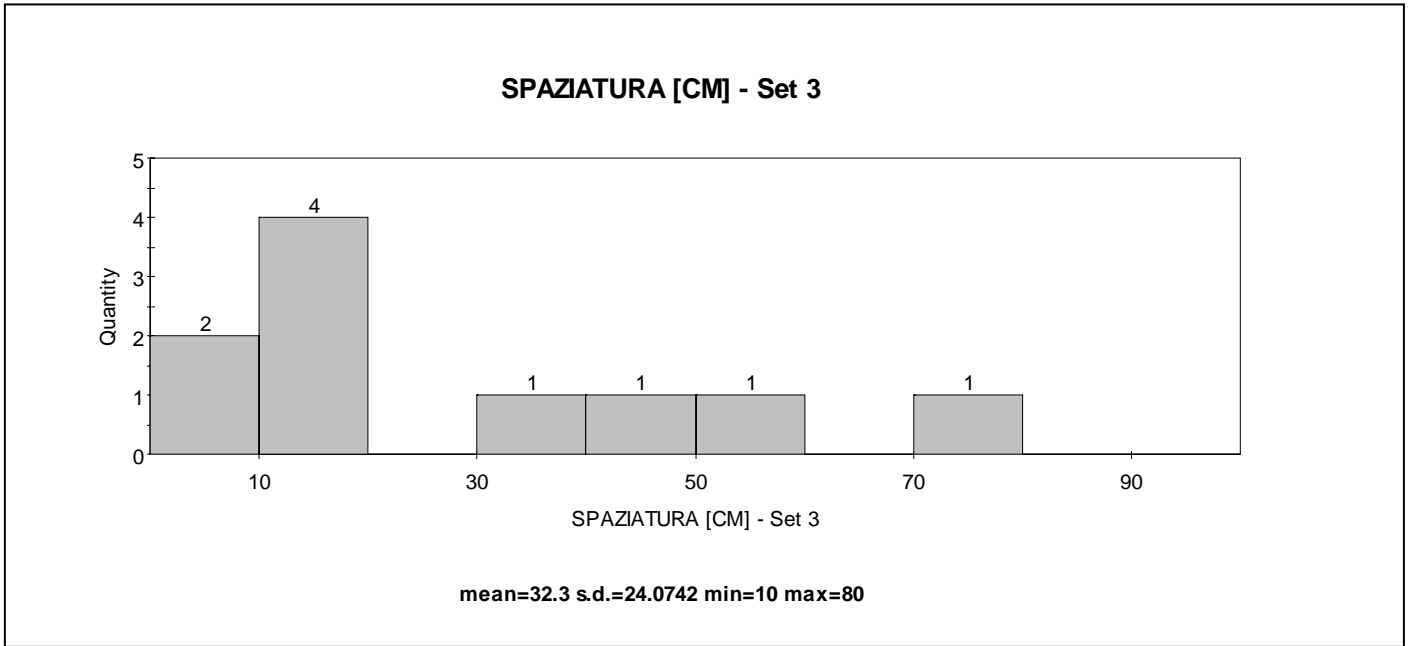


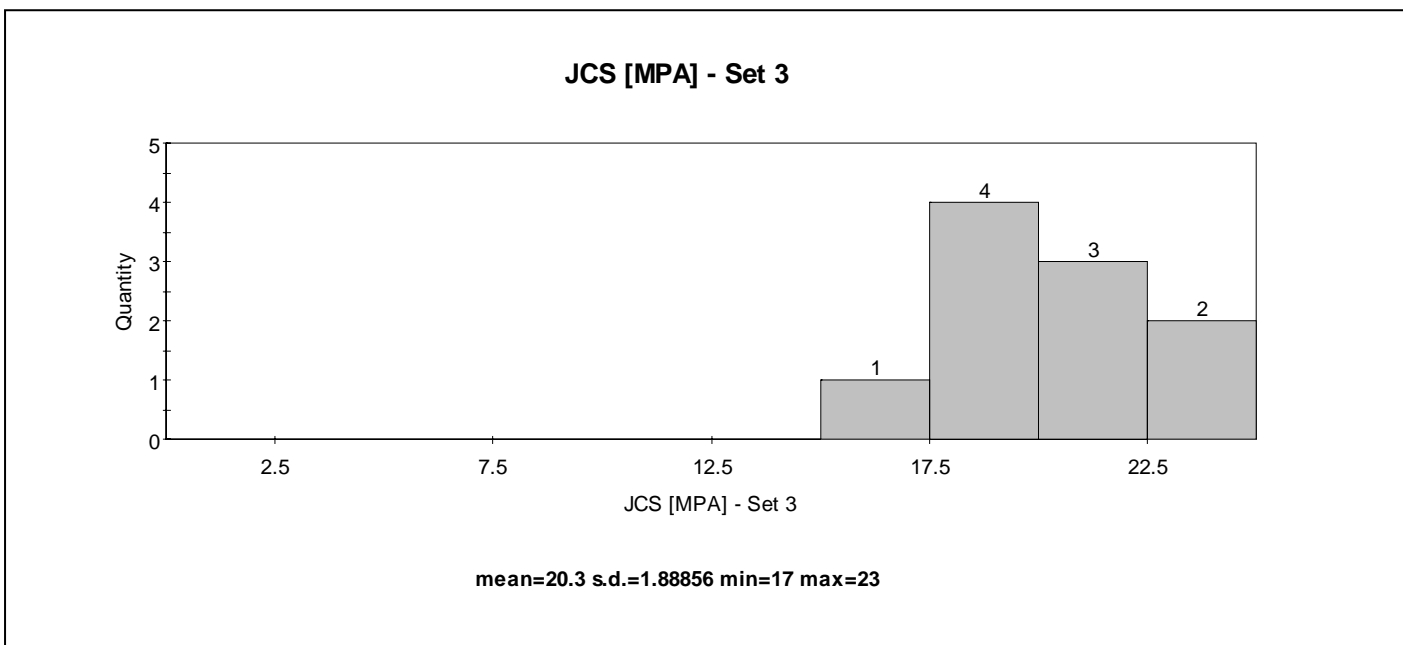
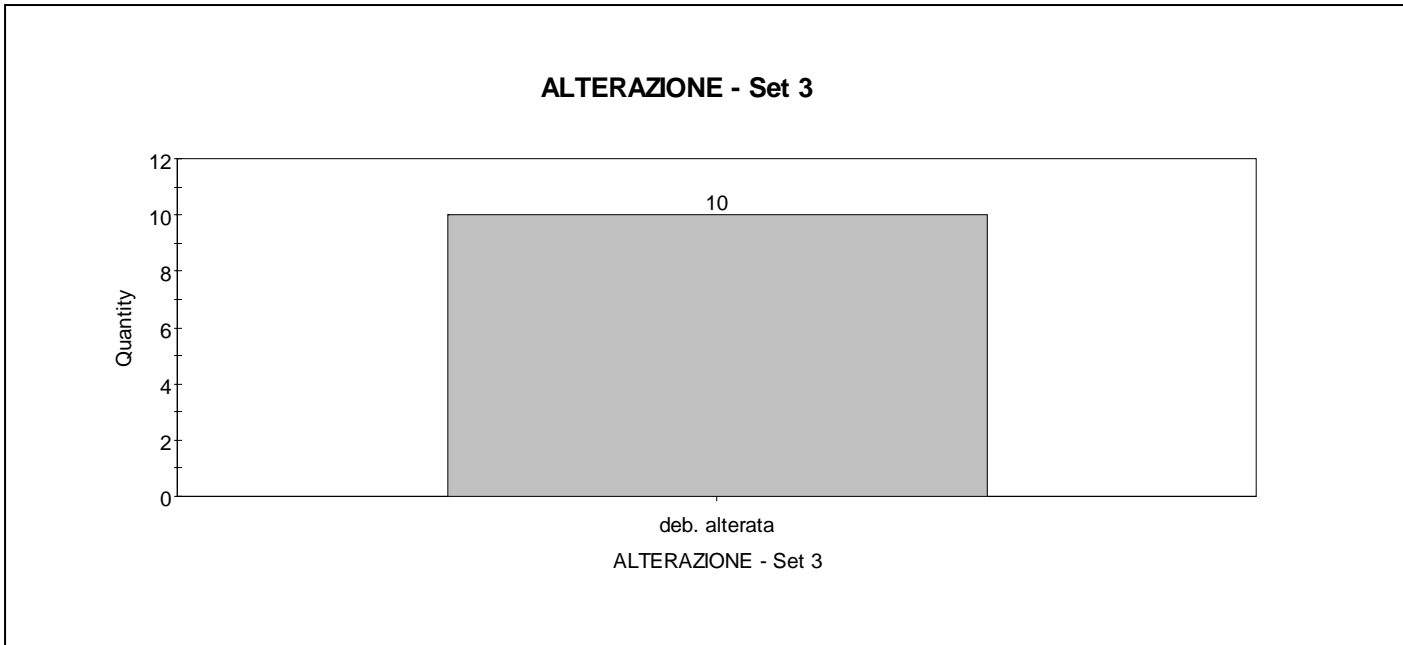
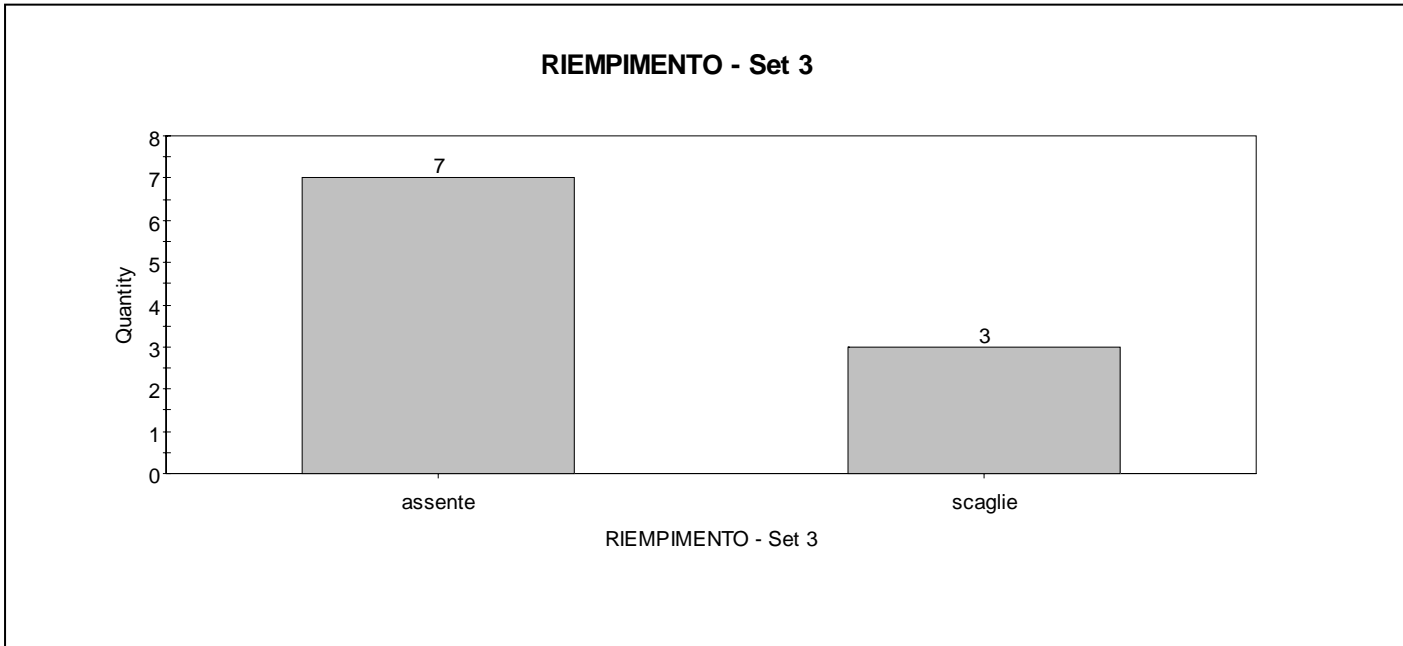


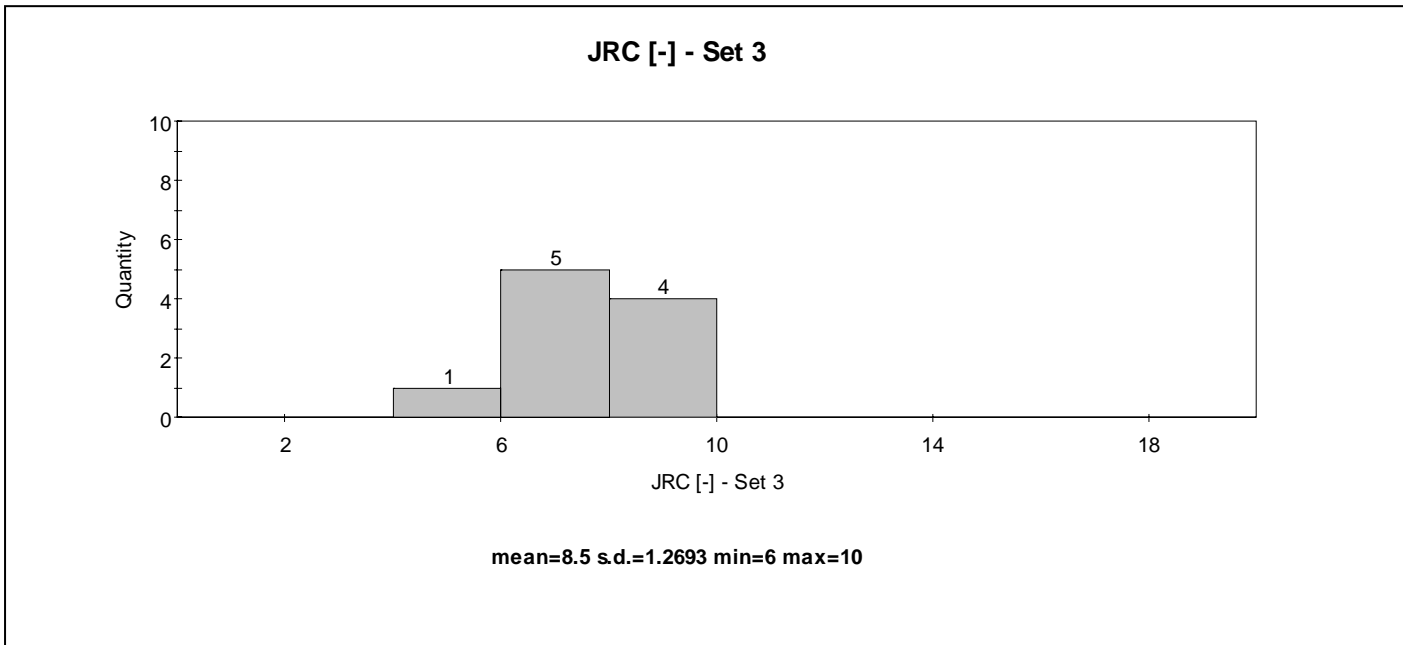
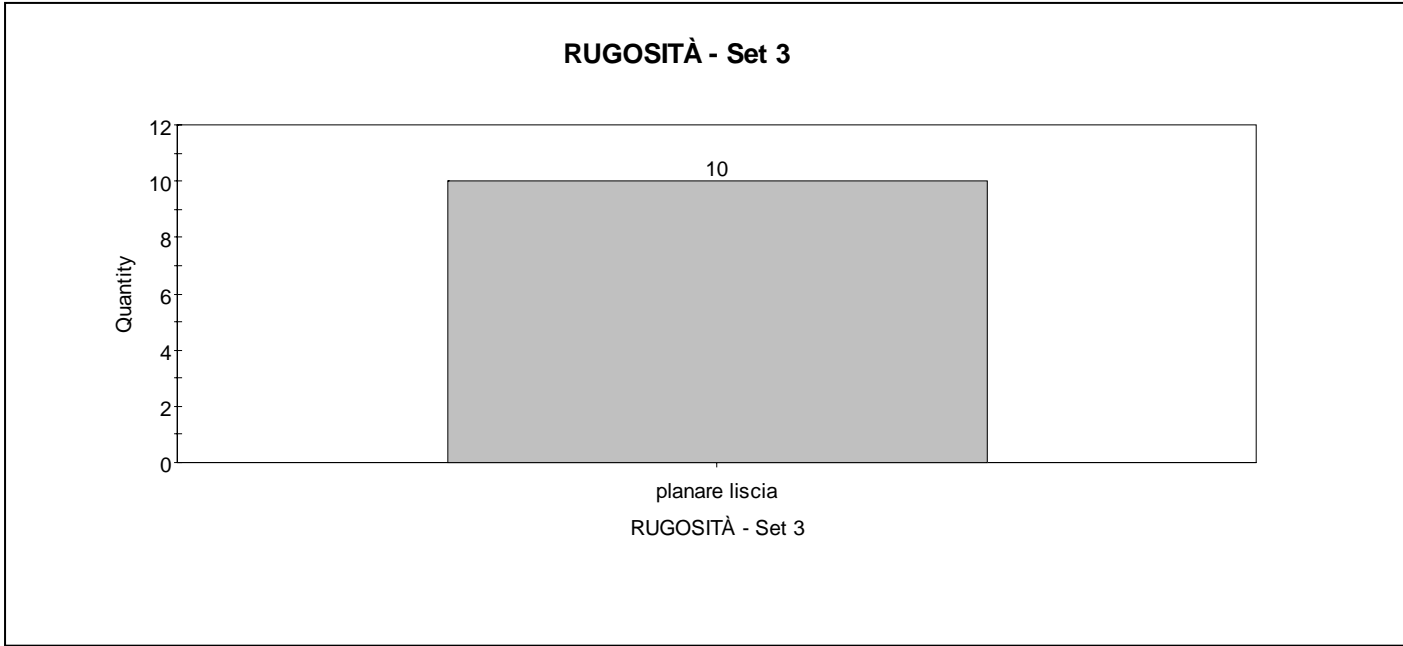


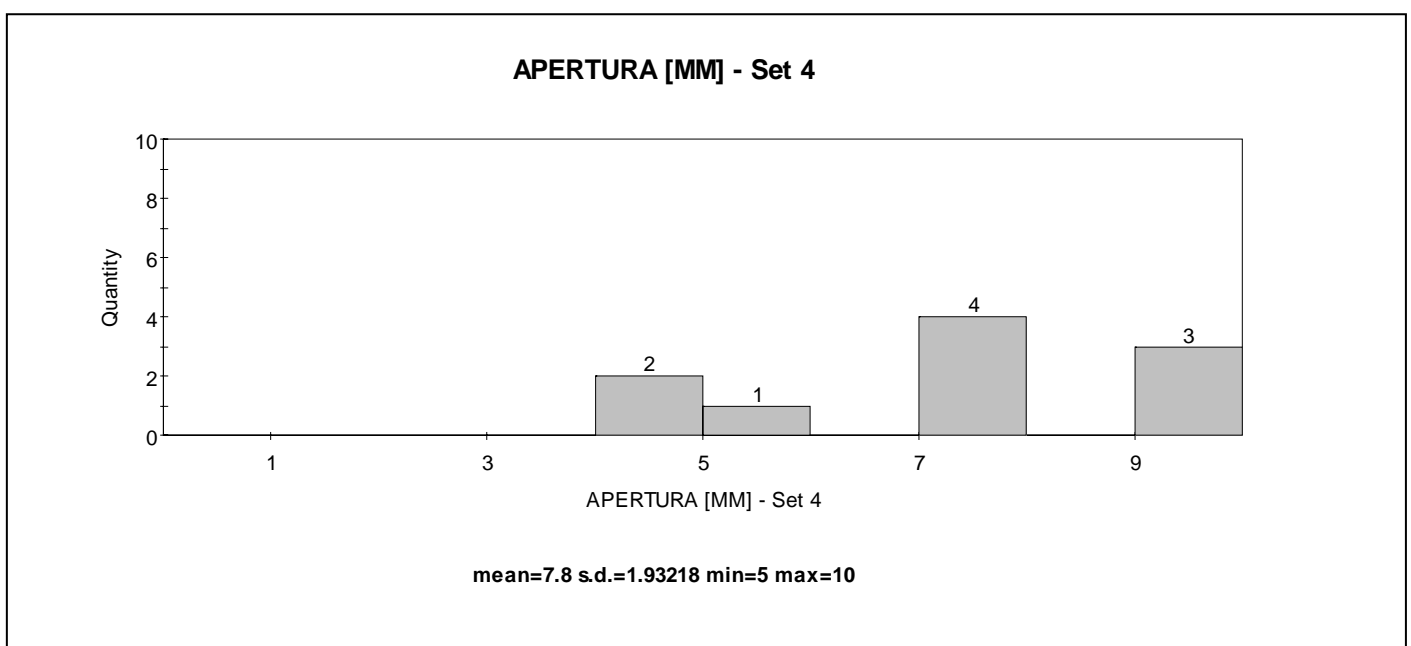
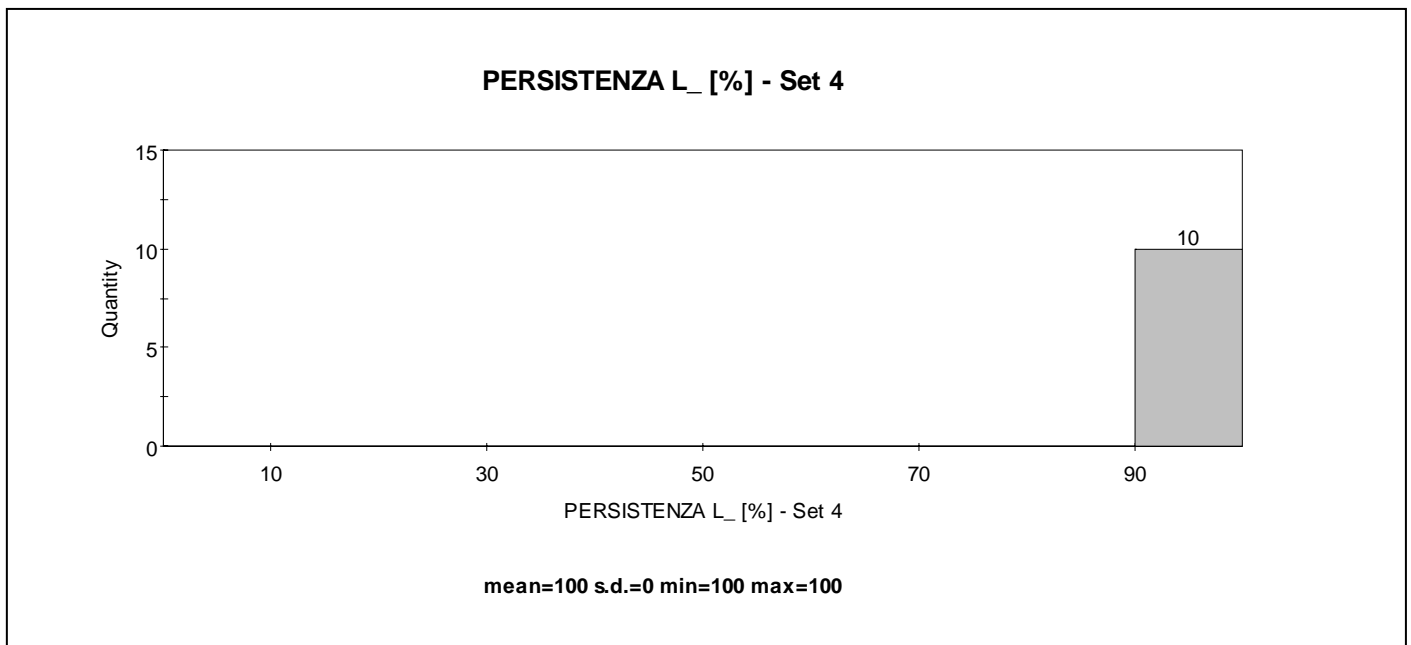
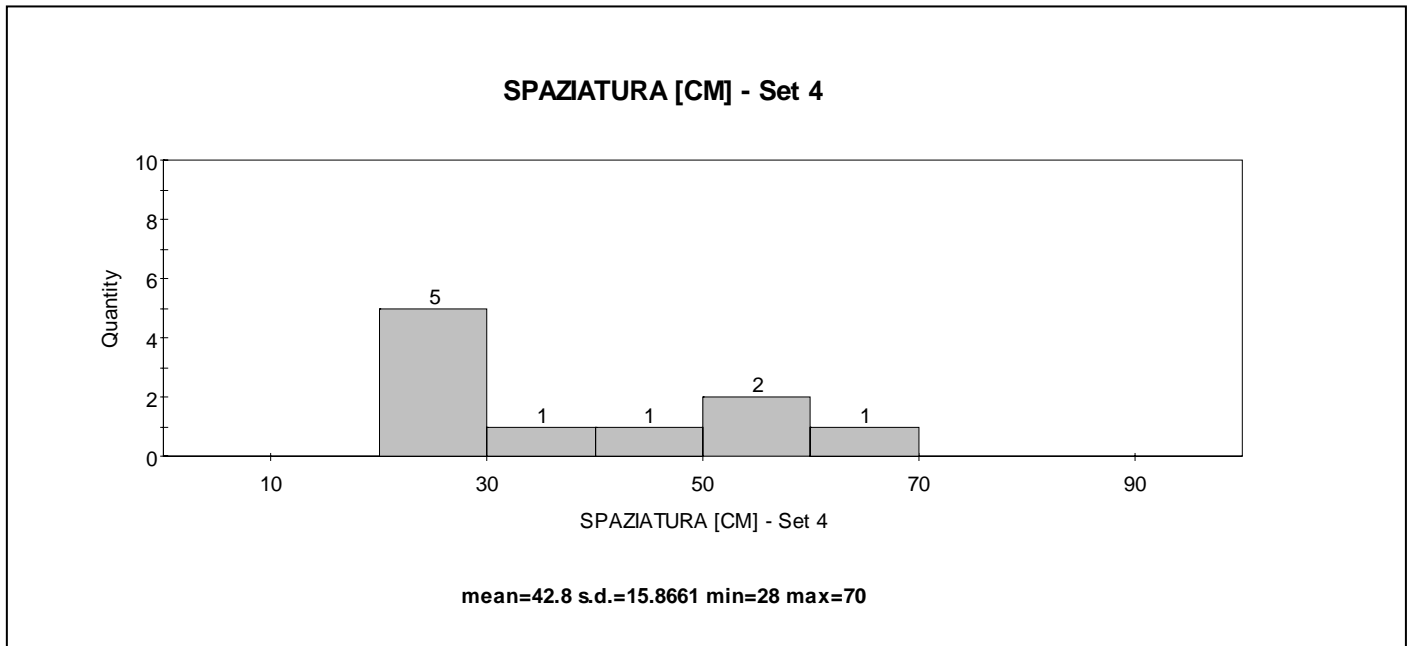


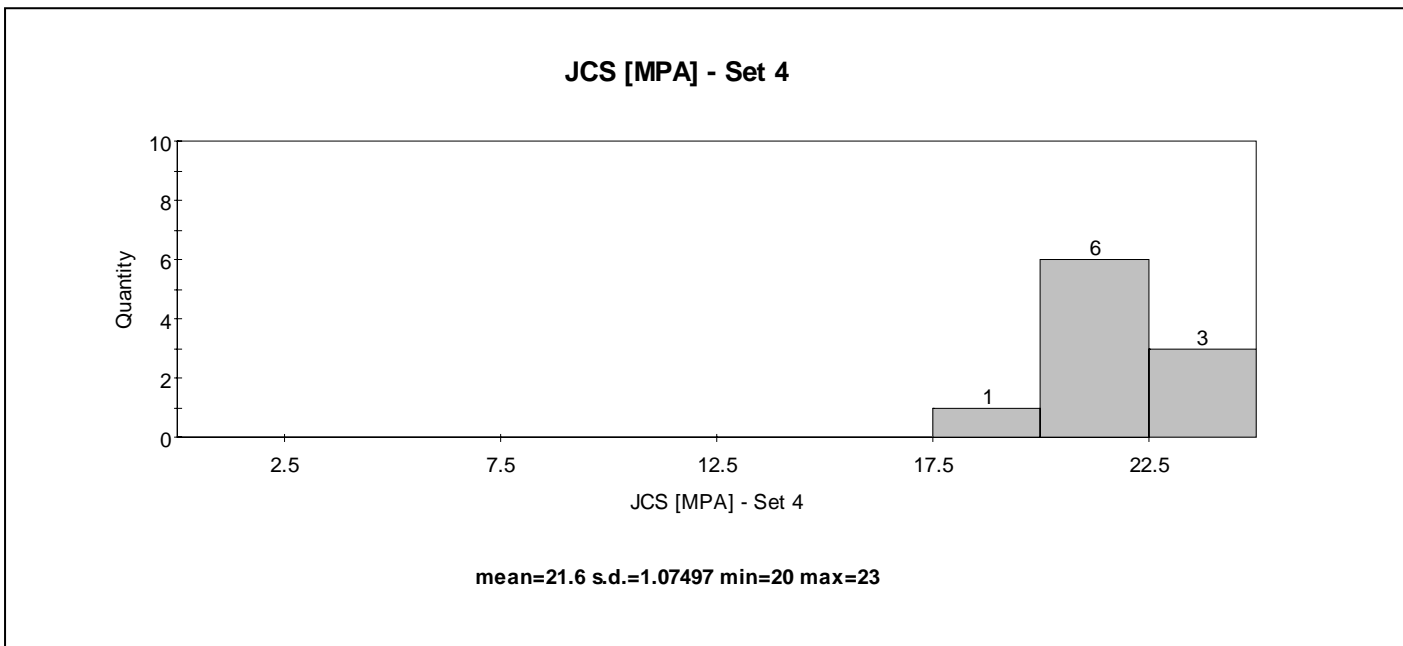
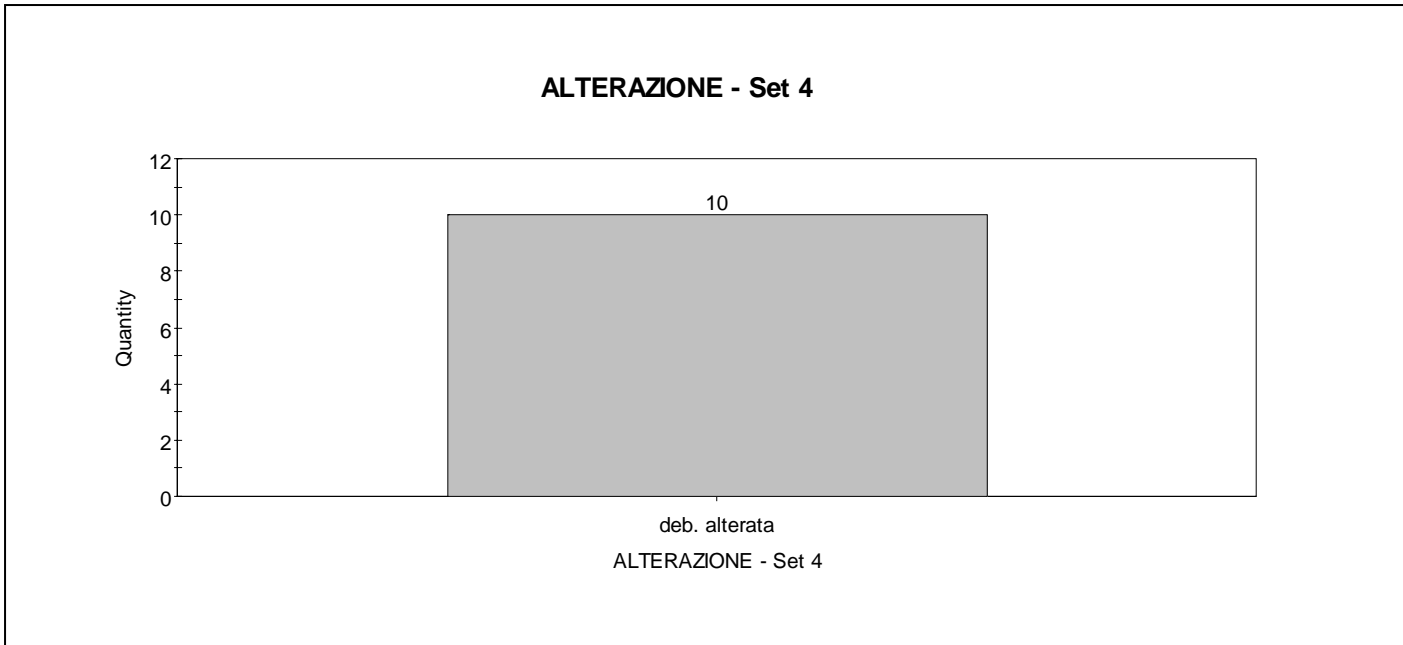
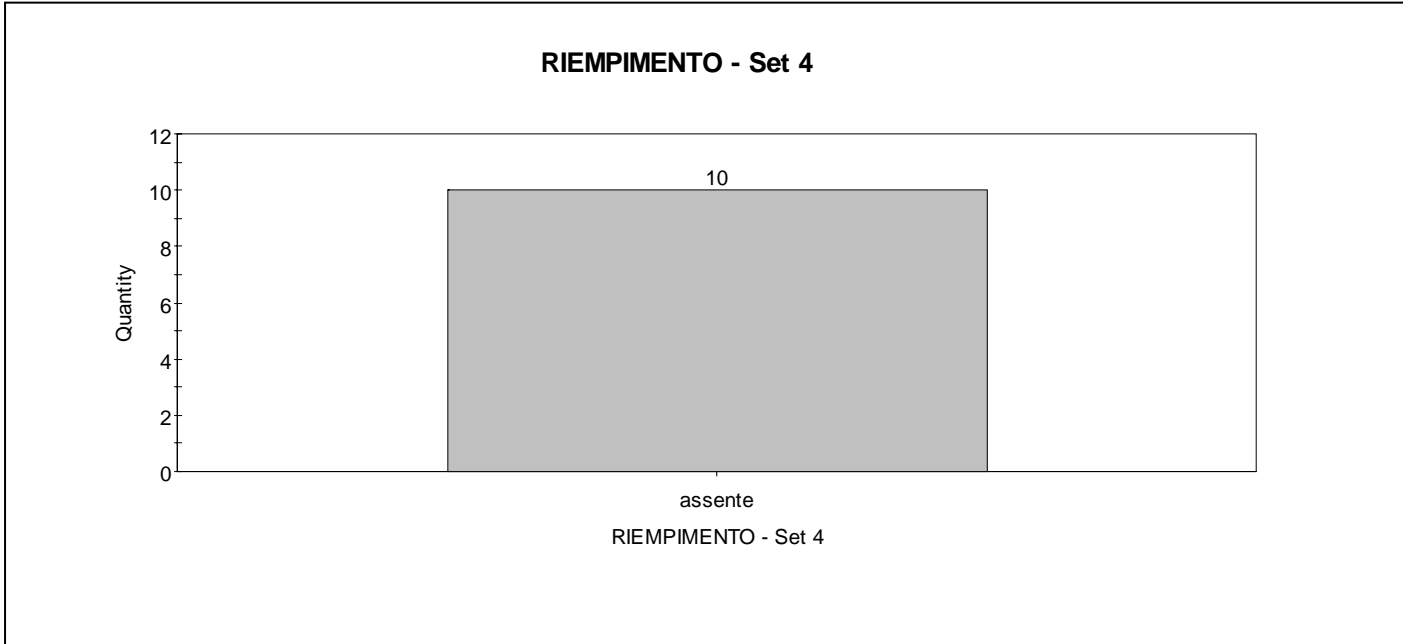


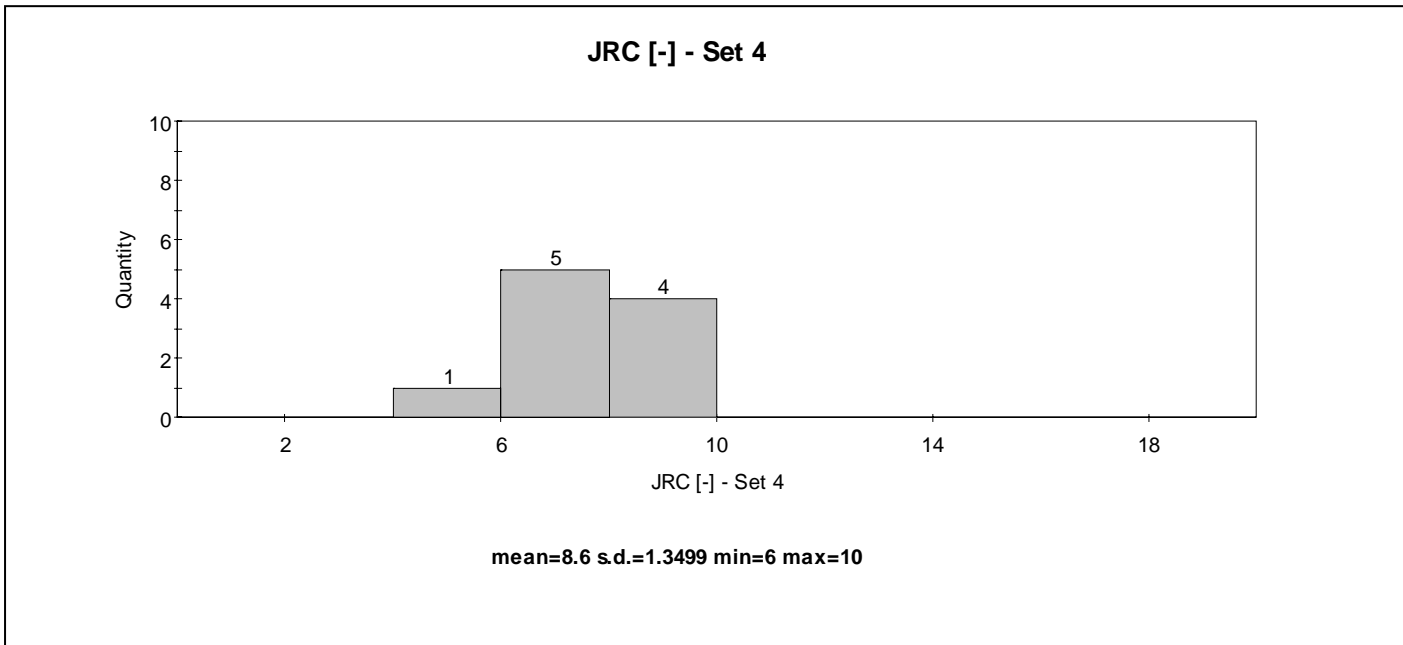
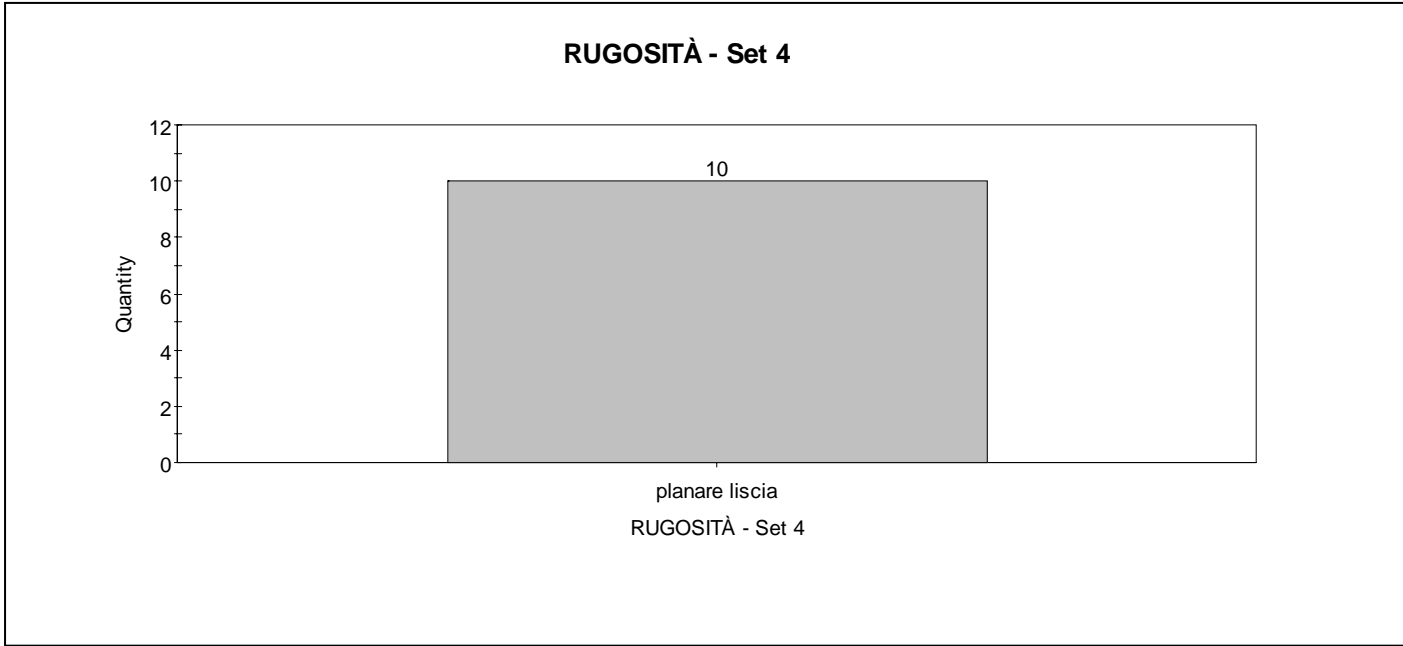












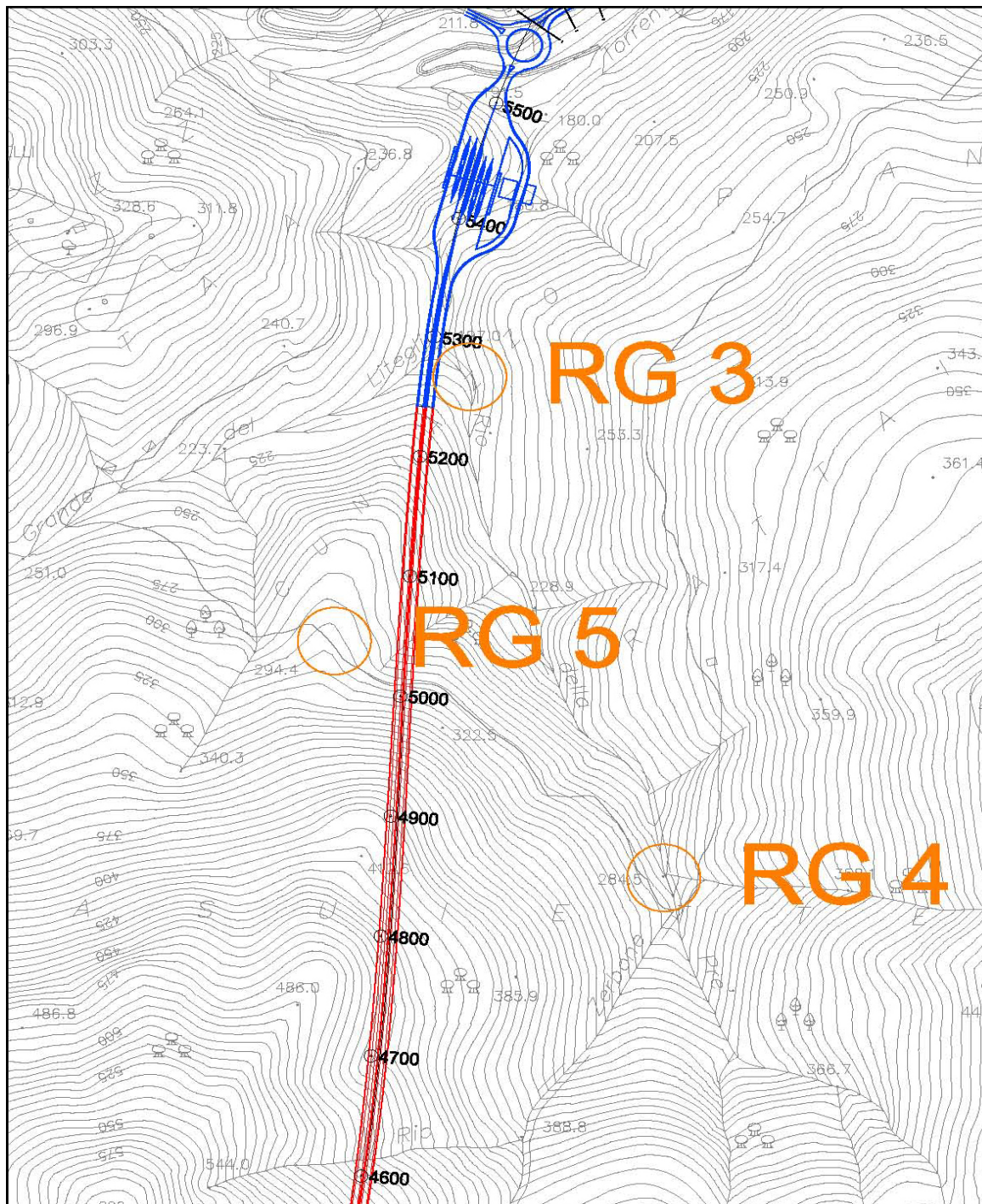


# RILIEVO GEOMECCANICO

Ubicazione area di rilievo

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.			
<b>Commessa</b>	Fontanabuona			
<b>Località</b>	Rio della Prè			
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga	X: 1515921	Y: 4916524	Quota: 285
<b>Data</b>	18/08/11			
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 4			

## Stralcio planimetrico



Scala 1:5.000







**RILIEVO GEOMECCANICO**  
**Rilievi sclerometrici sul materiale roccia**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.					
<b>Commessa</b>	Fontanabuona					
<b>Località</b>	Chignolo					
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga X: 1515921		Y: 4916524		Quota: 285	
<b>Data</b>	19/08/11					
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG4					

n°	litologia A					
	R	$\alpha$	corr.	R'	$\gamma$	$\sigma_{ci}$
	[-]	[°]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]
1	38	-90	0	38	25	70,15
2	35	-90	0	35	25	60,26
3	40	-90	0	40	25	77,62
4	38	-90	0	38	25	70,15
5	35	-90	0	35	25	60,26
6	40	-90	0	40	25	77,62
7	40	-90	0	40	25	77,62
8	32	-90	0	32	25	51,76
9	35	-90	0	35	25	60,26
10	35	-90	0	35	25	60,26
11	38	-90	0	38	25	70,15
12	35	-90	0	35	25	60,26
13	32	-90	0	32	25	51,76
14	35	-90	0	35	25	60,26
15	55	-90	0	55	25	165,96
16	40	-90	0	40	25	77,62
17	35	-90	0	35	25	60,26
18	36	-90	0	36	25	63,39
19	36	-90	0	36	25	63,39
20	38	-90	0	38	25	70,15

**Variabilità statistica**

$\sigma_{ci}$ [MPa]	
<b>media</b>	<b>dev. st.</b>
<b>70,46</b>	<b>23,90</b>

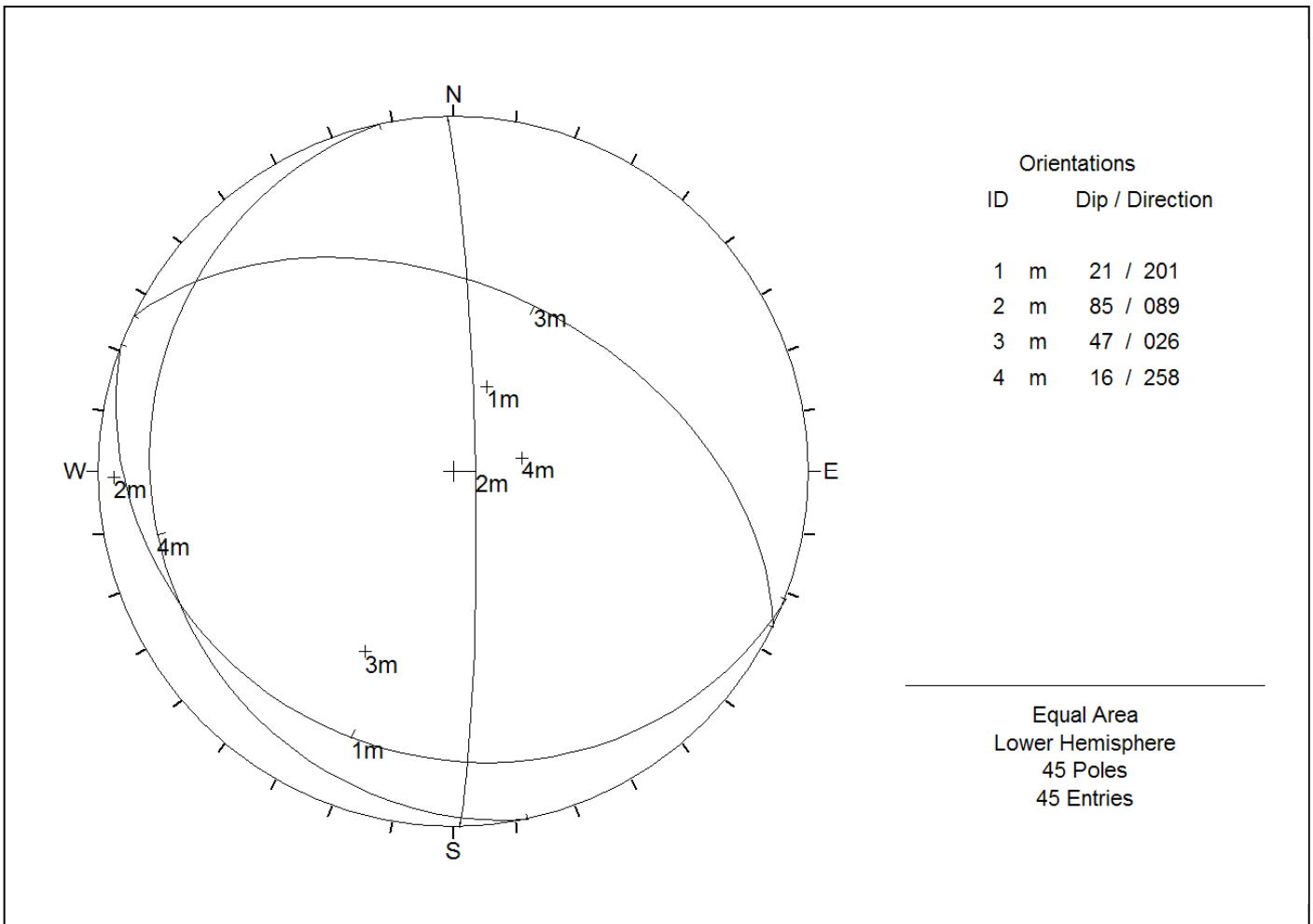
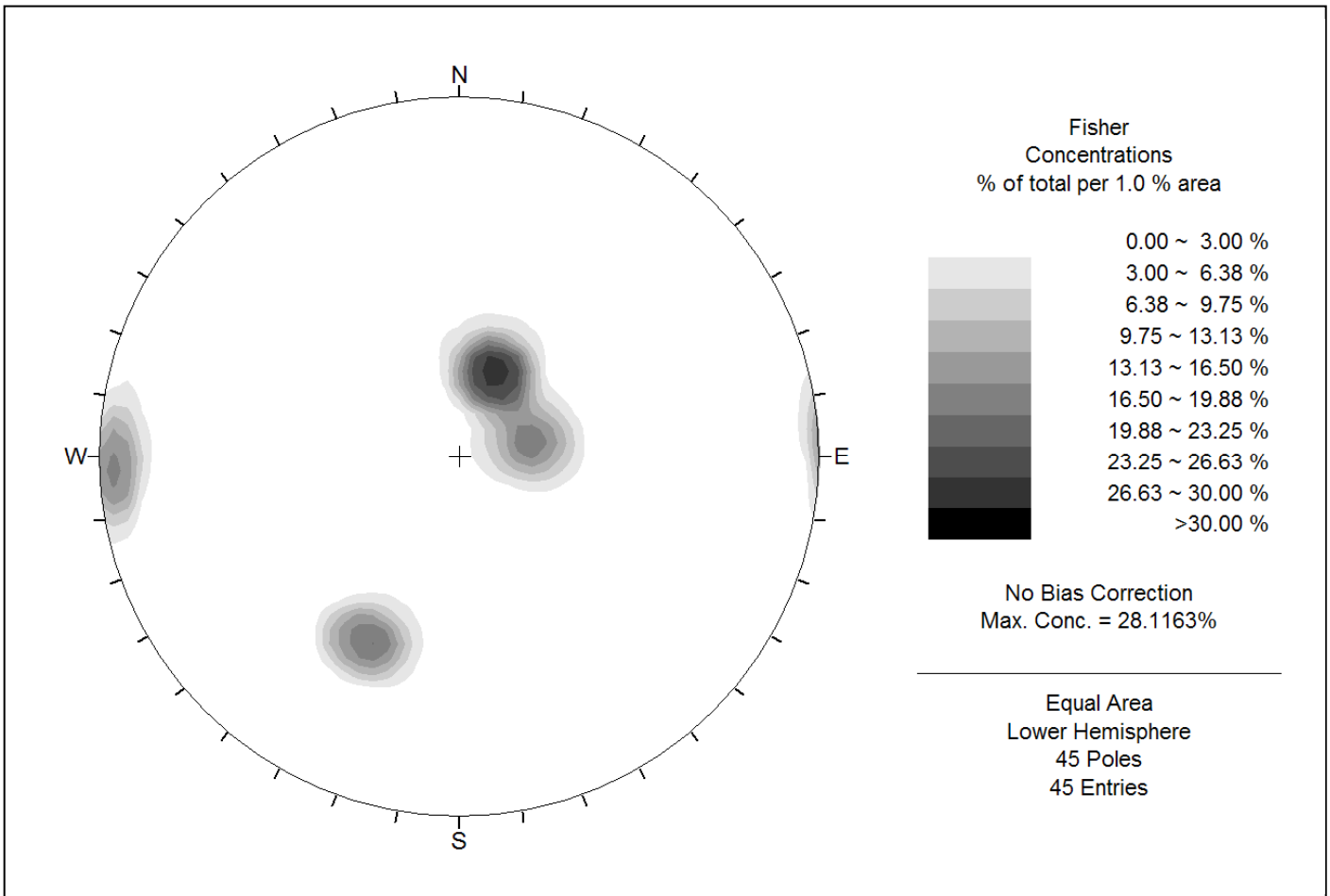
mediana	percentili	
	5°	95°
<b>63,39</b>	<b>51,76</b>	<b>82,04</b>

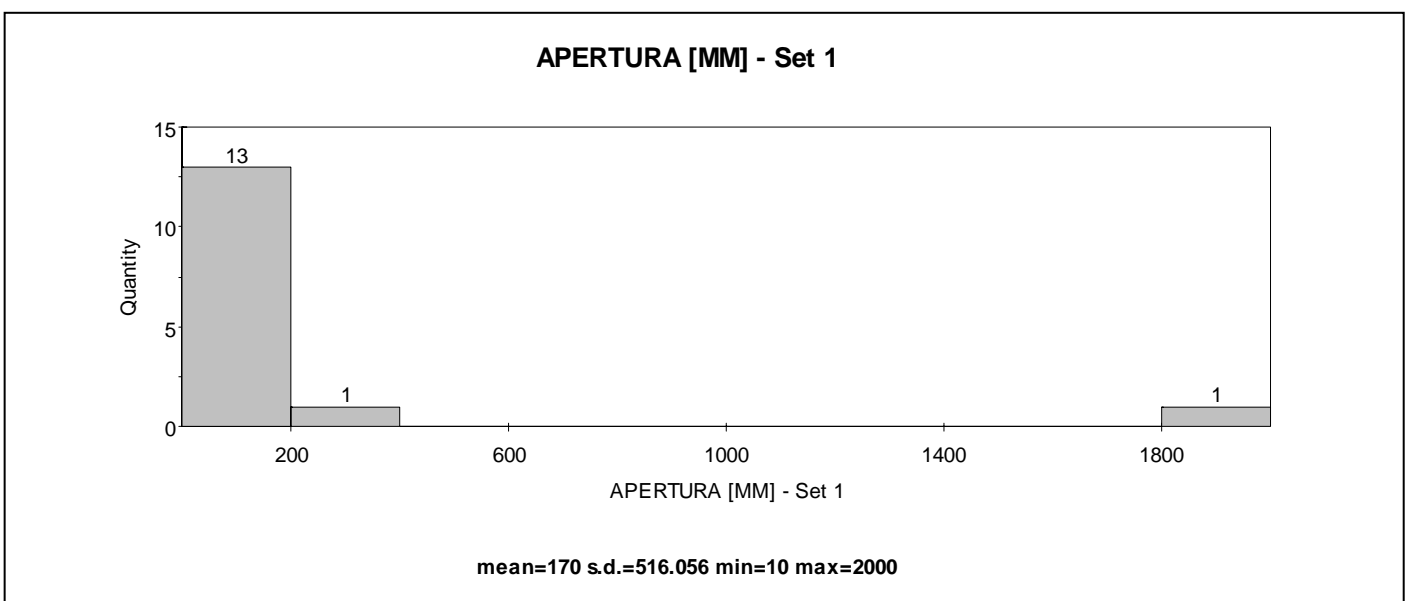
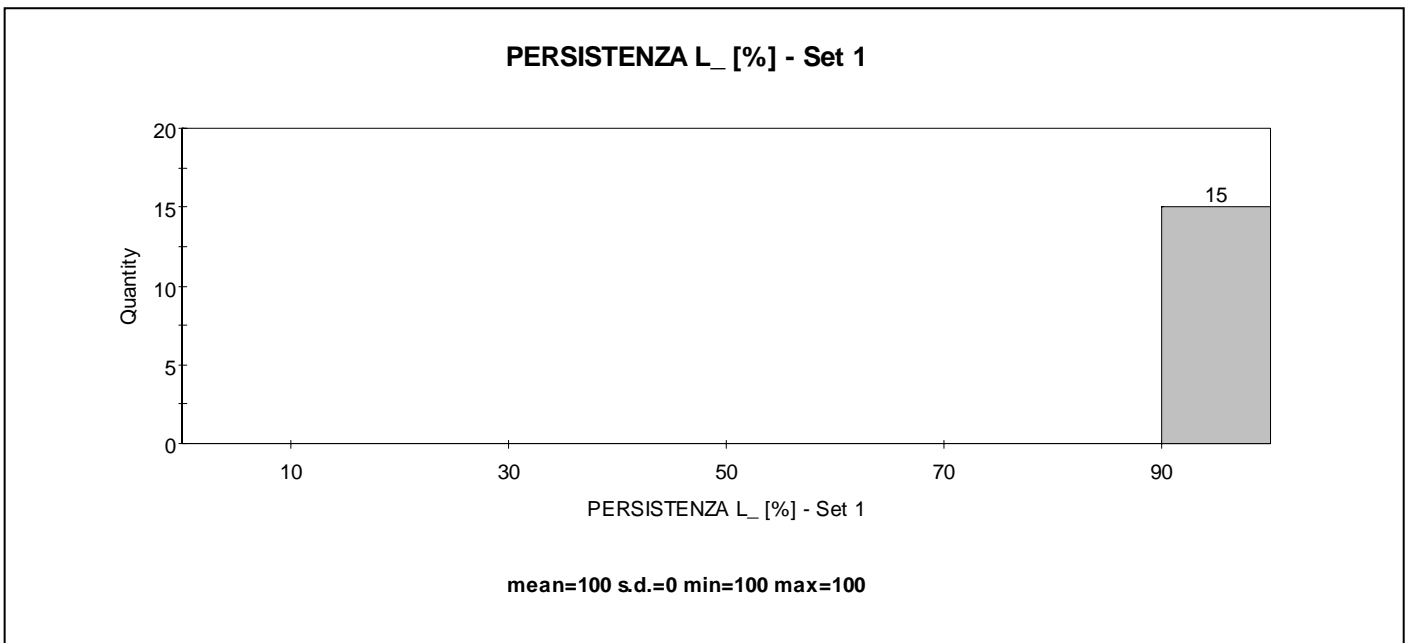
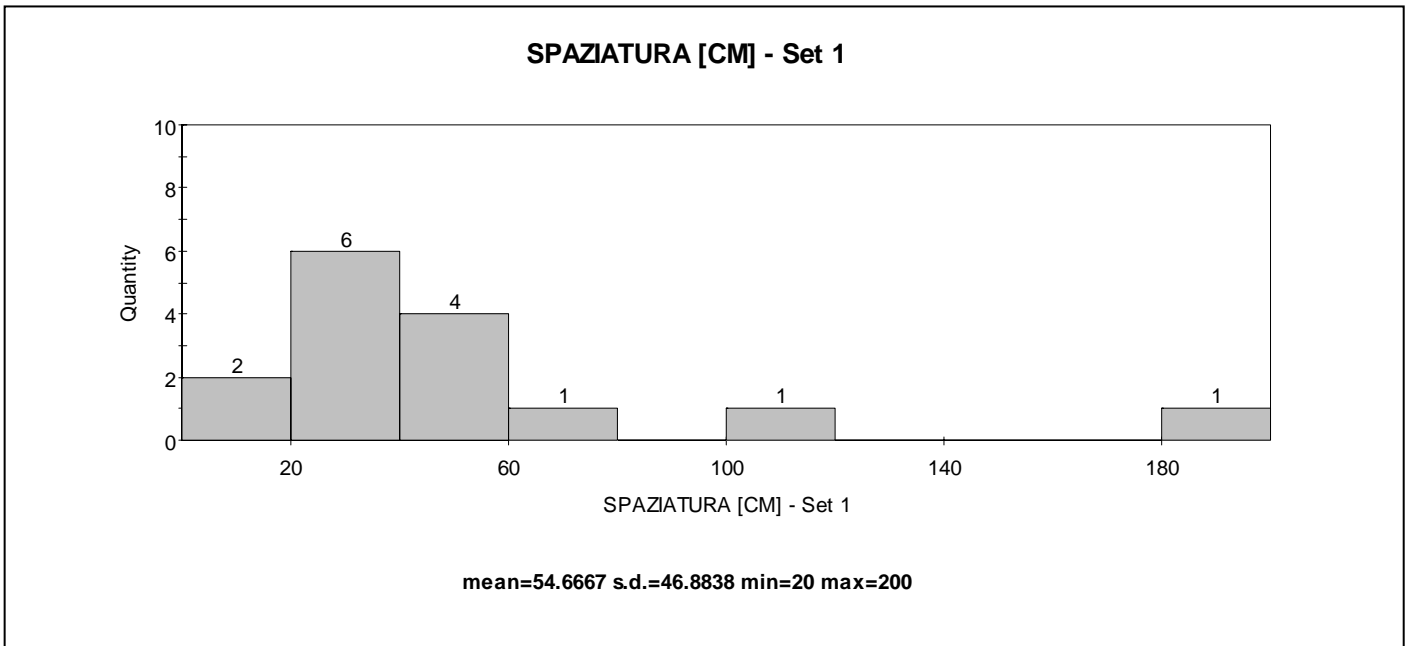
n°	litologia B					
	R	$\alpha$	corr.	R'	$\gamma$	$\sigma_{ci}$
	[-]	[°]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

**Variabilità statistica**

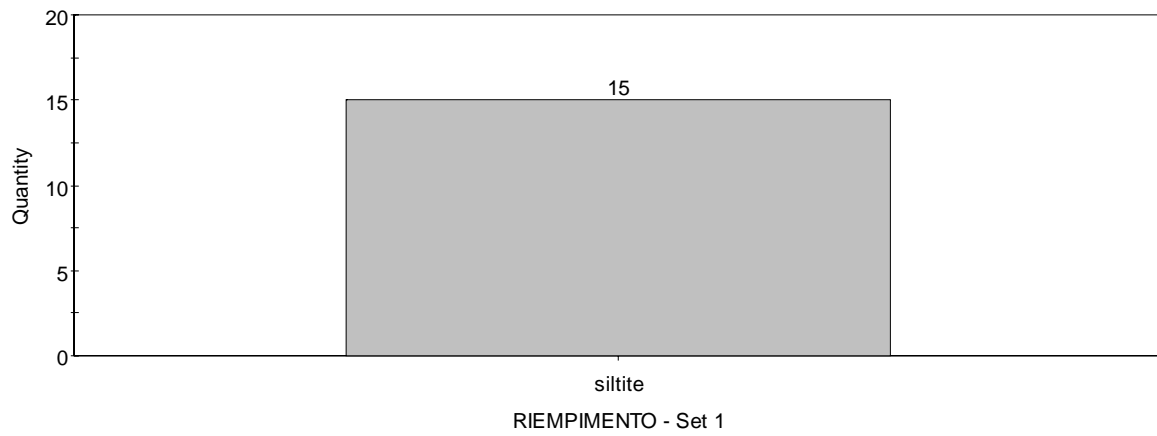
$\sigma_{ci}$ [MPa]	
<b>media</b>	<b>dev. st.</b>
<b>-</b>	<b>-</b>

mediana	percentili	
	5°	95°
<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

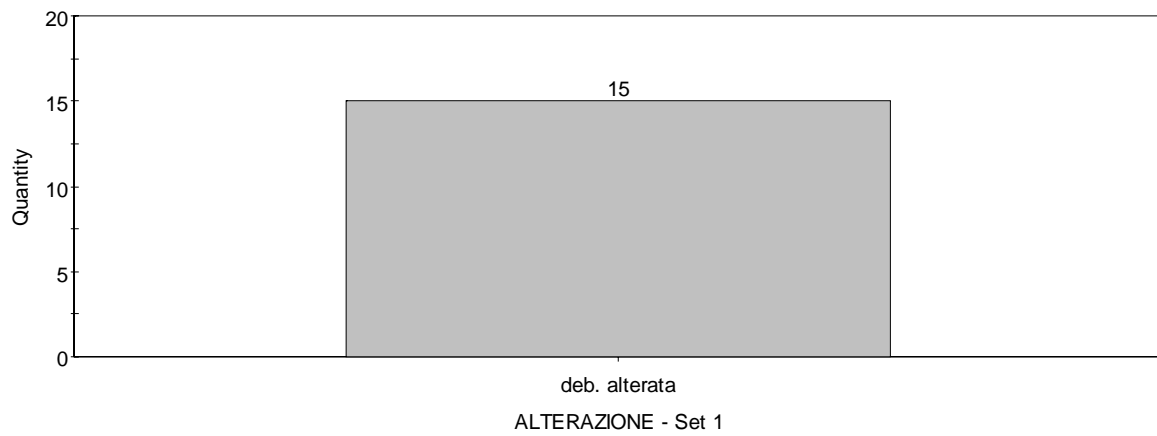




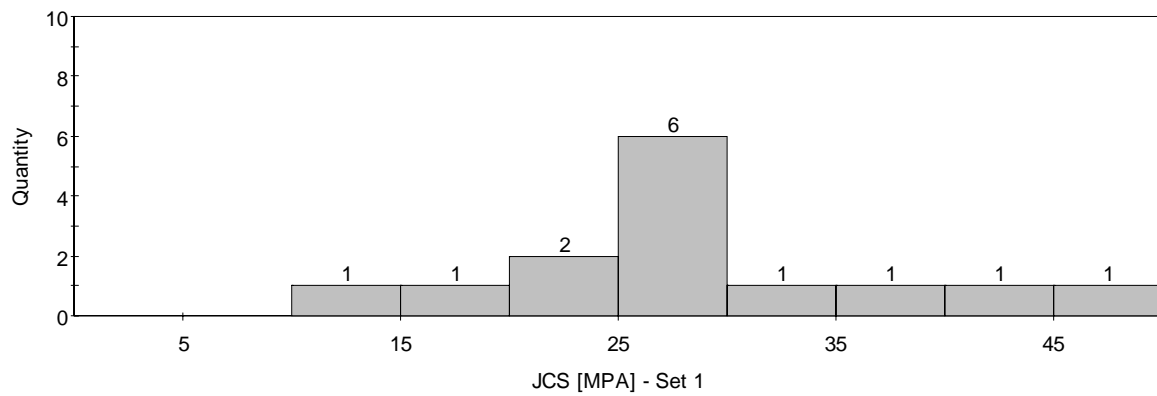
**RIEMPIMENTO - Set 1**



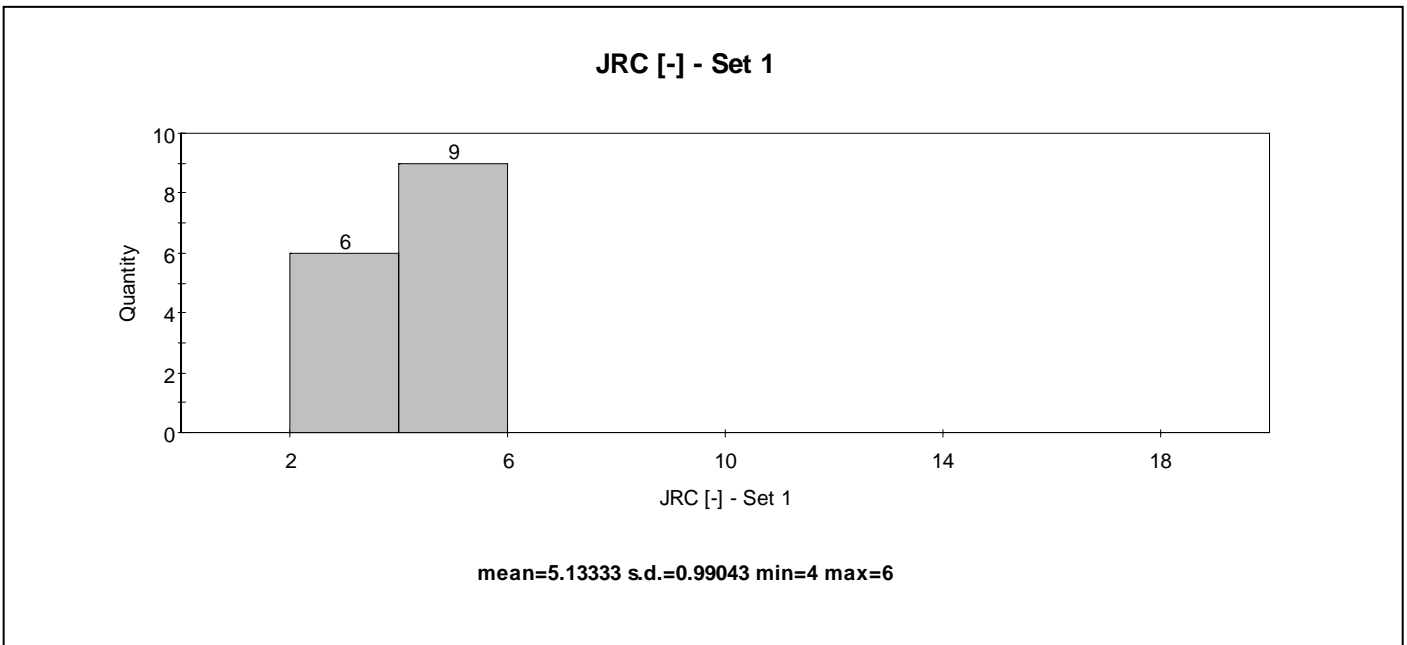
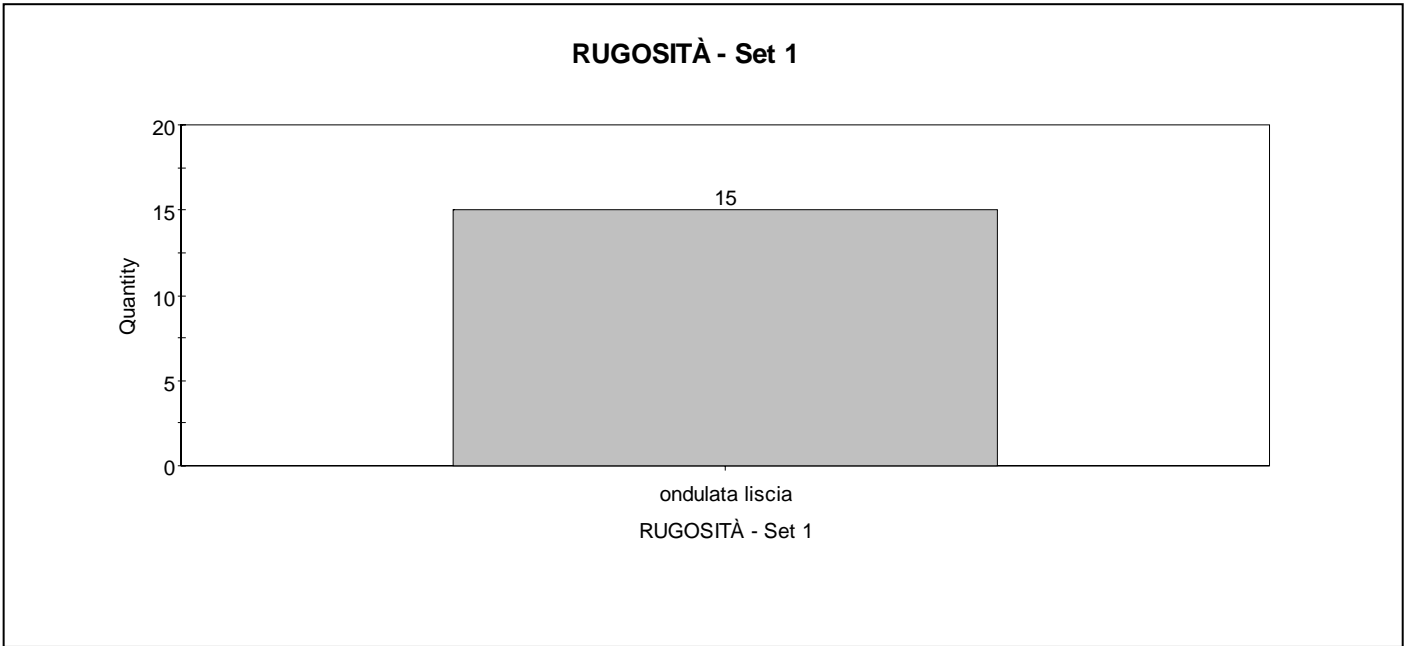
**ALTERAZIONE - Set 1**



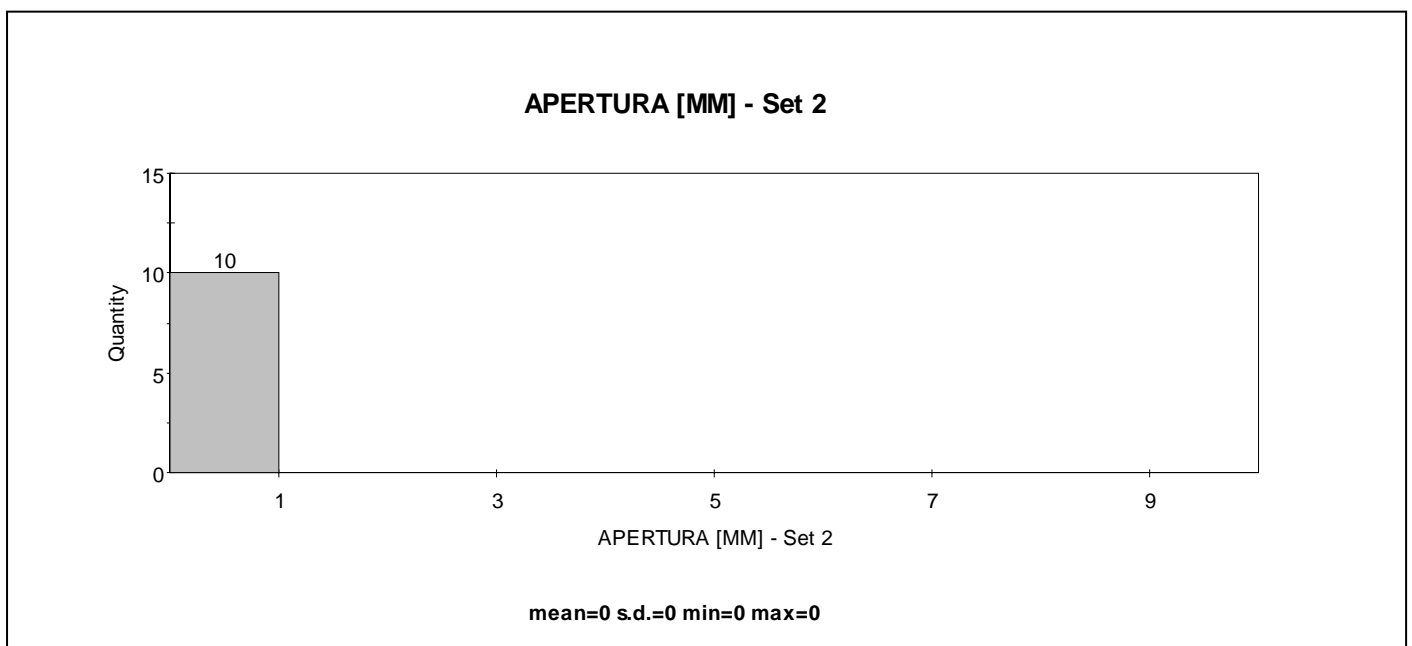
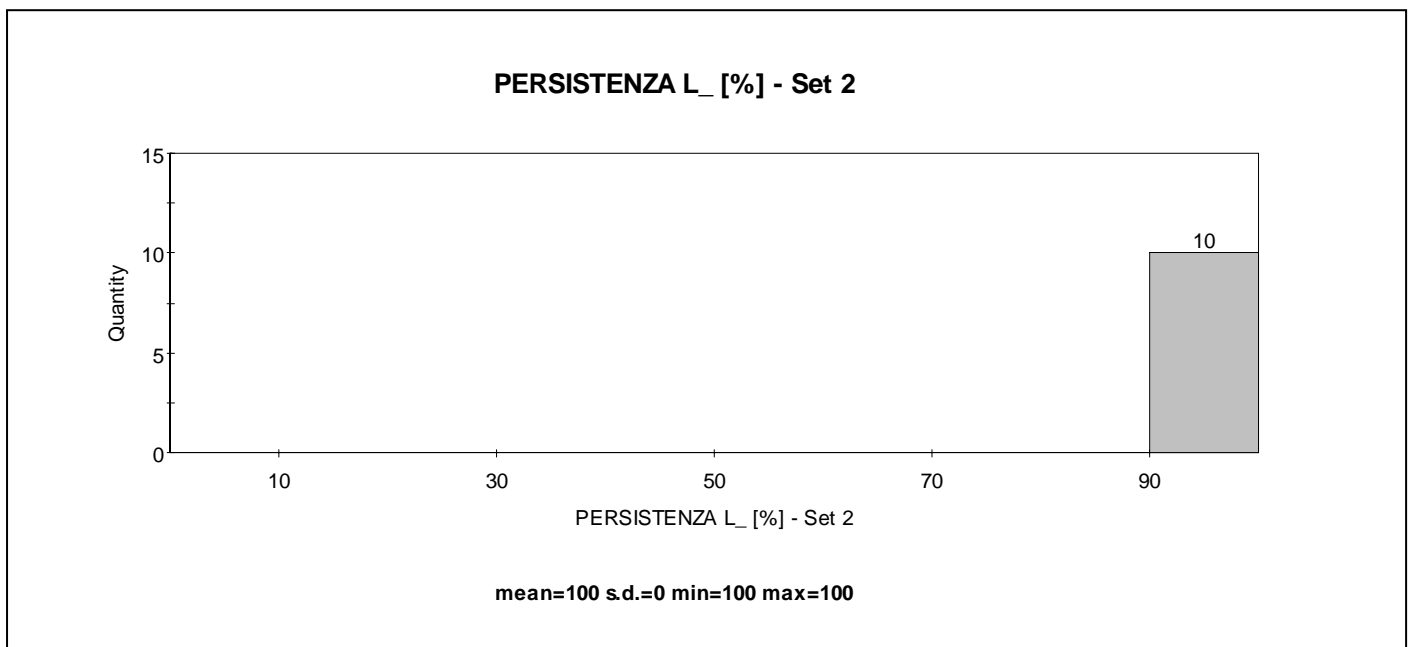
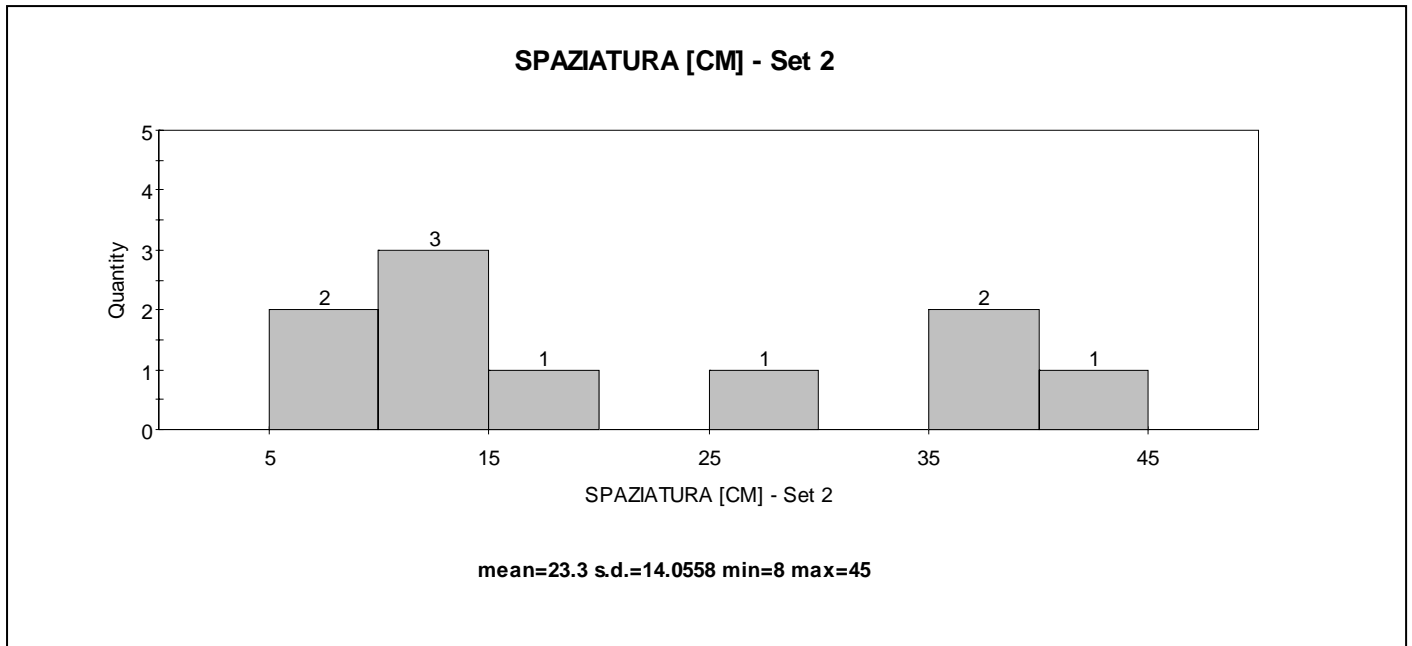
**JCS [MPa] - Set 1**



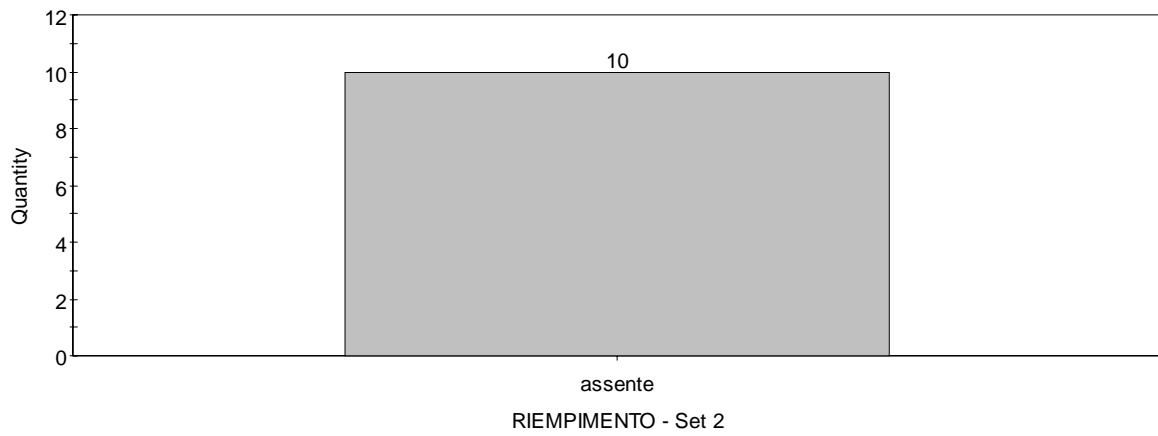
mean=29.8667 s.d.=10.155 min=15 max=51



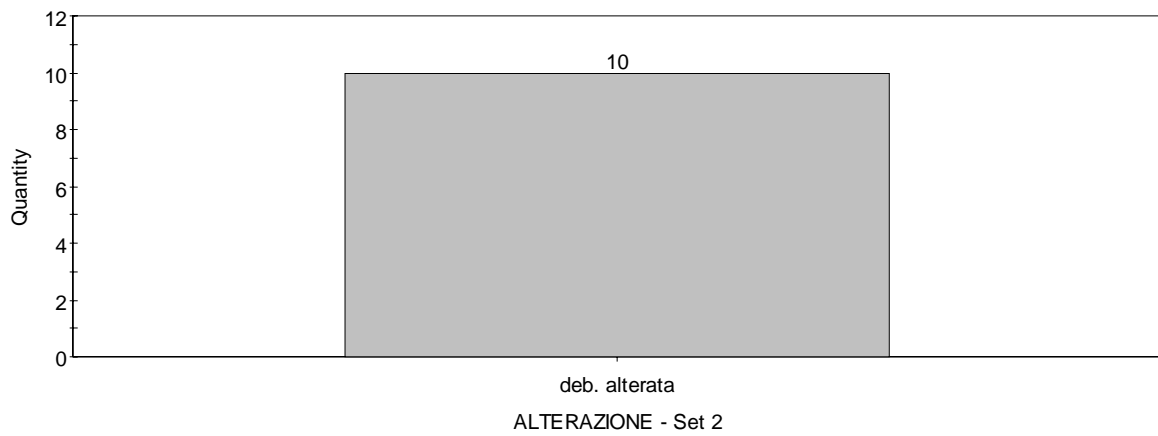




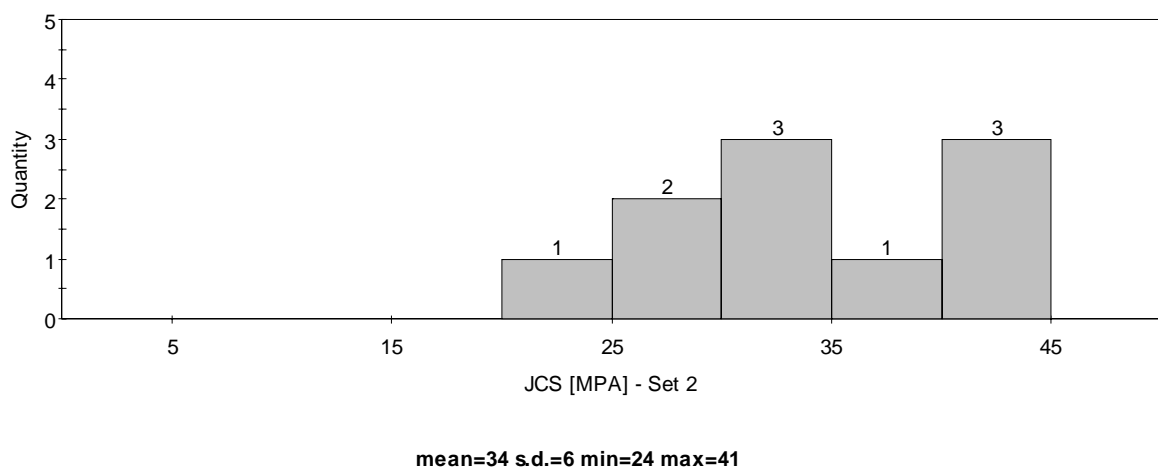
**RIEMPIMENTO - Set 2**



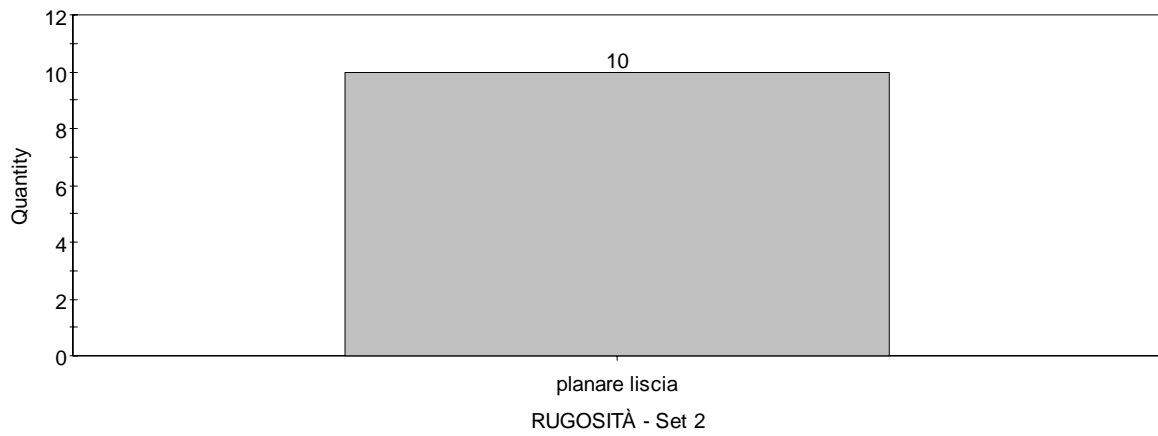
**ALTERAZIONE - Set 2**



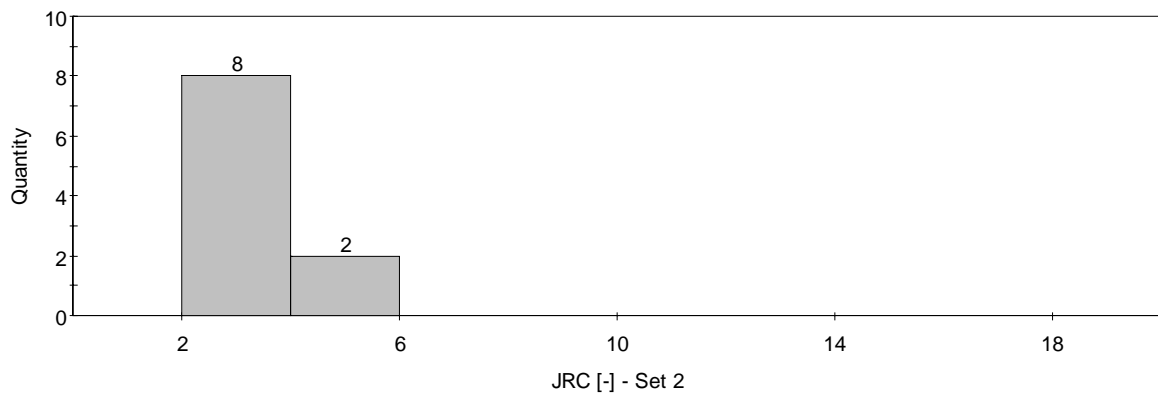
**JCS [MPA] - Set 2**



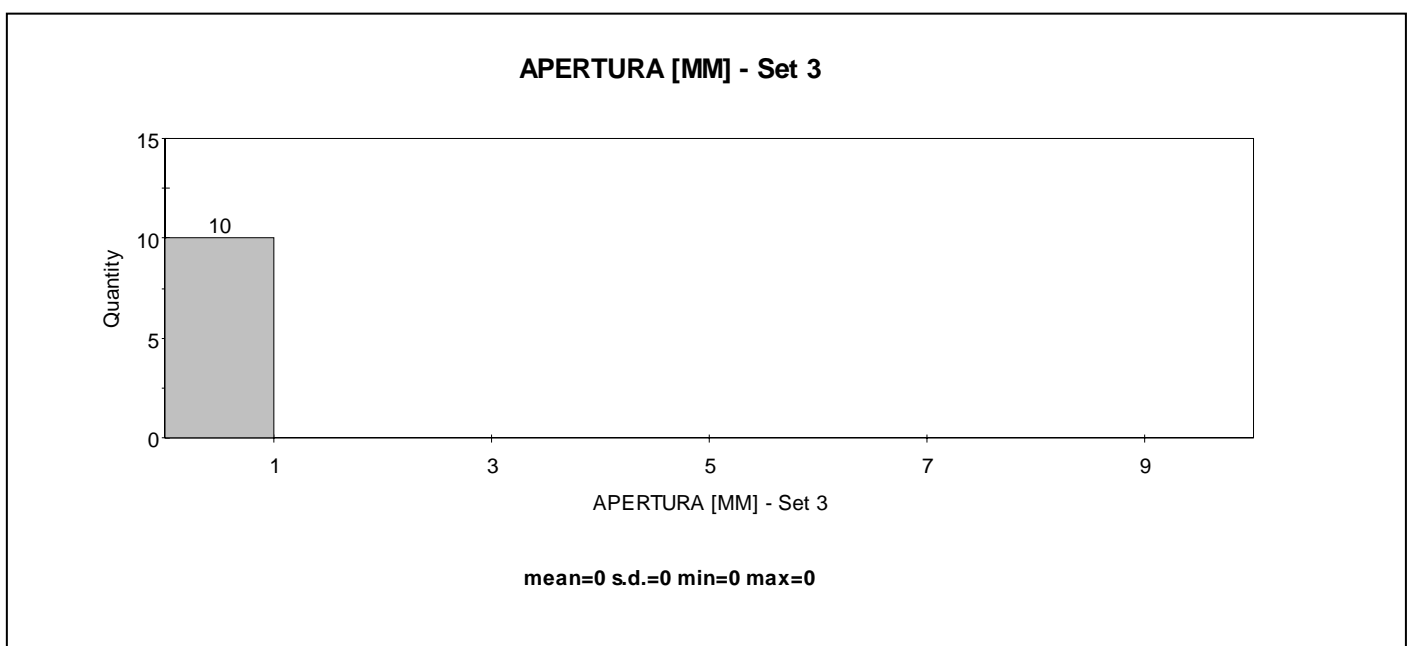
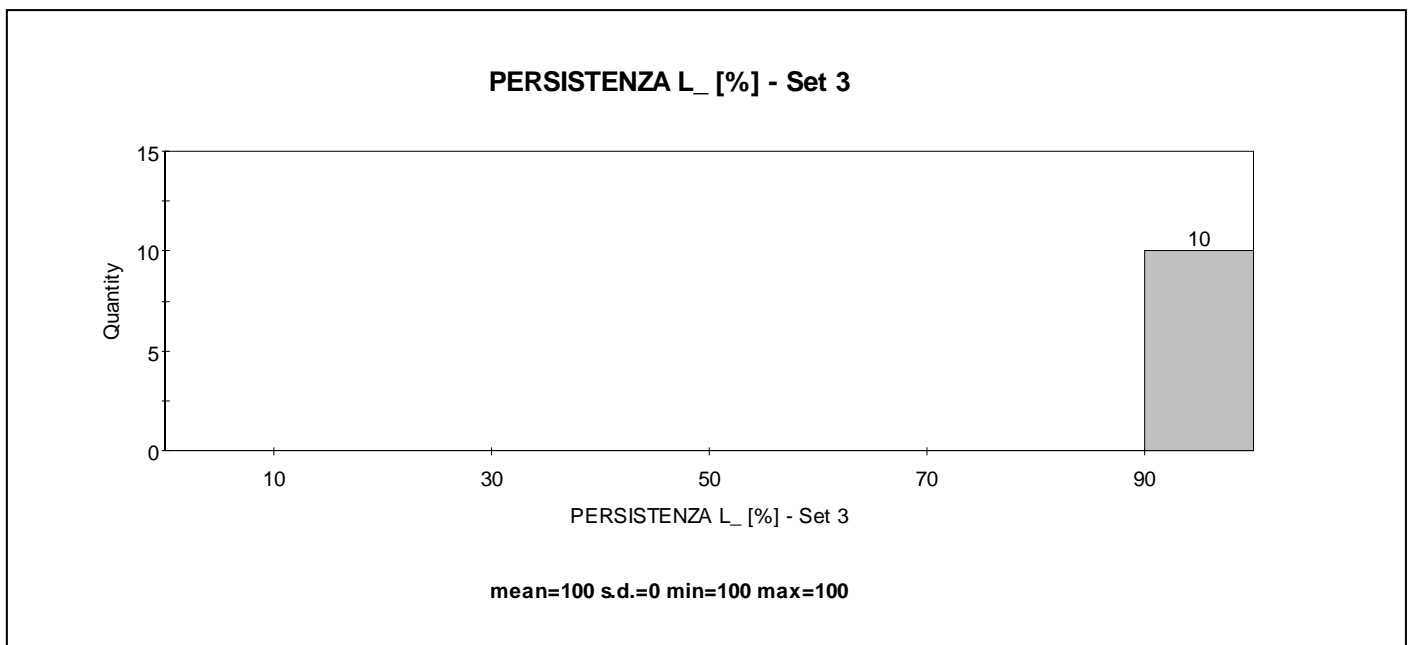
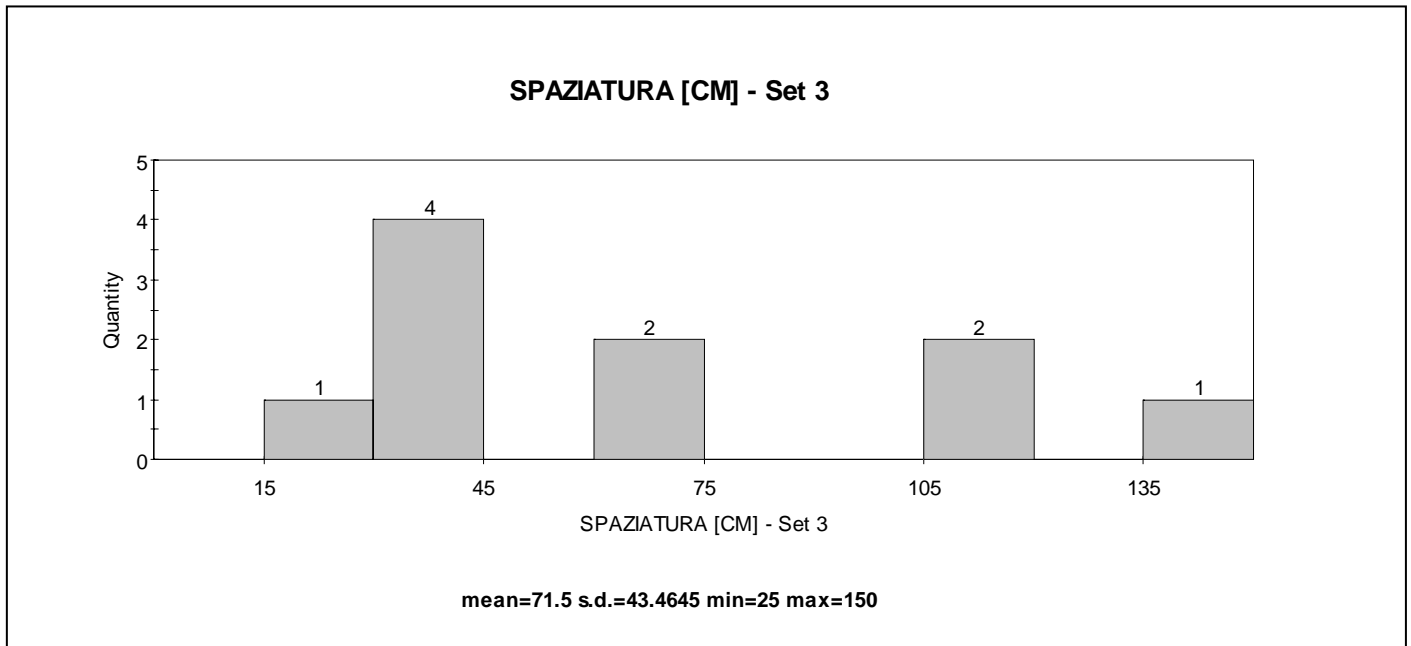
**RUGOSITÀ - Set 2**

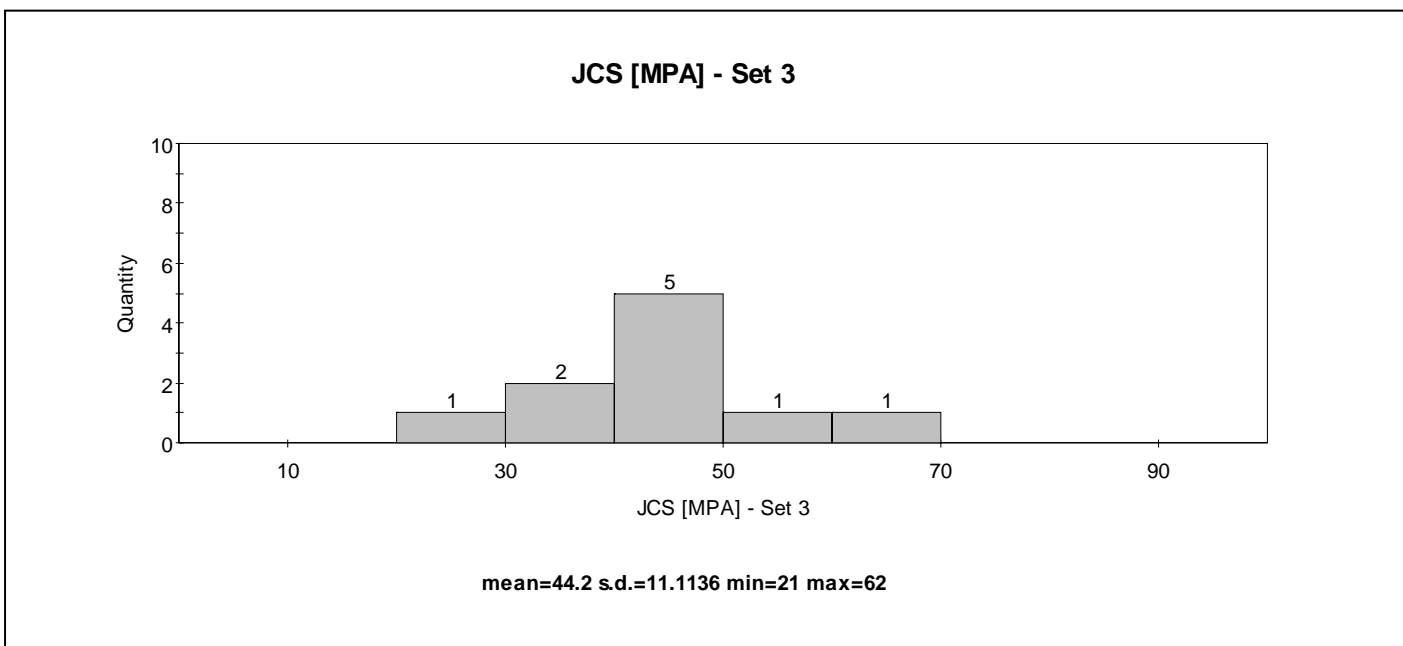
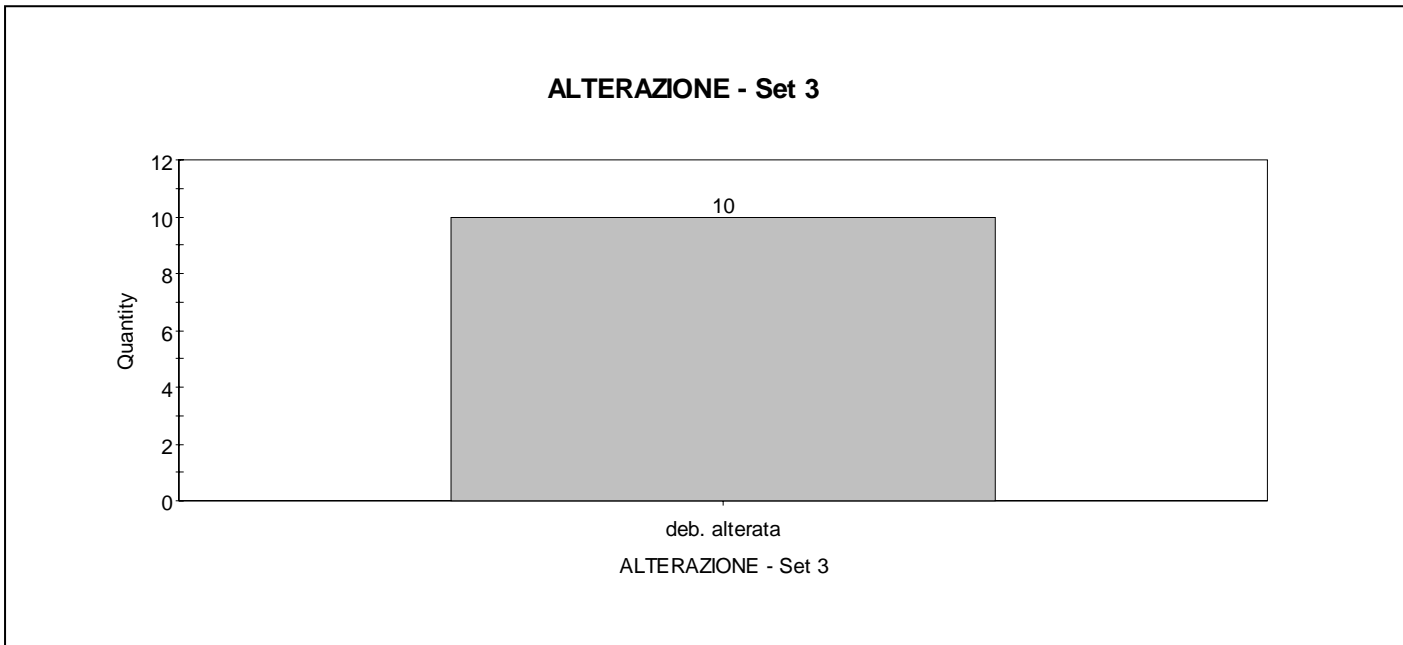
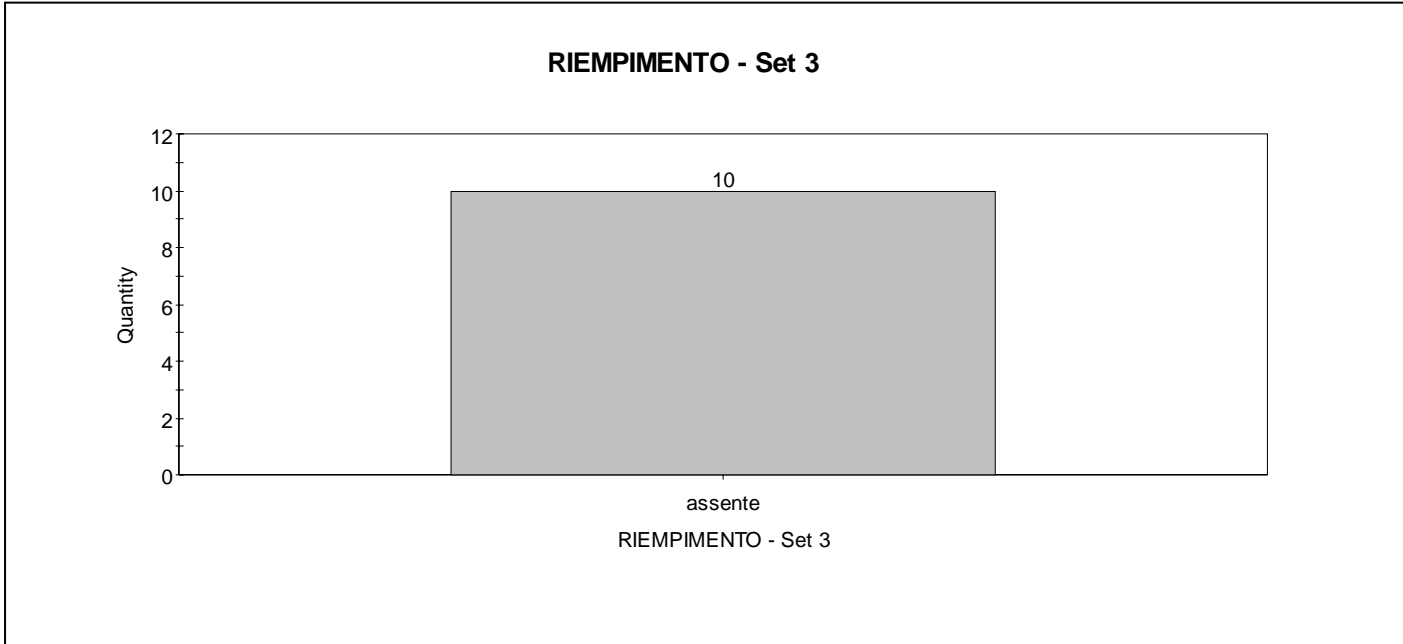


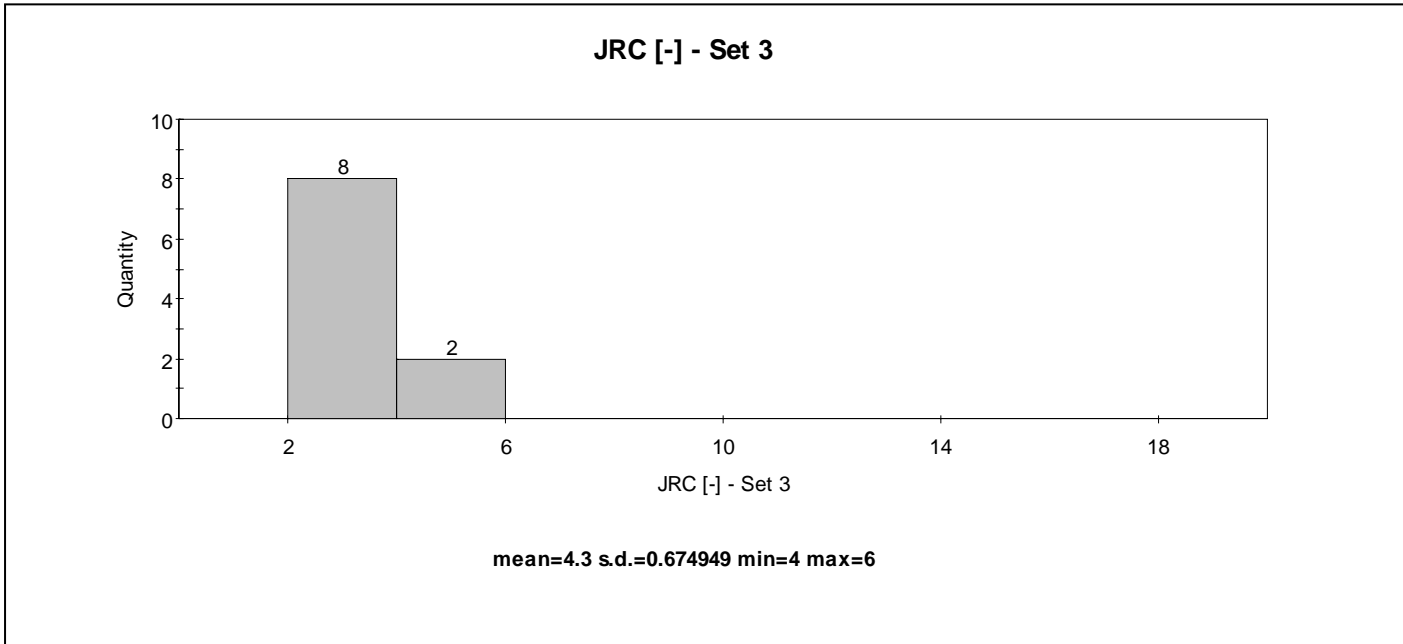
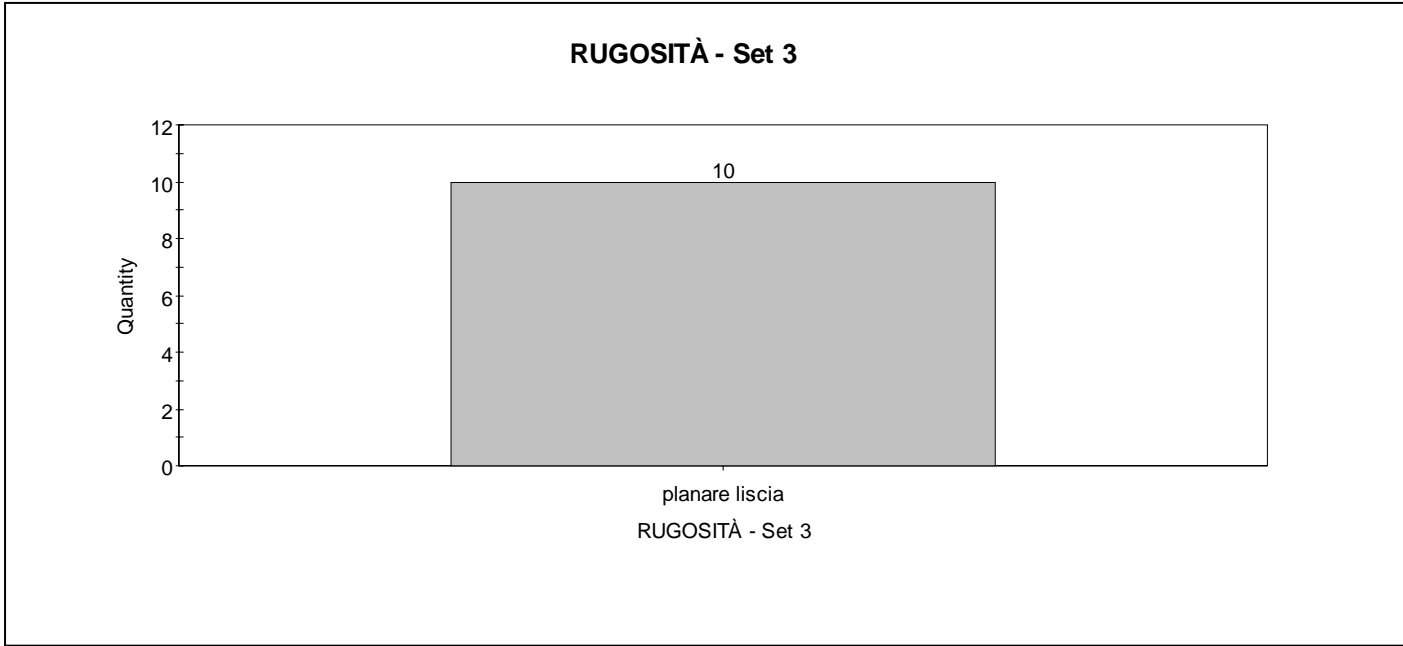
**JRC [-] - Set 2**

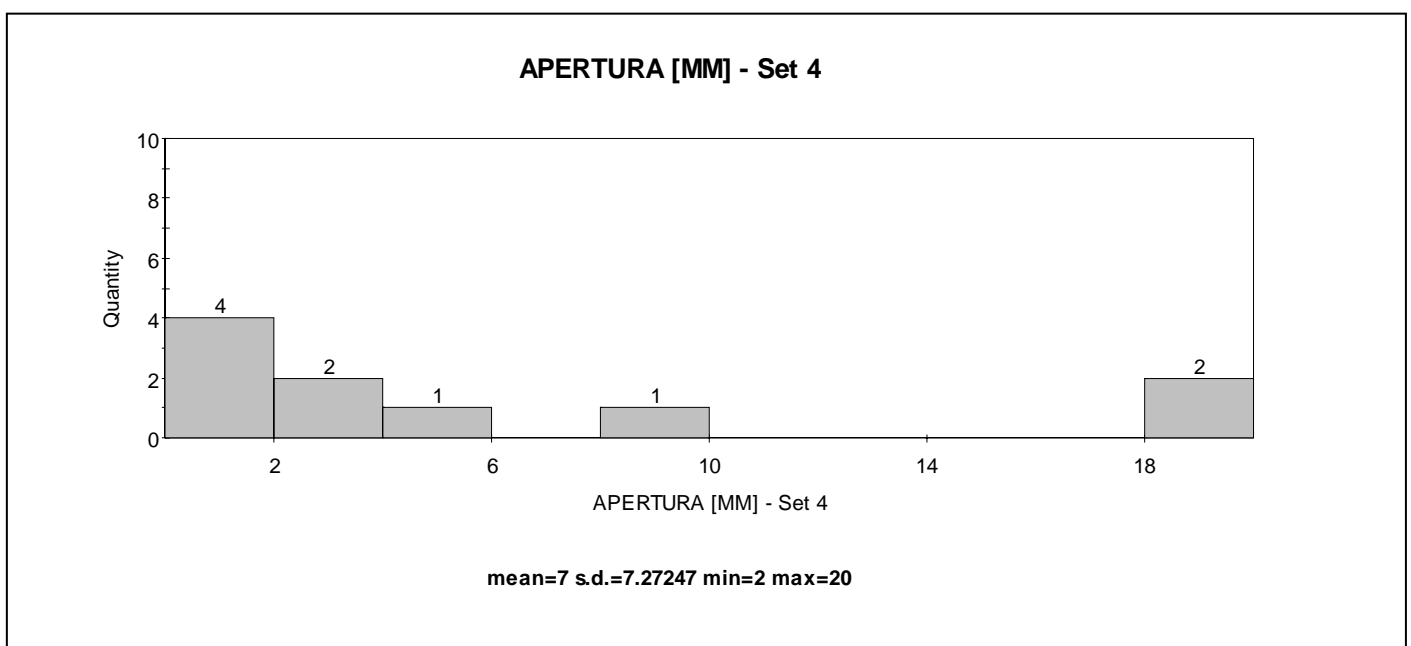
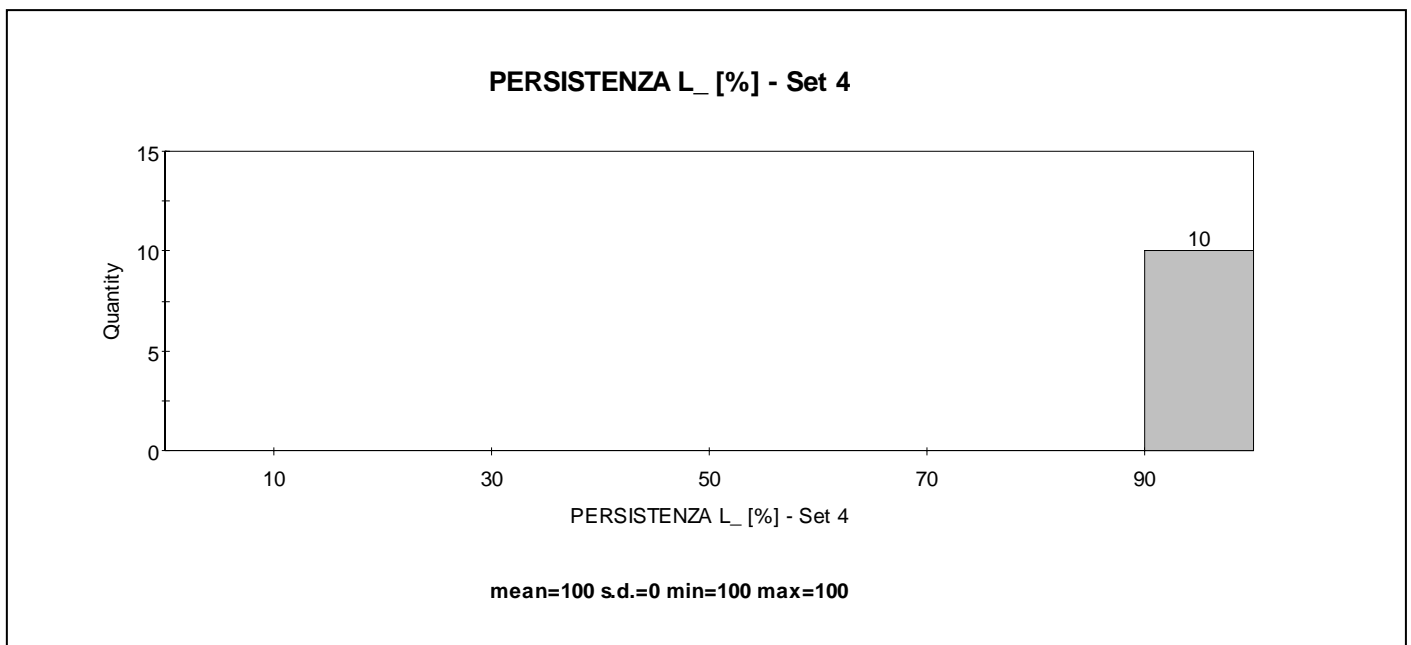
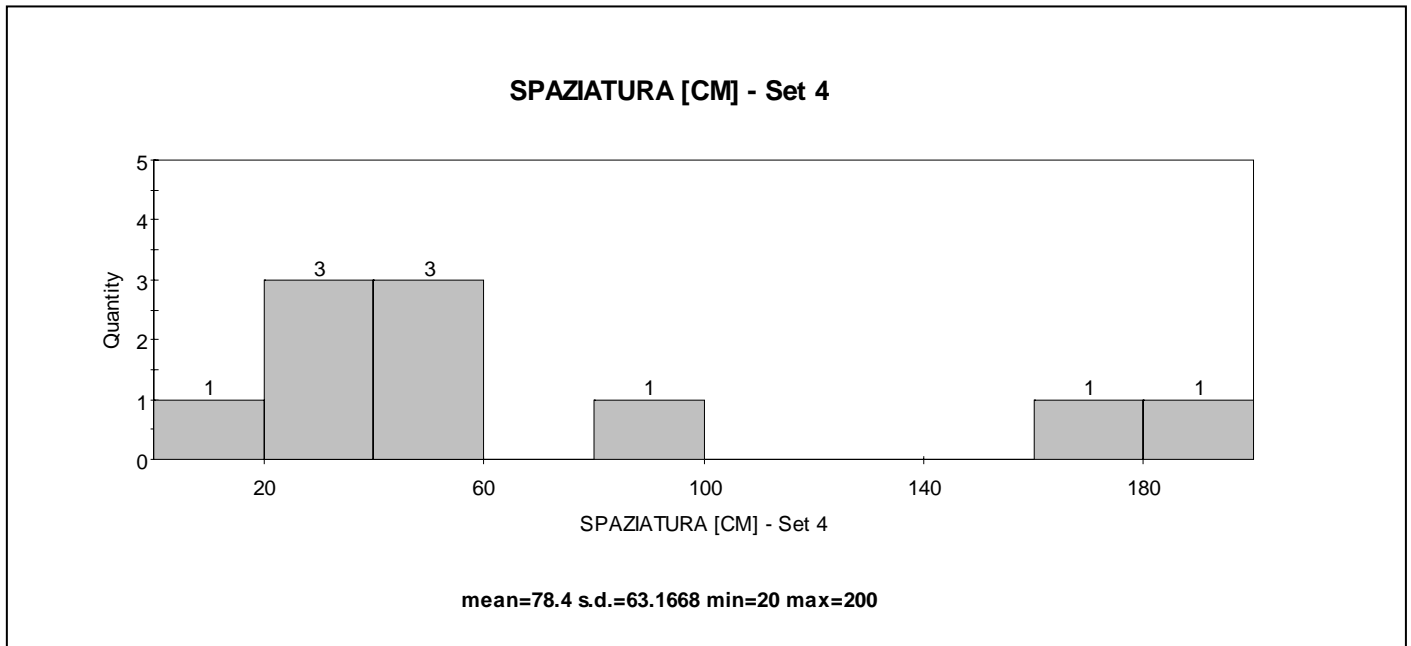


mean=4.1 s.d.=1.1005 min=3 max=6

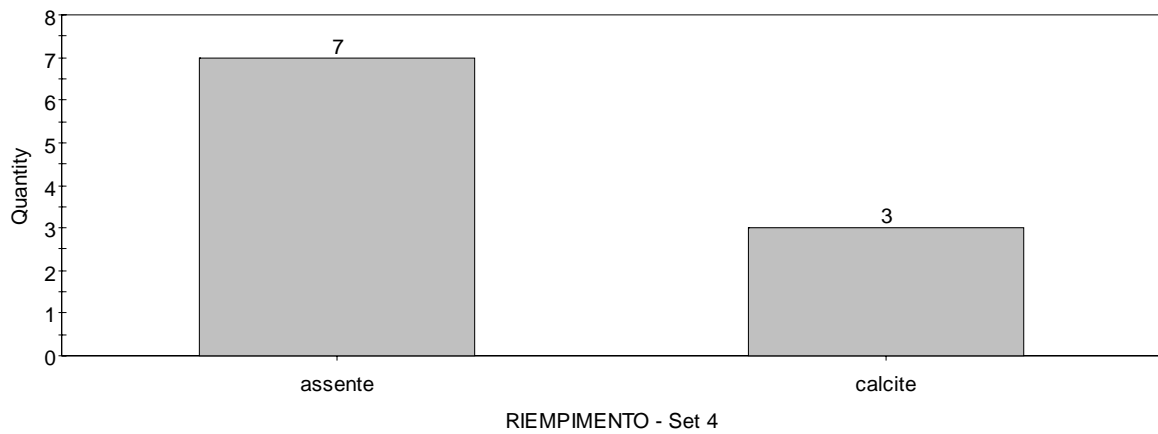




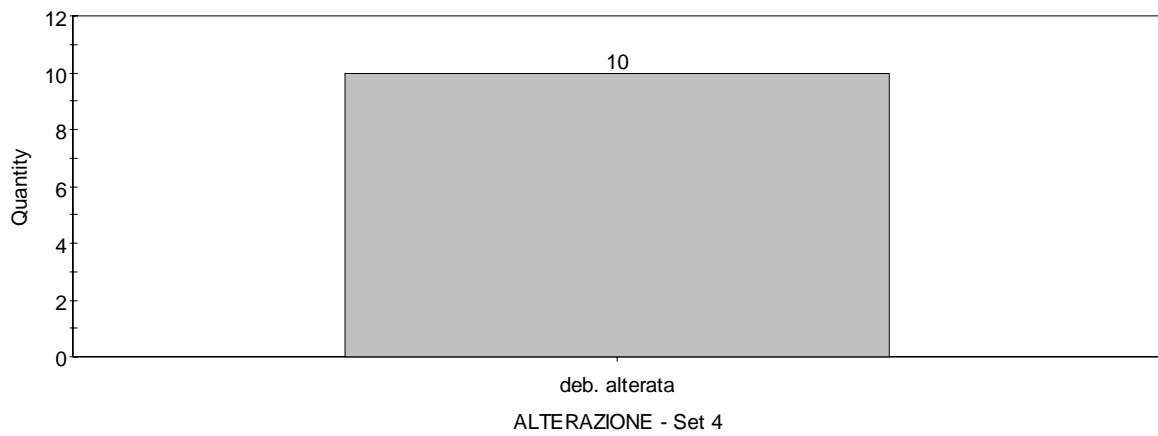




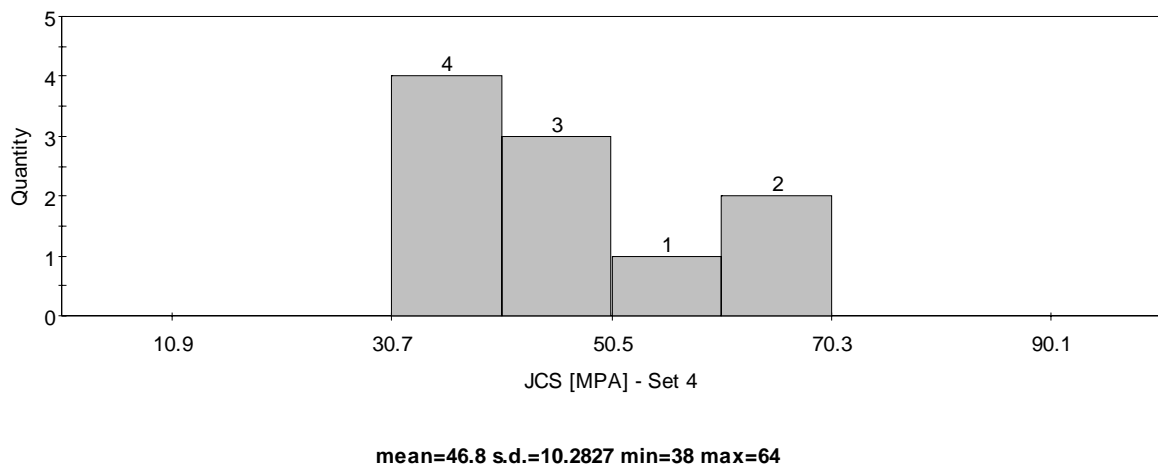
**RIEMPIMENTO - Set 4**



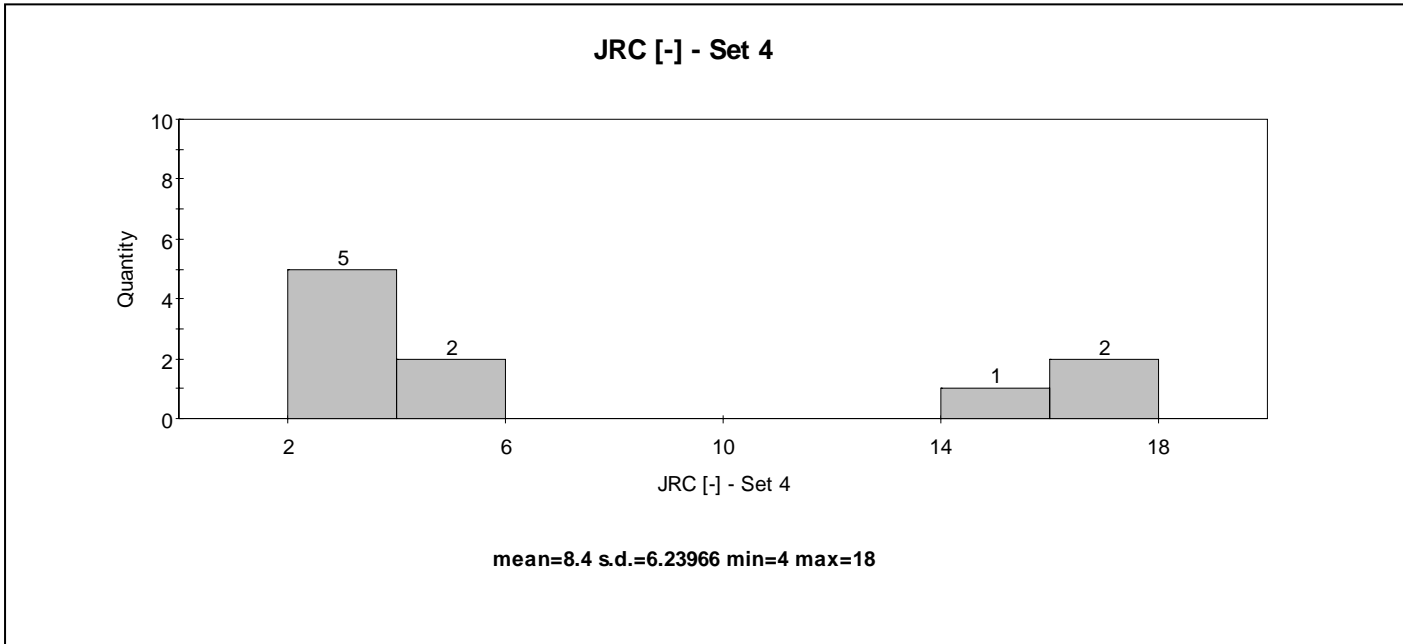
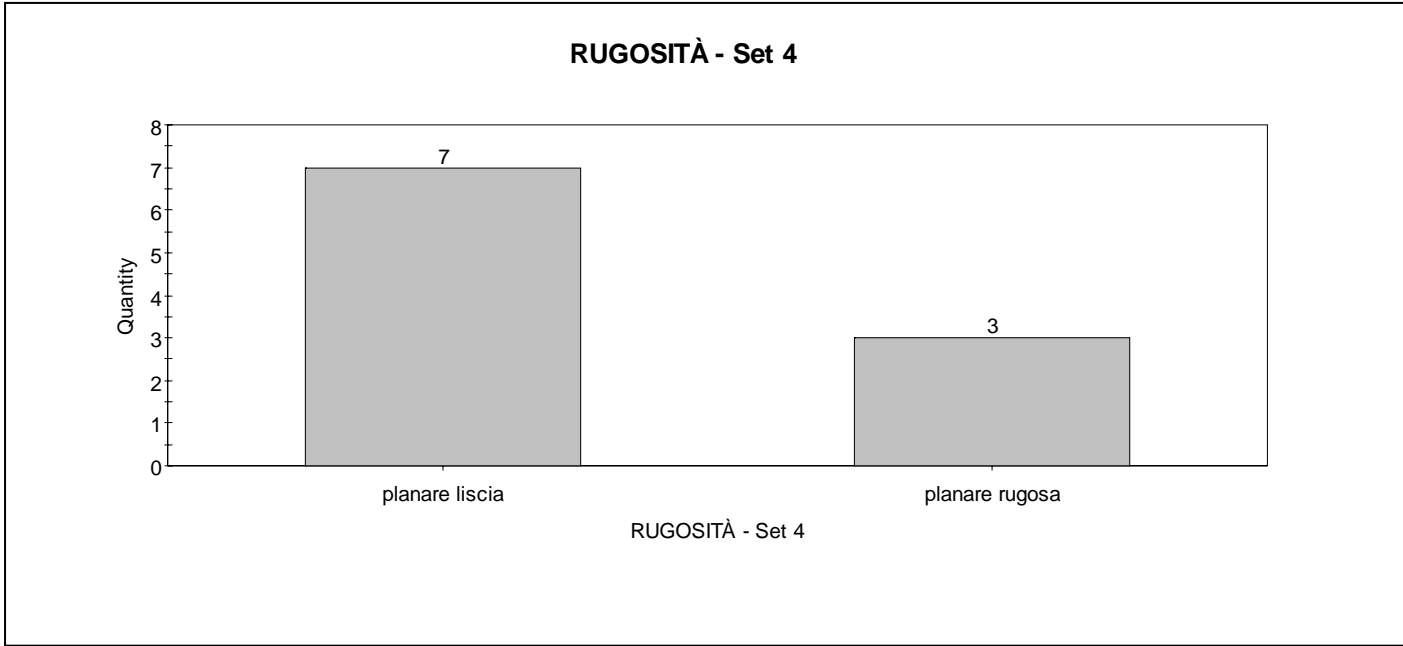
**ALTERAZIONE - Set 4**



**JCS [MPA] - Set 4**





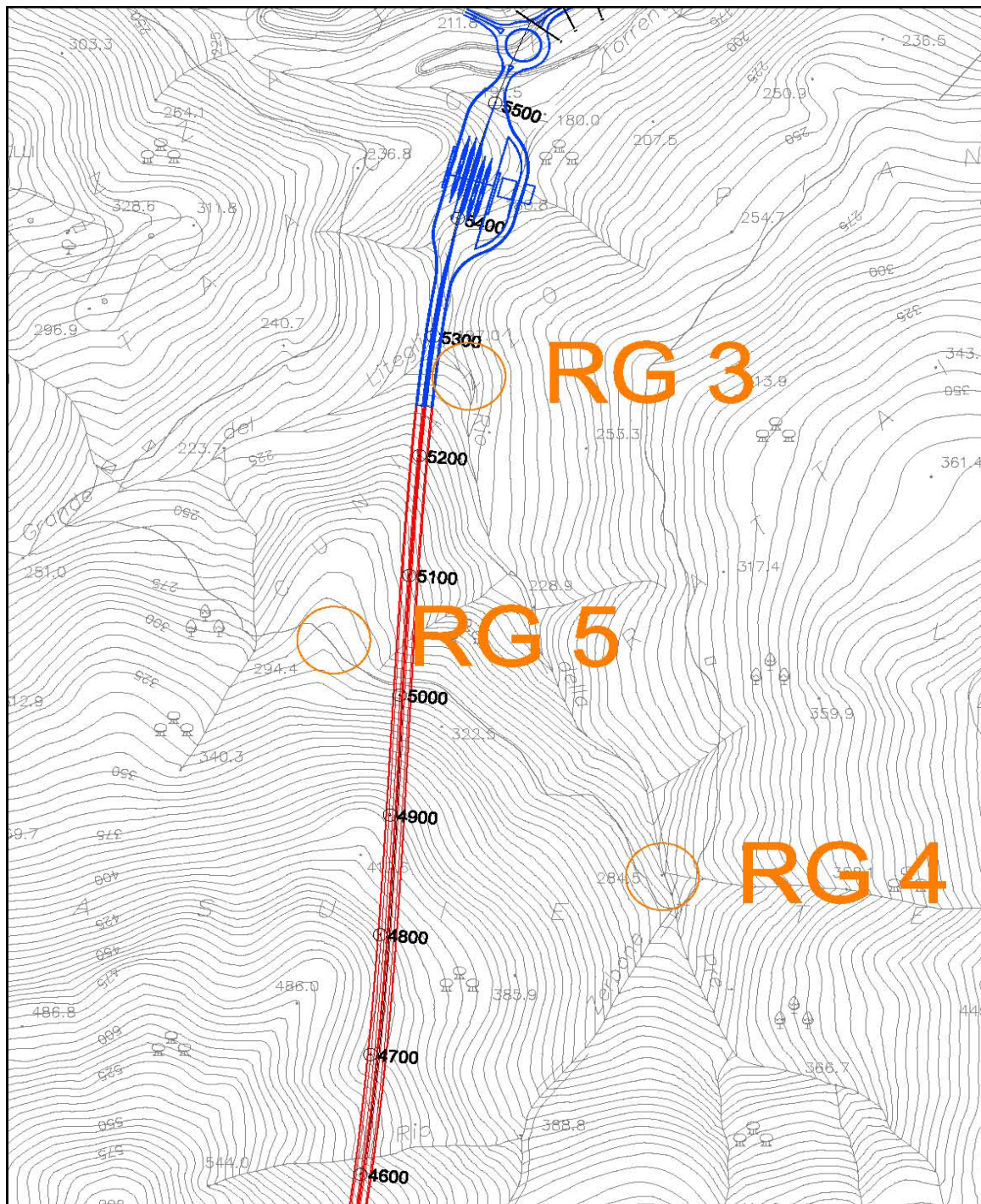


# RILIEVO GEOMECCANICO

Ubicazione area di rilievo

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.			
<b>Commessa</b>	Fontanabuona			
<b>Località</b>	Cunizzo			
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga	X: 1515665	Y: 4916721	Quota: 307
<b>Data</b>	18/08/11			
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 5			

## Stralcio planimetrico



Scala 1:5.000



**RILIEVO GEOMECCANICO**  
**Scheda di sintesi**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.		
<b>Commessa</b>	Fontanabuona		
<b>Località</b>	Cunizzo		
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga X: 1515665	Y: 4916721	Quota: 307
<b>Data</b>	18/08/11		
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG5		

**Condizioni generali dell'ammasso roccioso**

Giacitura del fronte di misura	[°/°]	160/70
Giacitura generale del pendio	[°/°]	30/20
Dimensioni dell'area di rilievo geomeccanico	[m x m]	1,5 x 7
Volume roccioso unitario medio [dimensioni]	[cm x cm x cm]	1 x 3 x 2
[forma]	[-]	scaglie
Resistenza a compressione monoassiale del materiale roccia:	litologia	A   B
	moda [MPa]	8
	variabilità [MPa]	5-10
Percentuale relativa	[%]	100
Intercetta delle discontinuità	[cm]	< 1
Numero di discontinuità per metro cubo d'ammasso - J <sub>v</sub>	[n°/m <sup>3</sup> ]	> 30

Grado di alterazione dell'ammasso	non alterato	debolm. alterato	moder. alterato	molto alterato	decomposto
Condizioni di umidità dell'ammasso	asciutto	umido	bagnato	stillicidio	flusso



**Geological Strength Index**

Struttura in ammassi complessi	A	B	C	D	E	F	G	H
Struttura in ammassi omogenei	I	B	VB	B / D / S	D	L / S		
Condizioni delle discontinuità	VG	G	F	P	VP			
							GSI	15÷20

**Litologia e descrizione geologica generale**

Argilloscisti nerastrì, grigio verde in alterazione, fittamente laminati e intensamente tettonizzati.

**Condizioni generali delle discontinuità**

set	giacitura [°]	spaziatura [cm]		persistenza [%]		apertura [mm]		ondulazione e rugosità	JRC [-]	Jr [-]	JCS [MPa]	Ja [-]	alterazione	pellicole		riempimento										
		moda	variabilità	moda	variabilità	moda	variabilità							moda	variabilità	materiale prevalente	materiale prevalente	durezza	spessore [mm]	materiale prevalente						
																				sabbia	limo	argilla	minerali asbestiformi	vene minerali	sabbia	limo
1-S	60/75	0,5	0,2±1	100	-	0	-	a scalini   ondulata   planare	4	4÷6	2	-	-	4	3÷4									non alt.	deb. alt.	mod. alt.
								molto rug.   rugosa   deb. rug.   liscia   lisciata																molto alt.	decomposta	
								a scalini   ondulata   planare																non alt.	deb. alt.	mod. alt.
								molto rug.   rugosa   deb. rug.   liscia   lisciata																molto alt.	decomposta	
								a scalini   ondulata   planare																non alt.	deb. alt.	mod. alt.
								molto rug.   rugosa   deb. rug.   liscia   lisciata																molto alt.	decomposta	
								a scalini   ondulata   planare																non alt.	deb. alt.	mod. alt.
								molto rug.   rugosa   deb. rug.   liscia   lisciata																molto alt.	decomposta	
a scalini   ondulata   planare	non alt.	deb. alt.	mod. alt.																							
molto rug.   rugosa   deb. rug.   liscia   lisciata	molto alt.	decomposta																								

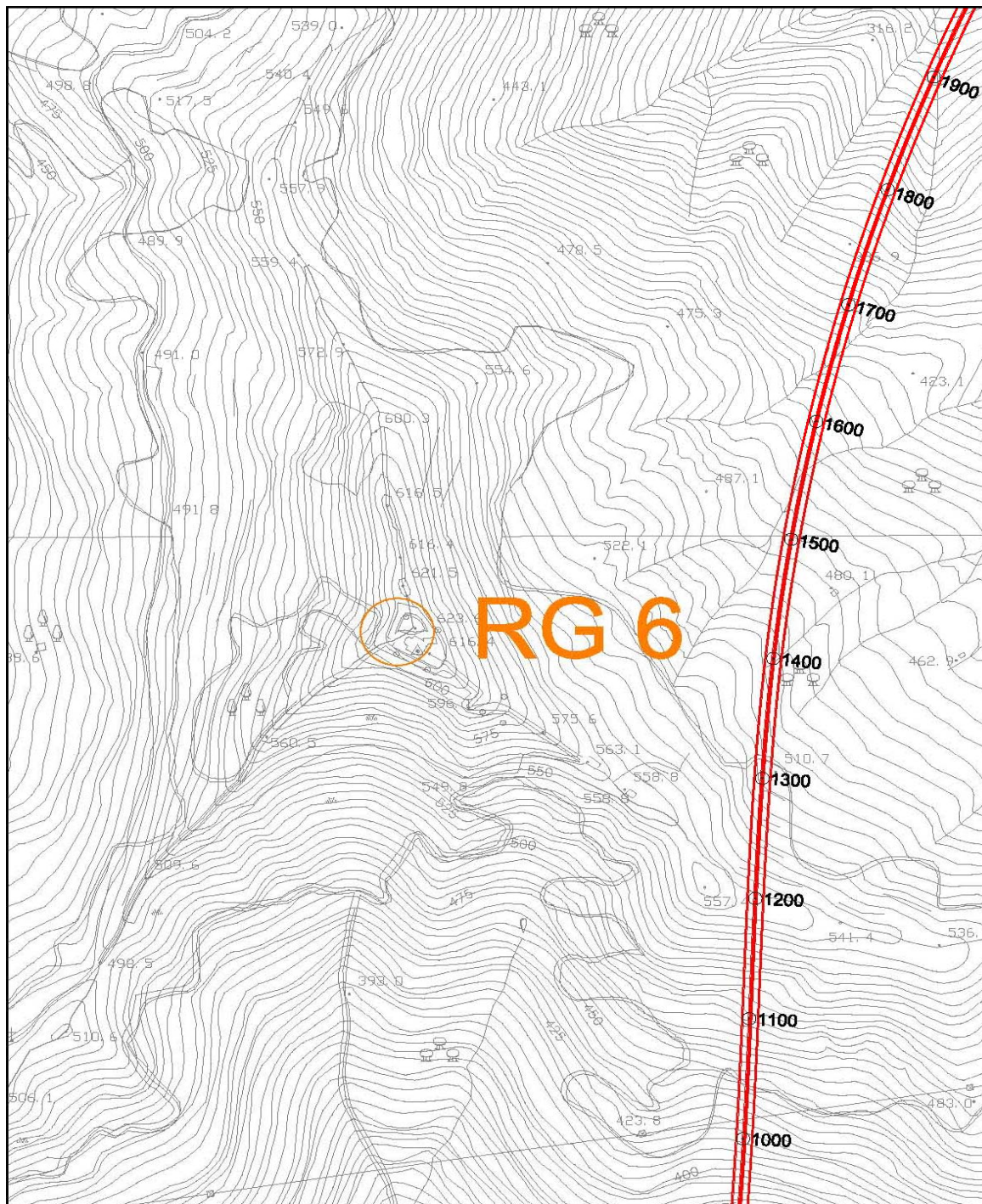


## RILIEVO GEOMECCANICO

Ubicazione area di rilievo

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.			
<b>Commessa</b>	Fontanabuona			
<b>Località</b>	Santuario N.S. di Caravaggio			
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga	X: 1514303	Y: 4913367	Quota: 616
<b>Data</b>	18/08/11			
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 6			

### Stralcio planimetrico



Scala 1:5.000



**RILIEVO GEOMECCANICO**  
**Scheda di sintesi**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.		
<b>Commessa</b>	Fontanabuona		
<b>Località</b>	Santuario N.S. di Caravaggio		
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga X: 1514303	Y: 4913367	Quota: 616
<b>Data</b>	19/08/11		
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG6		

**Condizioni generali dell'ammasso roccioso**

Giacitura del fronte di misura	[°/°]	350 / 85
Giacitura generale del pendio	[°/°]	-
Dimensioni dell'area di rilievo geomeccanico	[m x m]	5 x 7
Volume roccioso unitario medio [dimensioni]	[cm x cm x cm]	60 x 70 x 5
[forma]	[-]	prismatica
Resistenza a compressione monoassiale del materiale roccia:	litologia	A   B
	moda [MPa]	98
	variabilità [MPa]	74-123
Percentuale relativa	[%]	95   5
Intercetta delle discontinuità	[cm]	6,3
Numero di discontinuità per metro cubo d'ammasso - J <sub>v</sub>	[n°/m <sup>3</sup> ]	16,0

Grado di alterazione dell'ammasso	non alterato	debolm. alterato	moder. alterato	molto alterato	decomposto
Condizioni di umidità dell'ammasso	asciutto	umido	bagnato	stillicidio	flusso



**Geological Strength Index**

Struttura in ammassi complessi	A	B	C	D	E	F	G	H
Struttura in ammassi omogenei	I	B	VB	B/D/S	D	L/S		
Condizioni delle discontinuità	VG	G	F	P	VP			
							gsi	40-45

**Litologia e descrizione geologica generale**

Calcarea marnosa grigia, nocciola in alterazione, in strati decimetrici con sottili intercalazioni di marne e marne calcaree. Il rapporto stratimetrico tra i livelli calcarei e gli interstrati marnosi, misurato lungo uno stendimento di lunghezza pari a 2.5 m è risultato pari a 17.2 (Calcari 95%, Marne 5%).

**Condizioni generali delle discontinuità**

set	giacitura [°]	spaziatura [cm]		persistenza [%]		apertura [mm]		ondulazione e rugosità				JRC [-]	Jr [-]	JCS [MPa]	Ja [-]	alterazione	pellicole		riempimento												
		moda	variabilità	moda	variabilità	moda	variabilità	moda	variabilità	moda	variabilità						moda	variabilità	marna	vene minerali	materiale prevalente			durezza		spessore [mm]					
																					sabbia	limo	argilla	duro	tenero	< 5	> 5				
1-S	182/88	8	5-34	100	-	5	1-10	a scalini	ondulata	planare	4	3-5	1	-	34	23-55	5	-	non alt.	deb. alt.	mod. alt.										
								molto rug.	rugosa	deb. rug.									liscia	lisciata	molto alt.										
2-k1	115/60	60	20-140	100	-	1	1-5	a scalini	ondulata	planare	4	3-6	1	-	58	32-66	1	-	non alt.	deb. alt.	mod. alt.										
								molto rug.	rugosa	deb. rug.									liscia	lisciata	molto alt.										
3-k2	274/25	55	45-90	100	-	5	2-5	a scalini	ondulata	planare	8	6-10	1	-	42	25-63	0,75	-	non alt.	deb. alt.	mod. alt.										
								molto rug.	rugosa	deb. rug.									liscia	lisciata	molto alt.										
4-k3	281/74	28	14-50	20	20-60	20	1-20	a scalini	ondulata	planare	4	4-6	1	-	30	25-108	0,75	-	non alt.	deb. alt.	mod. alt.										
								molto rug.	rugosa	deb. rug.									liscia	lisciata	molto alt.										
5-k4	062/11	65	50-90	50	50-60	20	0-20	a scalini	ondulata	planare	6	4-6	1	-	45	38-71	0,75	-	non alt.	deb. alt.	mod. alt.										
								molto rug.	rugosa	deb. rug.									liscia	lisciata	molto alt.										

## Rilievo di dettaglio delle discontinuità

## Rilievo geomeccanico n° RG6

n°	set	giacitura		spaziatura [cm]	terminazione [x-d-r]	persistenza lineare [%]	apertura [mm]	alterazione		JCS			rugosità			riempimento	
		imm.[°]	incl.[°]					Barton	ISRM				Barton	ISRM			
										Ja	[w1-w5]	R		$\alpha$	[MPa]	Jr	[I-IX]
1	S	170	80	20	xx	100	5	5	W2	30	10	39	1	VIII	4	marna	5
2	S	190	88	11	xx	100	10	5	W2	26	2	32	1	VIII	4	marna	10
3	S	4	88	7	xx	100	1	5	W2	36	2	55	1	VIII	3	marna	1
4	S	182	88	7	xx	100	10	5	W2	30	2	40	1	VIII	4	marna	10
5	S	176	85	6	xx	100	3	5	W2	28	5	35	1	VIII	5	marna	3
6	S	184	85	22	xx	100	10	5	W2	32	5	44	1	VIII	4	marna	10
7	S	8	85	5	xx	100	10	5	W2	28	5	35	1	VIII	4	marna	10
8	S	360	88	9	xx	100	5	5	W2	32	2	44	1	VIII	3	marna	5
9	S	180	85	5	xx	100	2	5	W2	30	5	39	1	VIII	4	marna	2
10	S	182	88	7	xx	100	2	5	W2	32	2	44	1	VIII	4	marna	2
11	S	6	85	21	xx	100	5	5	W2	30	5	39	1	VIII	5	marna	5
12	S	180	88	10	xx	100	5	5	W2	28	2	36	1	VIII	4	marna	5
13	S	175	86	8	xx	100	5	5	W2	20	4	23	1	VIII	3	marna	5
14	S	190	88	34	xx	100	5	5	W2	26	2	32	1	VIII	3	marna	5
15	S	185	86	6	xx	100	2	5	W2	32	4	44	1	VIII	4	marna	2
16	K1	125	50	140	xx	100	2	1	W2	34	-40	55	1	VIII	4	assente	-
17	K1	125	60	80	xx	100	1	1	W2	38	-30	66	1	VIII	5	assente	-
18	K1	128	60	20	xx	100	5	1	W2	38	-30	66	1	VIII	6	assente	-
19	K1	110	60	25	xx	100	2	1	W2	36	-30	59	1	VIII	6	assente	-
20	K1	100	60	34	xx	100	1	1	W2	34	-30	54	1	VIII	4	assente	-
21	K1	120	65	40	xx	100	2	1	W2	26	-25	35	1	VIII	4	assente	-
22	K1	120	60	60	xx	100	5	1	W2	30	-30	44	1	VIII	3	assente	-
23	K1	115	65	54	xx	100	1	1	W2	36	-25	59	1	VIII	4	assente	-
24	K1	100	60	75	xx	100	1	2	W2	34	-30	54	1	VIII	3	assente	-
25	K1	110	65	75	xx	100	1	1	W2	24	-25	32	1	VIII	6	assente	-
26	K2	310	30	75	xx	100	5	0,75	W2	36	-60	63	1	VIII	8	calcite	5
27	K2	290	25	60	xx	100	2	0,75	W2	18	-65	25	1	VIII	8	calcite	2
28	K2	240	25	60	xx	100	2	0,75	W2	28	-65	42	1	VIII	10	calcite	2
29	K2	280	25	90	xx	100	5	0,75	W2	34	-65	57	1	VIII	7	calcite	5
30	K2	290	25	45	xx	100	4	0,75	W2	28	-65	42	1	VIII	8	calcite	4
31	K2	270	25	60	xx	100	2	0,75	W2	20	-65	28	1	VIII	6	calcite	2
32	K2	262	25	50	xx	100	5	0,75	W2	24	-65	34	1	VIII	8	calcite	5
33	K2	264	30	75	xx	100	2	0,75	W2	28	-60	42	1	VIII	10	calcite	2
34	K2	264	25	60	xx	100	4	0,75	W2	28	-65	42	1	VIII	10	calcite	4
35	K2	270	28	45	xx	100	5	0,75	W2	30	-62	46	1	VIII	8	calcite	5
36	K3	270	80	35	rd	20	20	0,75	W2	24	-10	30	1	VIII	4	calcite	20
37	K3	278	80	40	rd	30	20	0,75	W2	24	-10	30	1	VIII	4	calcite	20
38	K3	280	80	50	rd	30	15	0,75	W2	26	-10	34	1	VIII	6	calcite	15
39	K3	282	70	25	rd	20	1	0,75	W2	20	-20	25	1	VIII	6	calcite	1
40	K3	284	70	20	rd	40	20	0,75	W2	26	-20	35	1	VIII	4	calcite	20
41	K3	284	70	35	rd	60	10	0,75	W2	22	-20	28	1	VIII	5	calcite	10
42	K3	286	75	18	rd	20	15	0,75	W2	42	-15	78	1	VIII	4	calcite	15
43	K3	280	75	15	rd	20	20	0,75	W2	38	-15	63	1	VIII	6	calcite	20
44	K3	284	70	14	rd	30	5	0,75	W2	48	-20	108	1	VIII	4	calcite	5
45	K3	286	70	30	rd	20	1	0,75	W2	20	-20	25	1	VIII	5	calcite	1
46	K4	65	10	90	dd	50	20	0,75	W2	38	-80	71	1	VIII	4	calcite	20
47	K4	70	10	70	dd	60	5	0,75	W2	26	-80	38	1	VIII	6	calcite	2
48	K4	58	10	50	dd	50	10	0,75	W2	28	-80	43	1	VIII	6	calcite	10
49	K4	60	15	70	dd	50	20	0,75	W2	26	-75	38	1	VIII	4	calcite	20
50	K4	60	10	85	dd	60	0	1	W2	28	-80	43	1	VIII	6	assente	-

**RILIEVO GEOMECCANICO**  
**Rilievi sclerometrici sul materiale roccia**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.		
<b>Commessa</b>	Fontanabuona		
<b>Località</b>	Santuario N.S. di Caravaggio		
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga X: 1514303	Y: 4913367	Quota: 616
<b>Data</b>	19/08/11		
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG6		

n°	litologia A					
	R	$\alpha$	corr.	R'	$\gamma$	$\sigma_{ci}$
	[-]	[°]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]
1	45	-90	0	45	26	109,55
2	42	-90	0	42	26	93,53
3	36	-90	0	36	26	68,18
4	42	-90	0	42	26	93,53
5	40	-90	0	40	26	84,18
6	40	-90	0	40	26	84,18
7	26	-90	0	26	26	40,26
8	44	-90	0	44	26	103,92
9	42	-90	0	42	26	93,53
10	44	-90	0	44	26	103,92
11	40	-90	0	40	26	84,18
12	30	-90	0	30	26	49,70
13	44	-90	0	44	26	103,92
14	36	-90	0	36	26	68,18
15	36	-90	0	36	26	68,18
16	40	-90	0	40	26	84,18
17	32	-90	0	32	26	55,23
18	32	-90	0	32	26	55,23
19	36	-90	0	36	26	68,18
20	42	-90	0	42	26	93,53

**Variabilità statistica**

$\sigma_{ci}$ [MPa]	
media	dev. st.
80,27	20,10

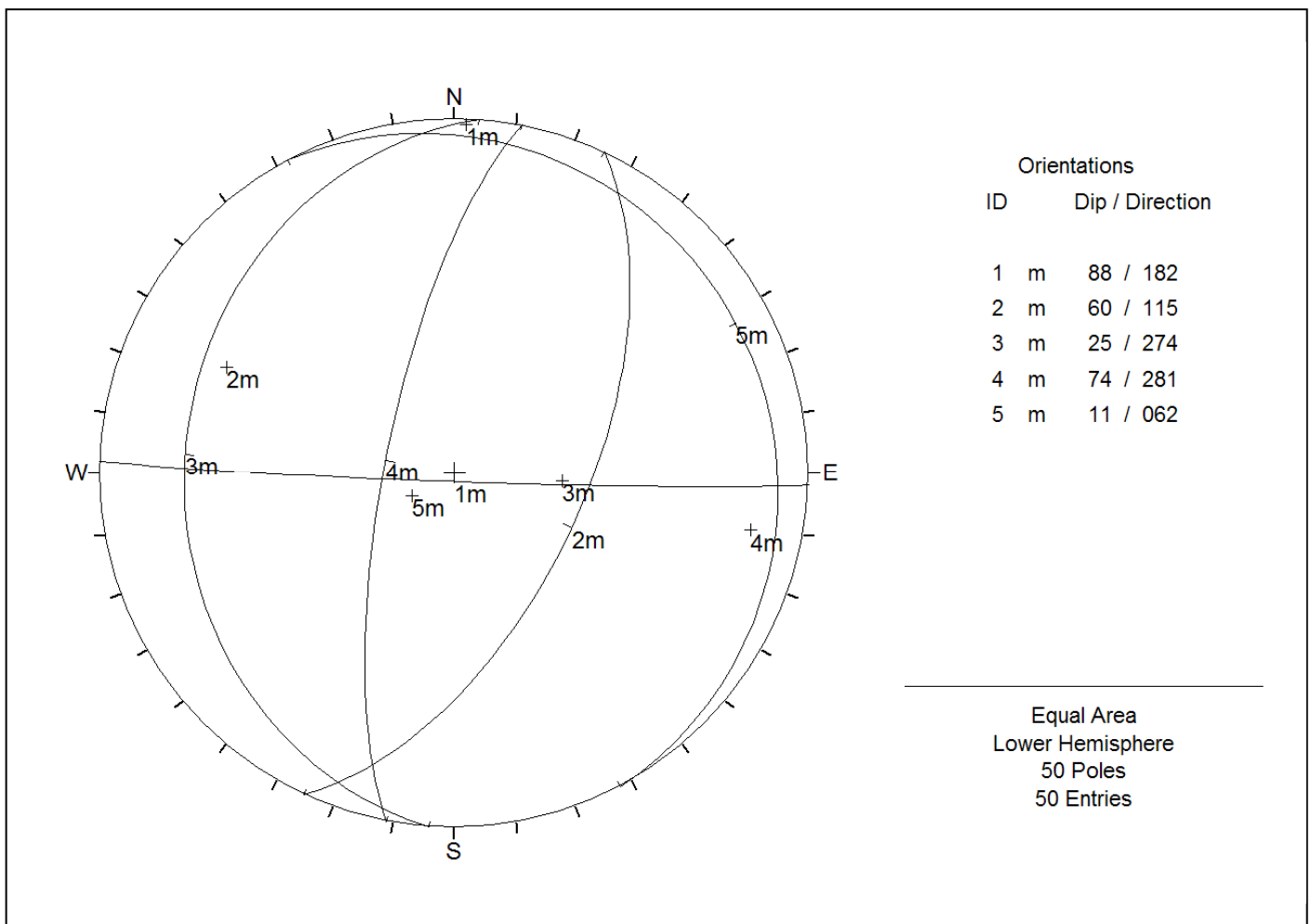
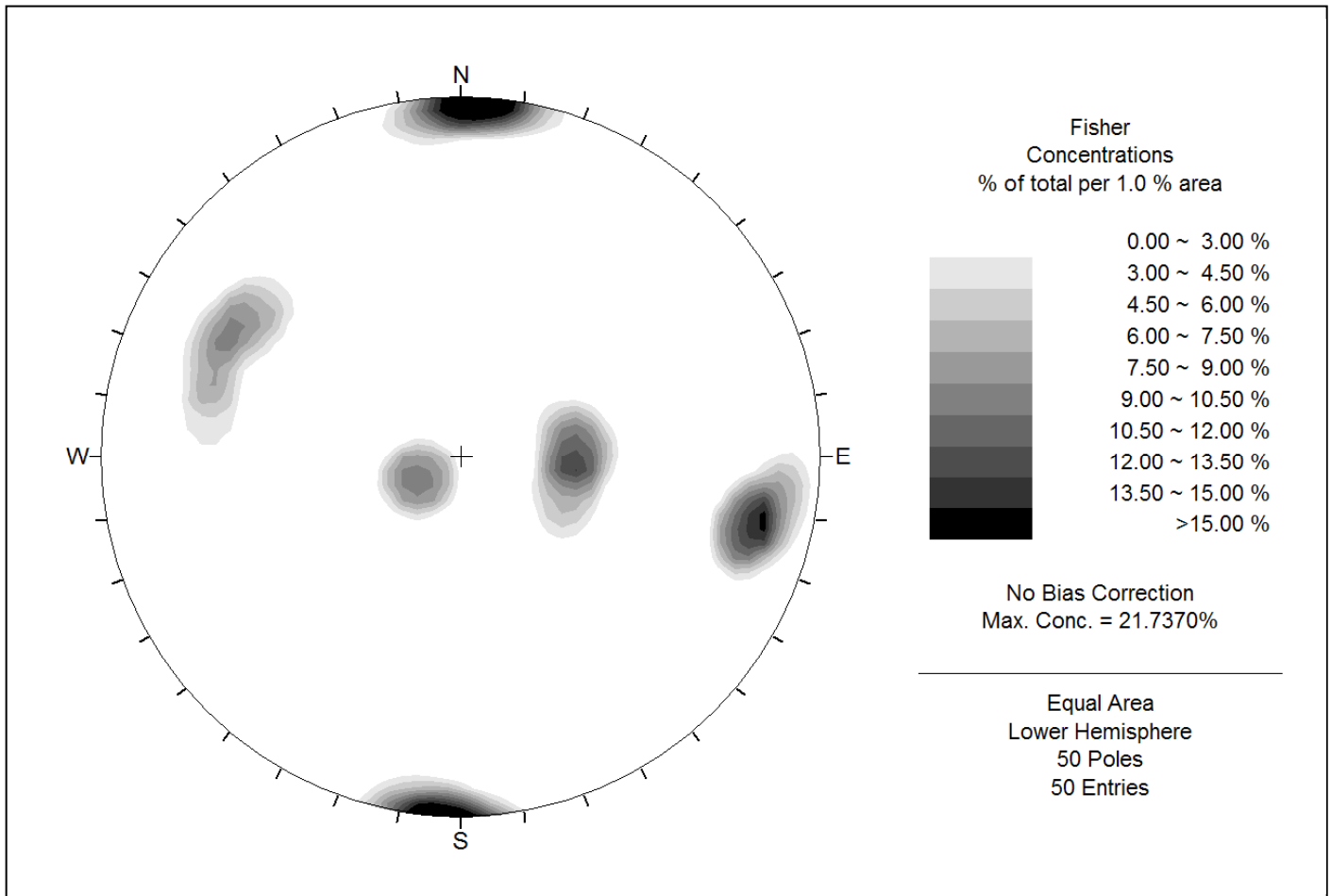
mediana	percentili	
	5°	95°
84,18	49,23	104,21

n°	litologia B					
	R	$\alpha$	corr.	R'	$\gamma$	$\sigma_{ci}$
	[-]	[°]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

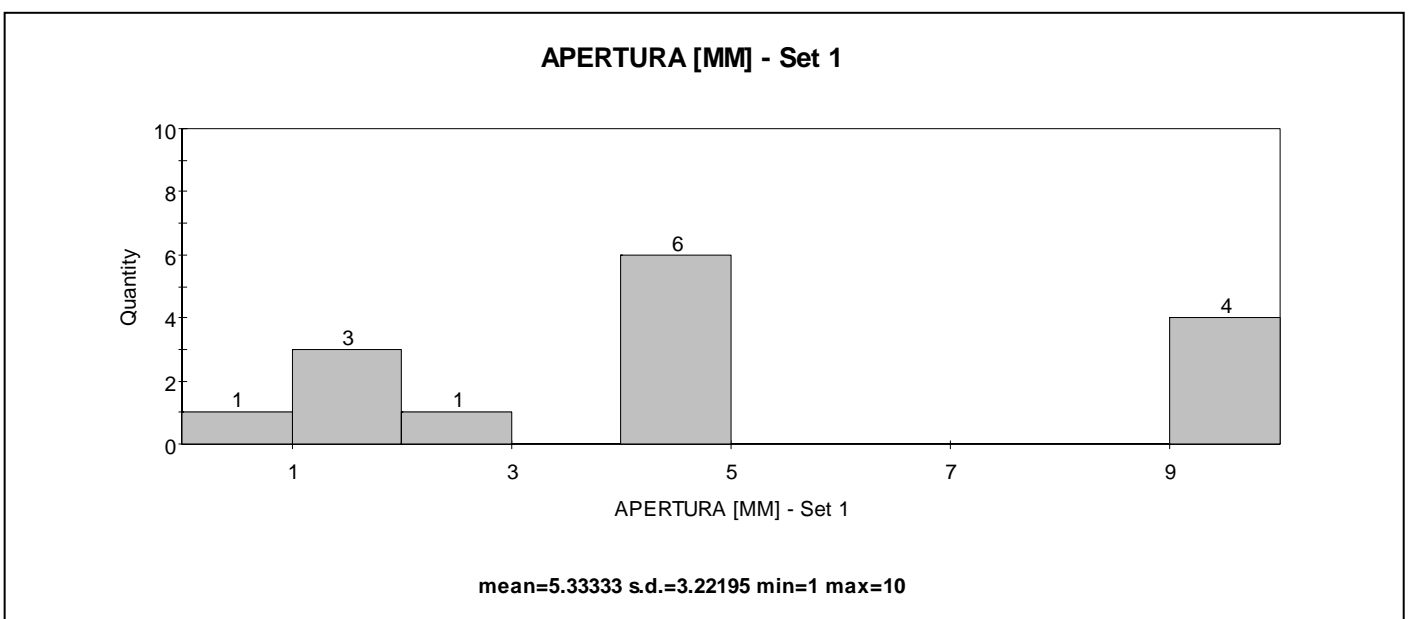
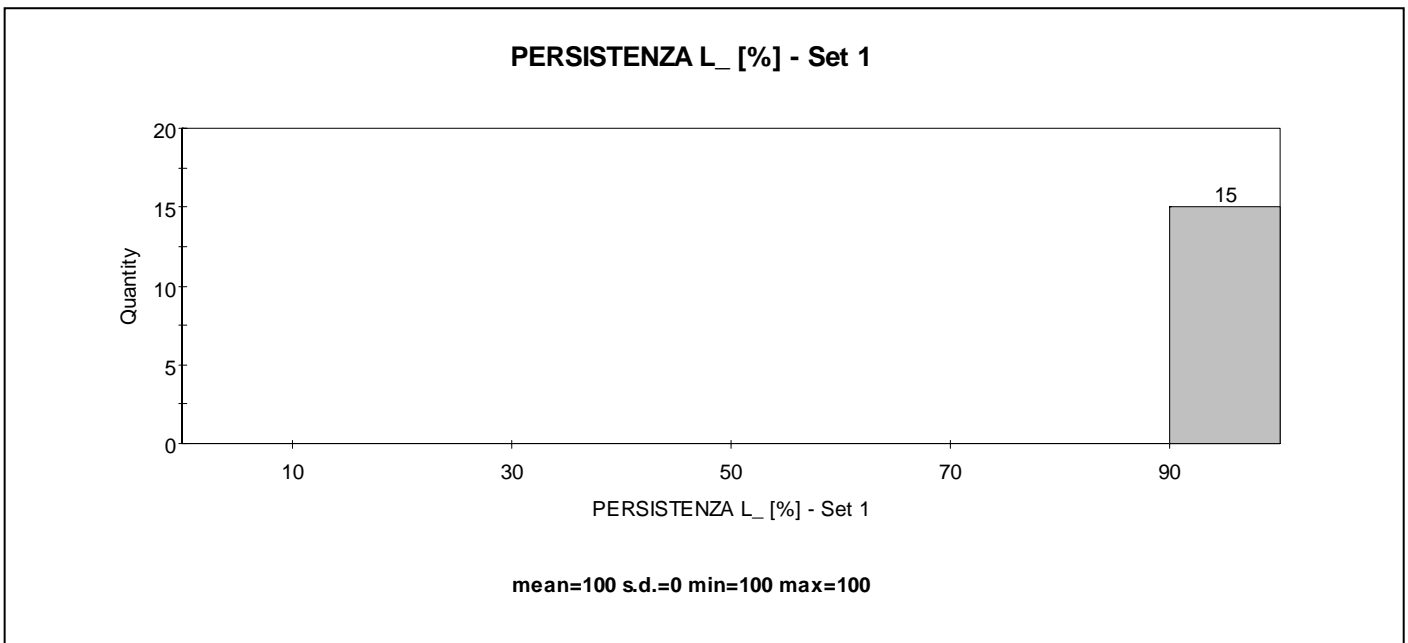
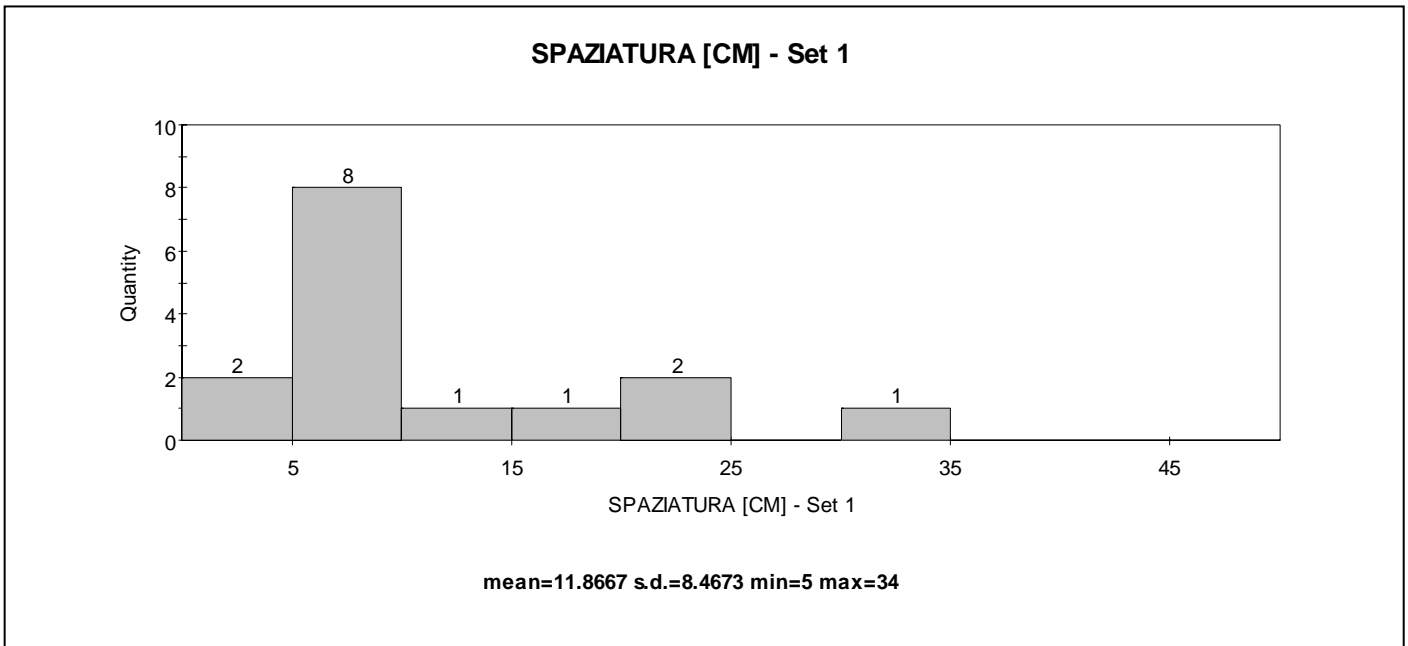
**Variabilità statistica**

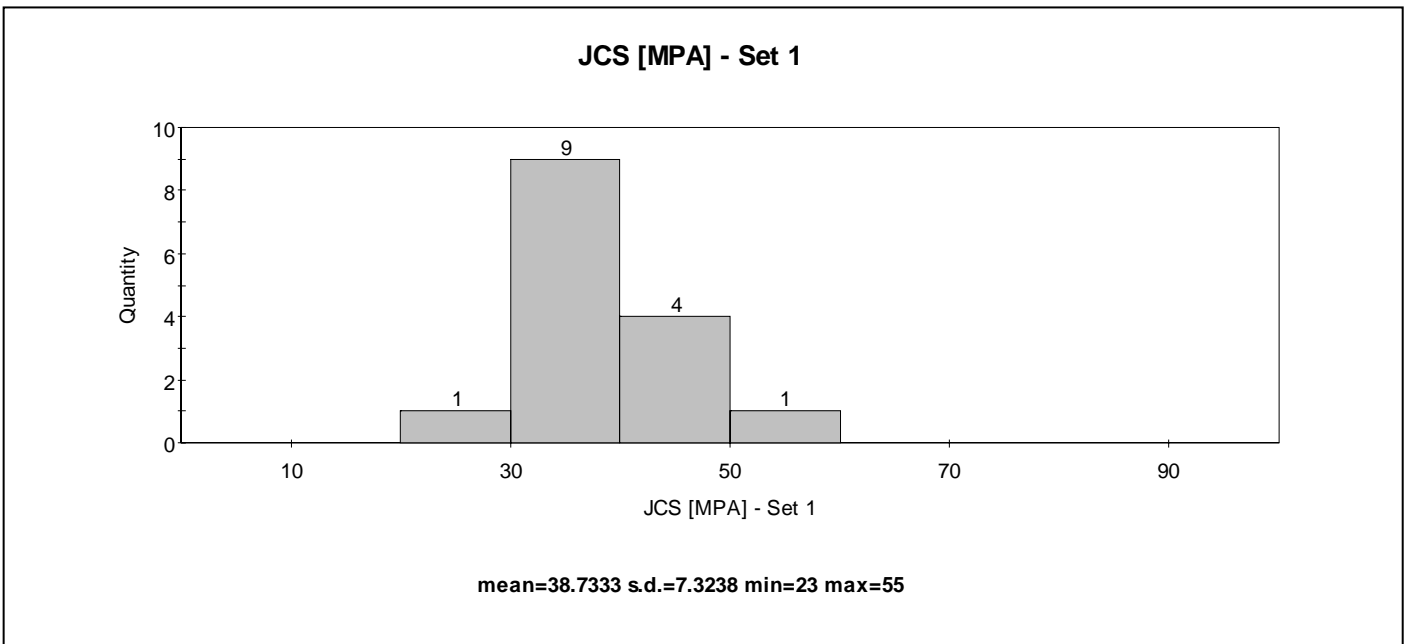
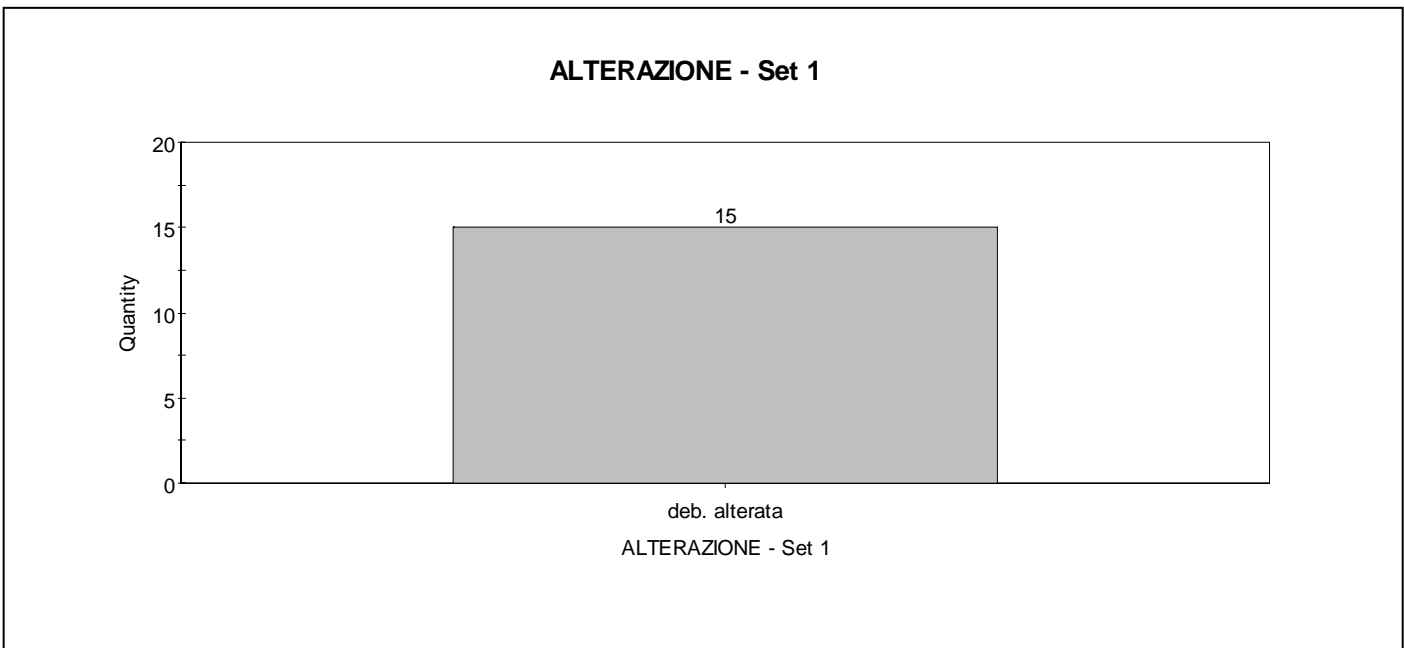
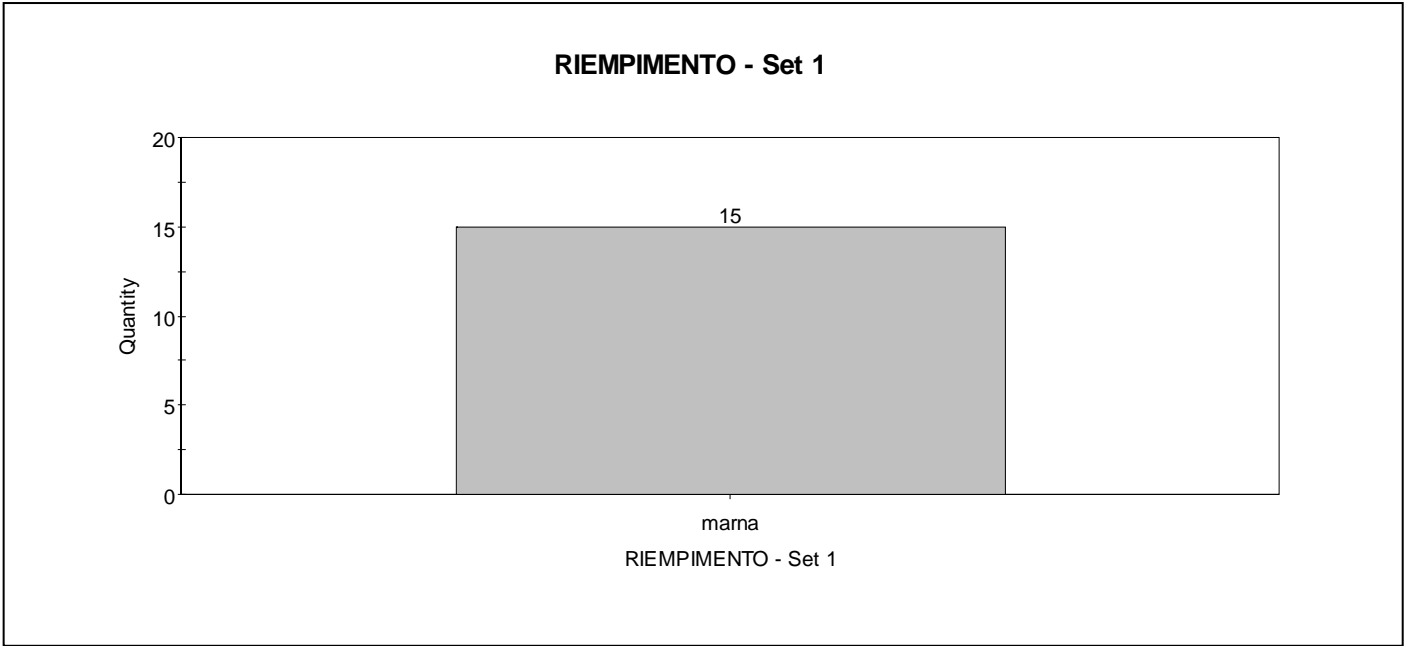
$\sigma_{ci}$ [MPa]	
media	dev. st.
-	-

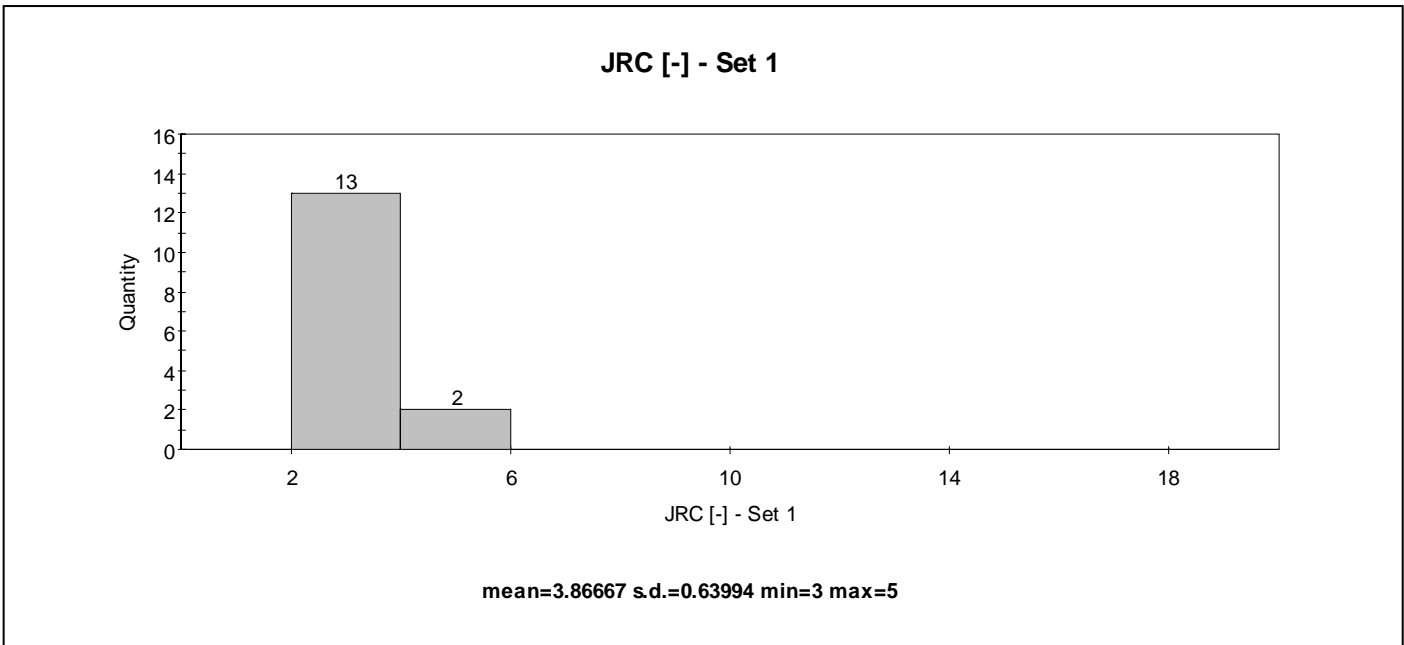
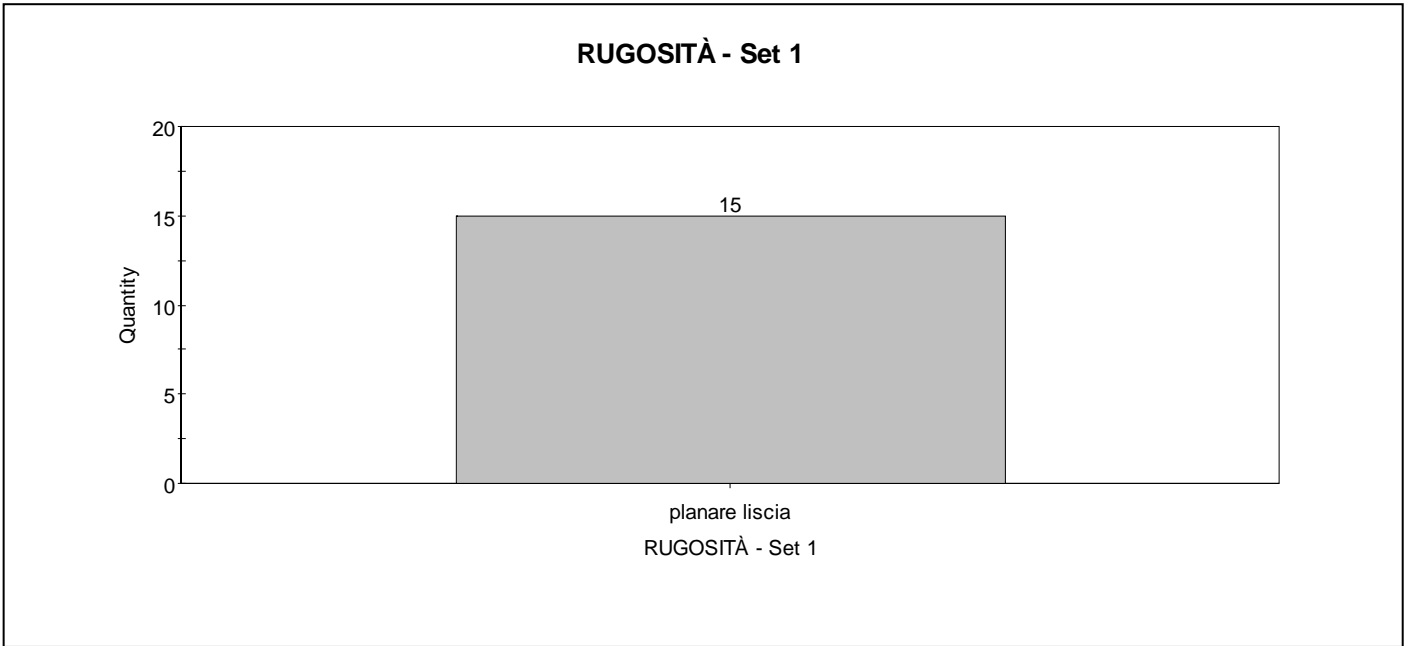
mediana	percentili	
	5°	95°
-	-	-

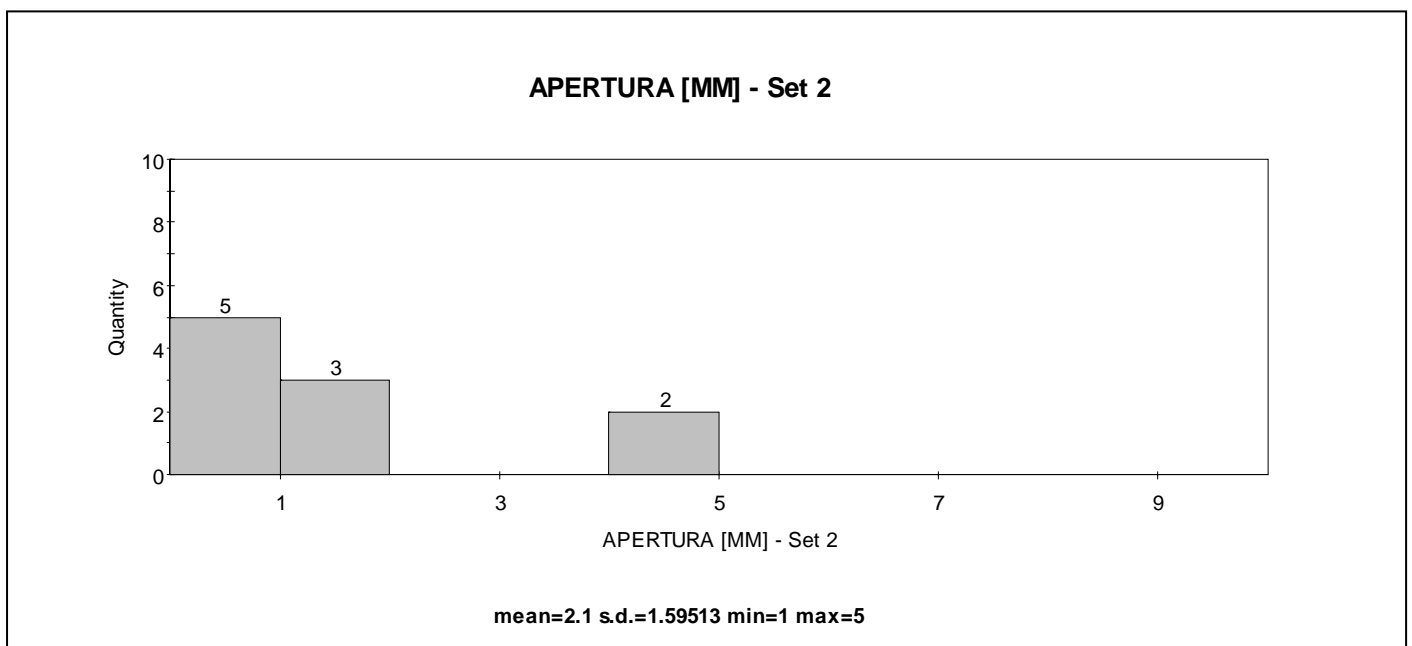
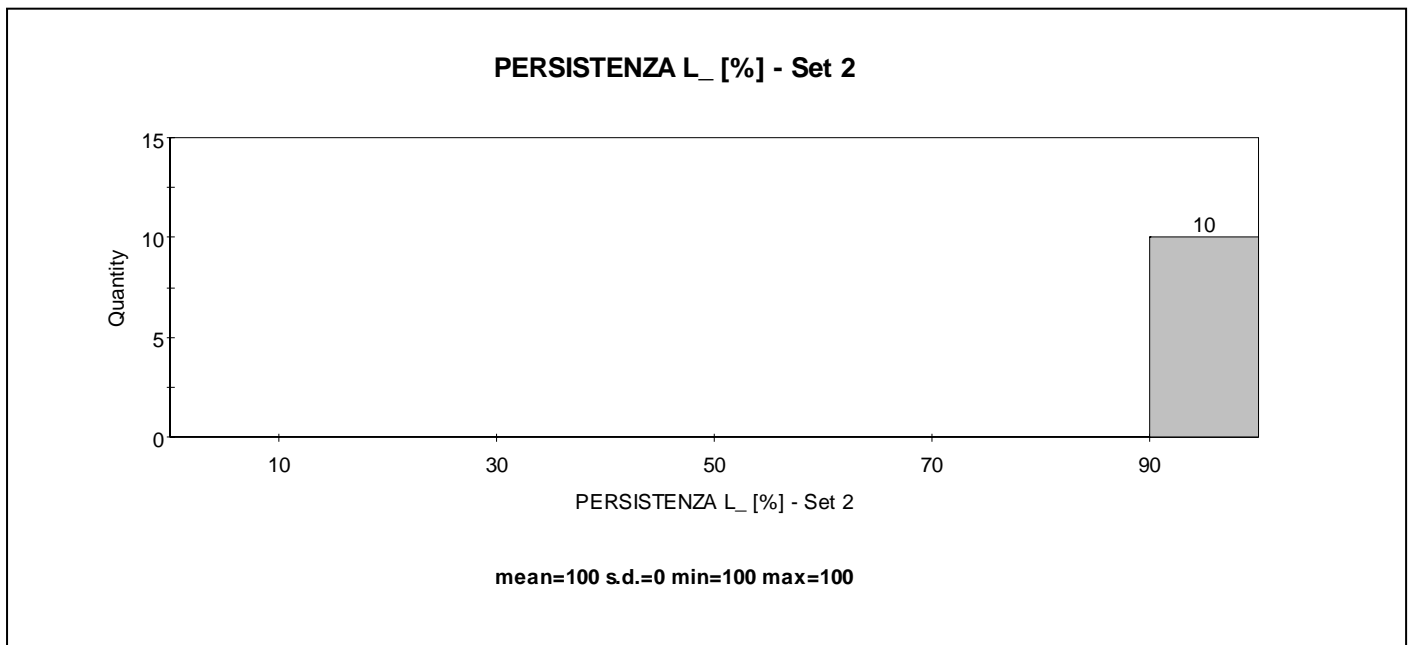
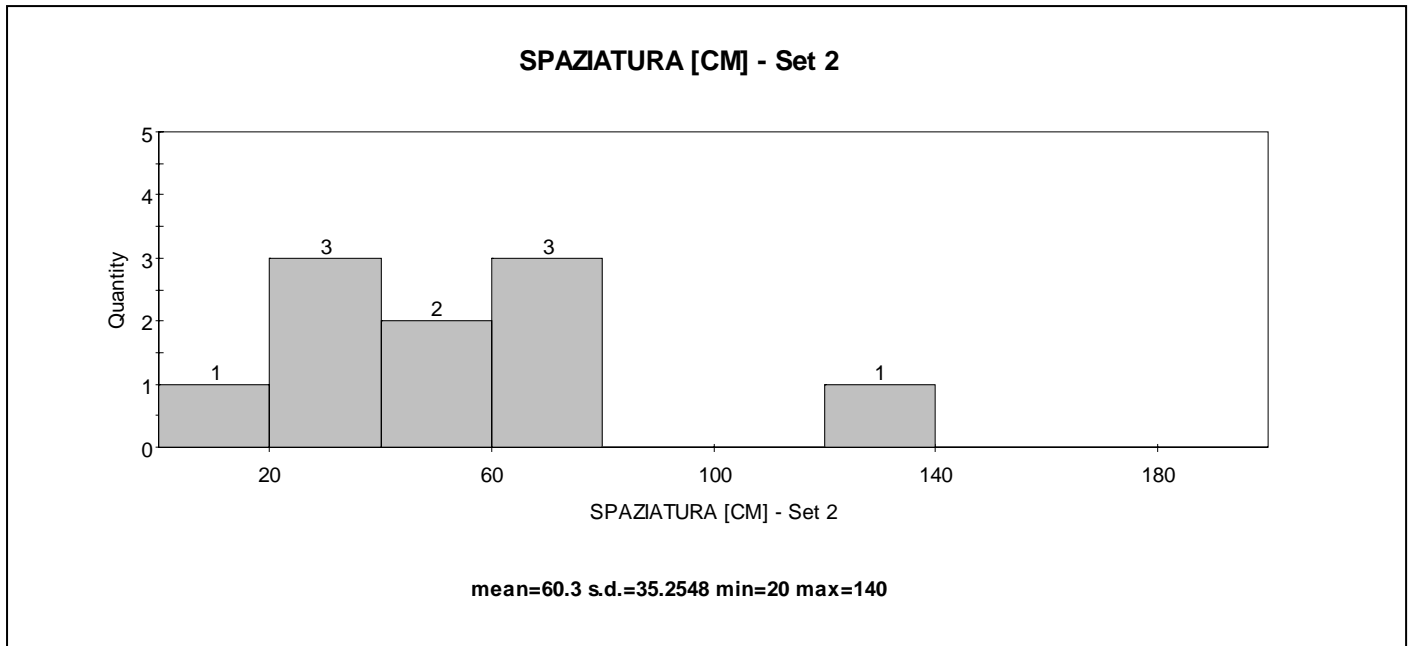


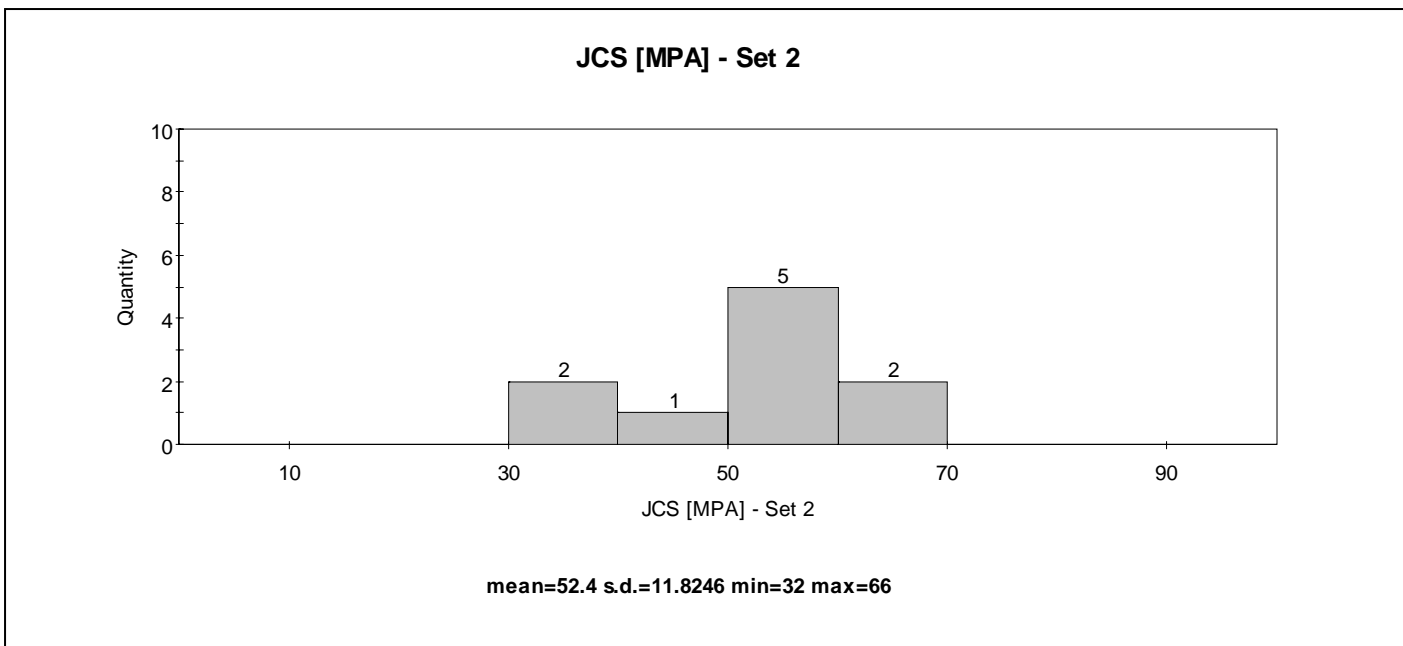
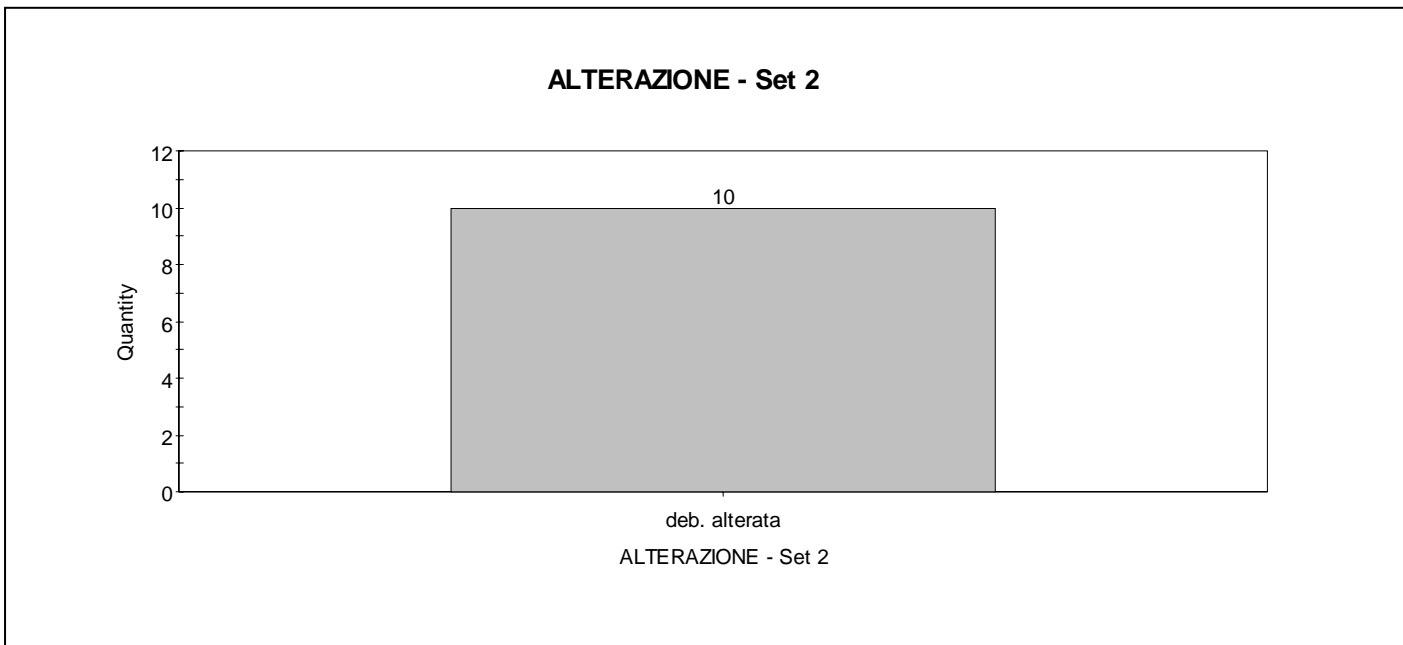
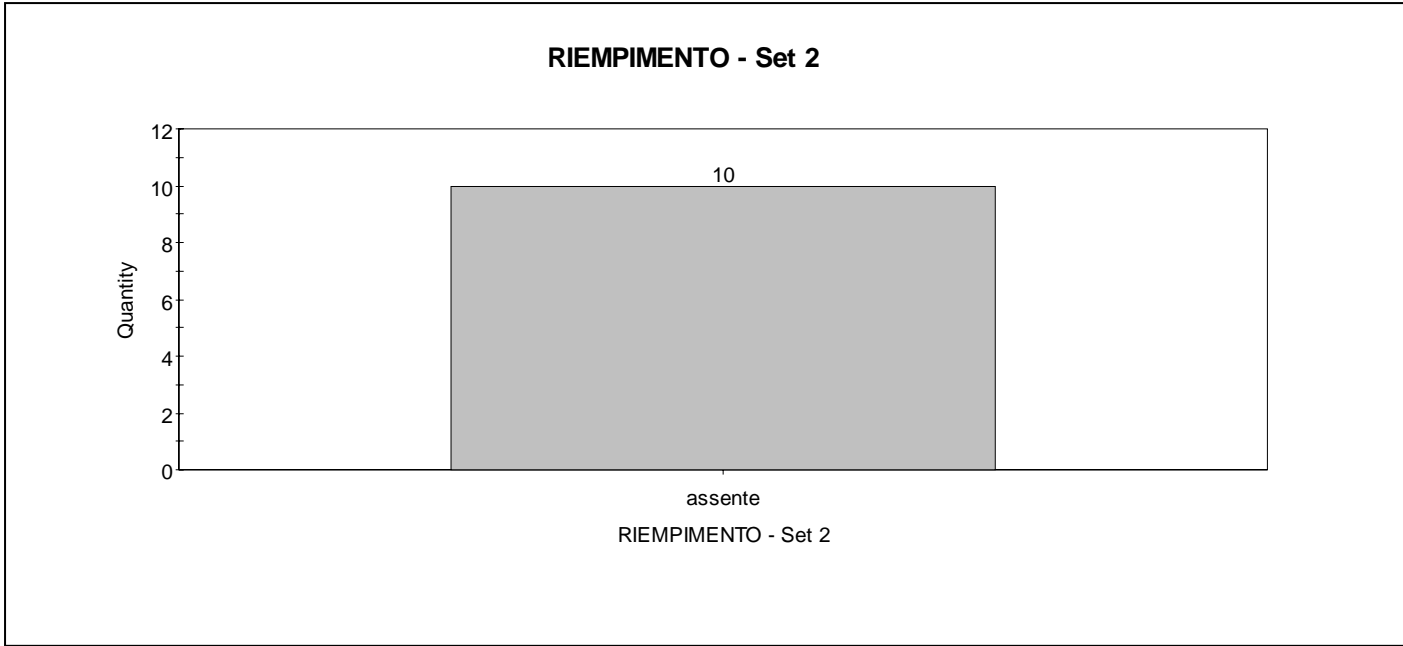


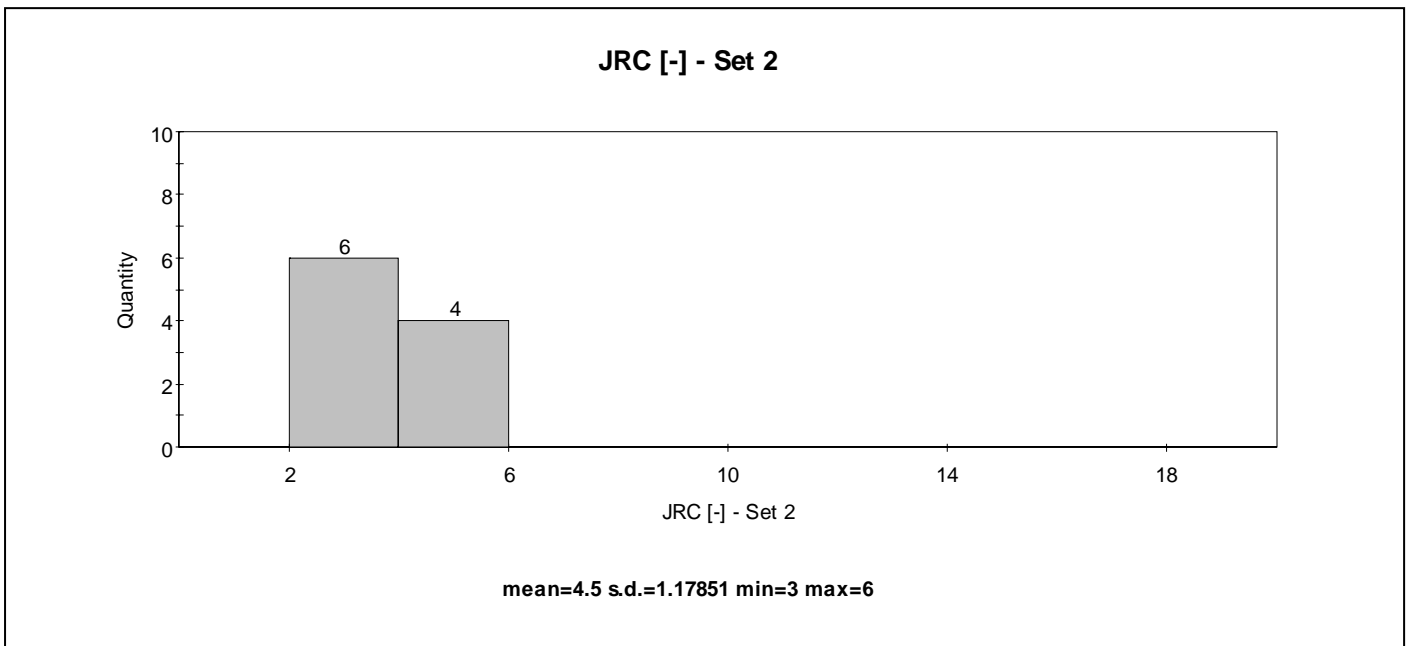
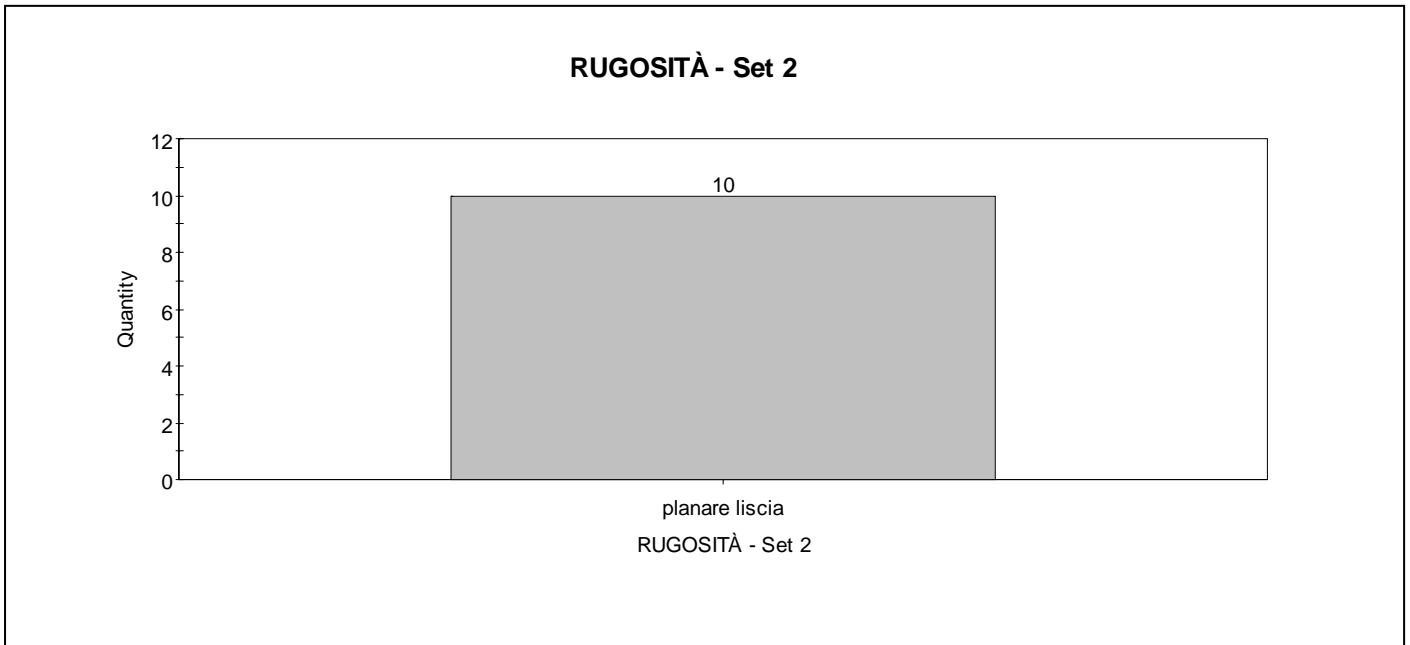


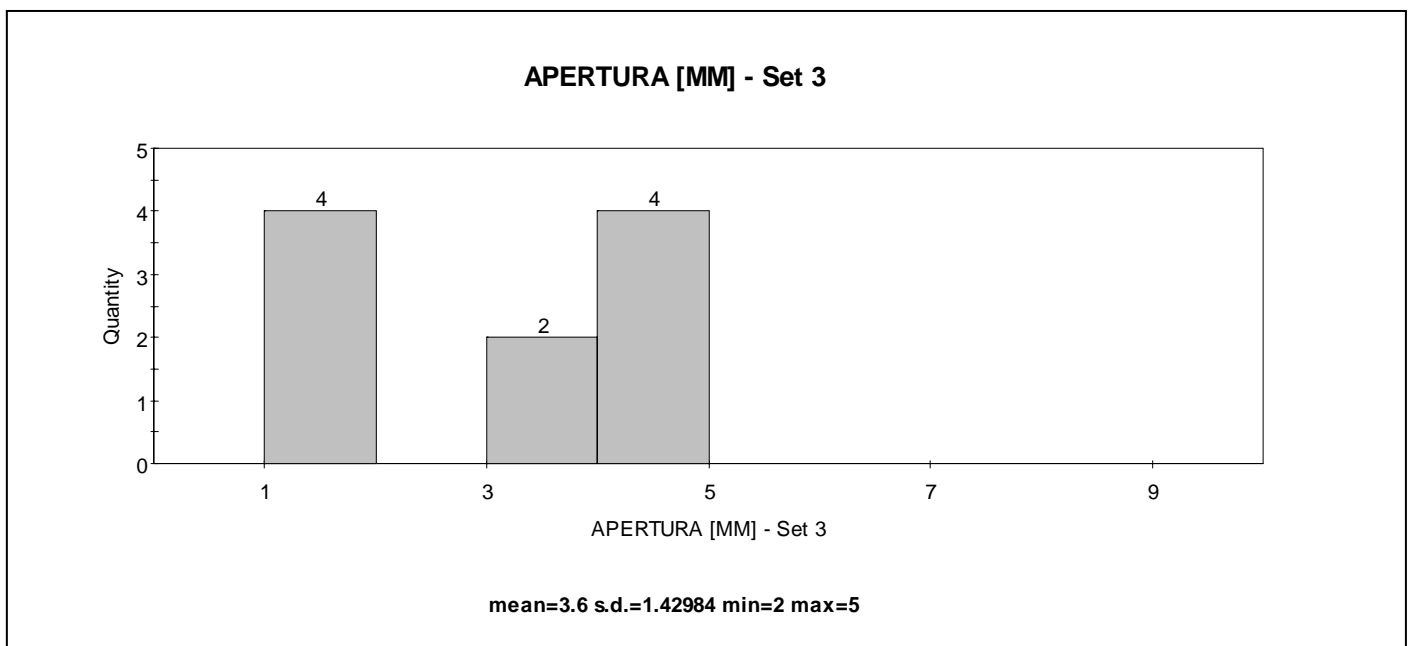
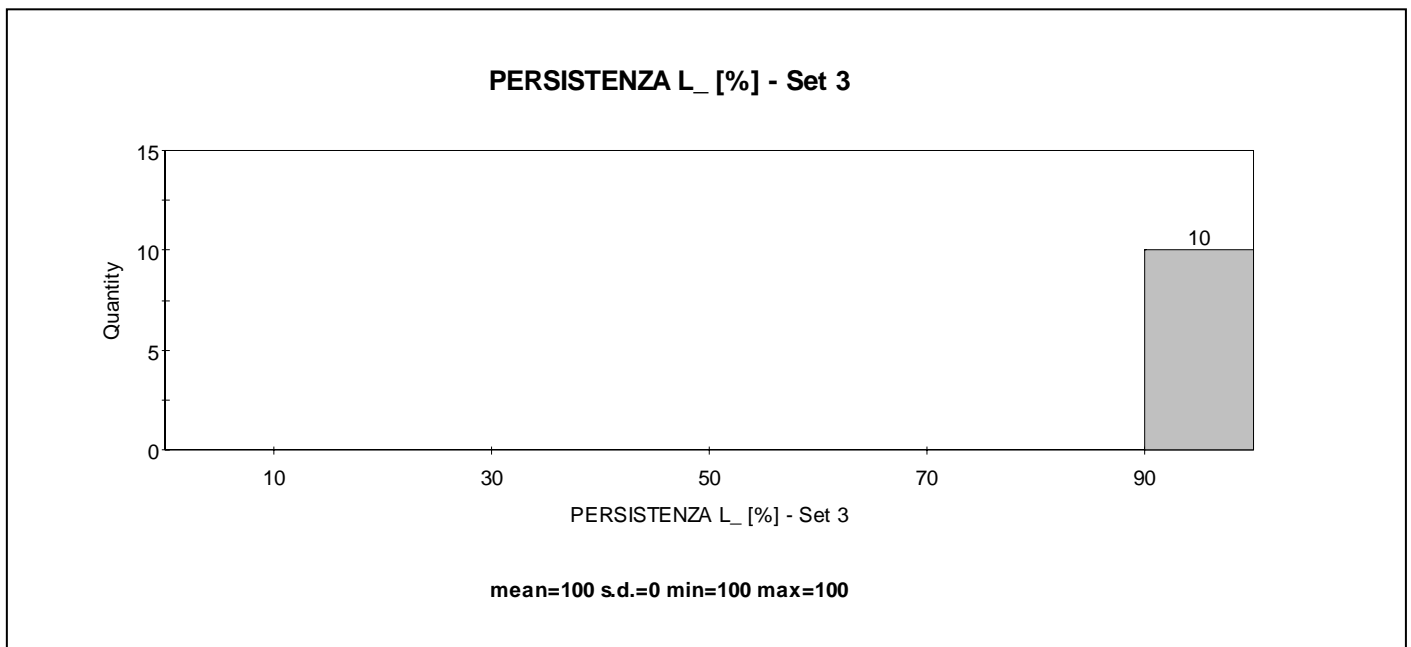
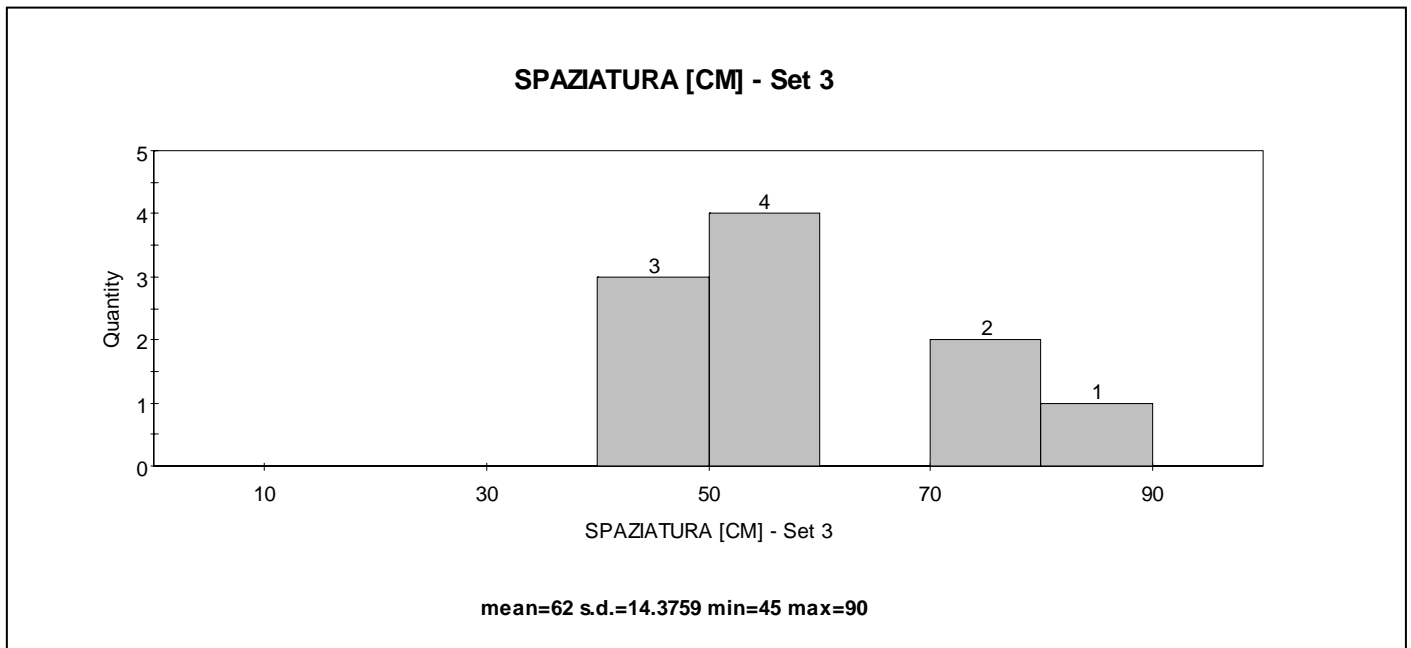


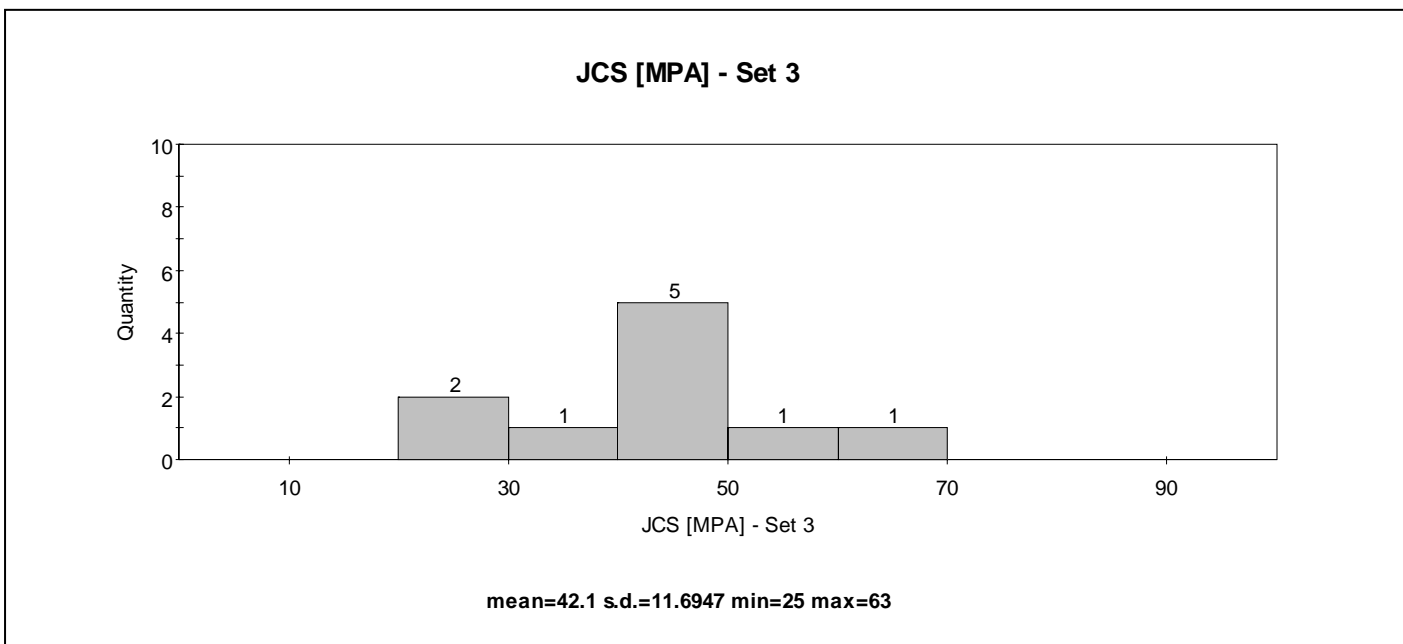
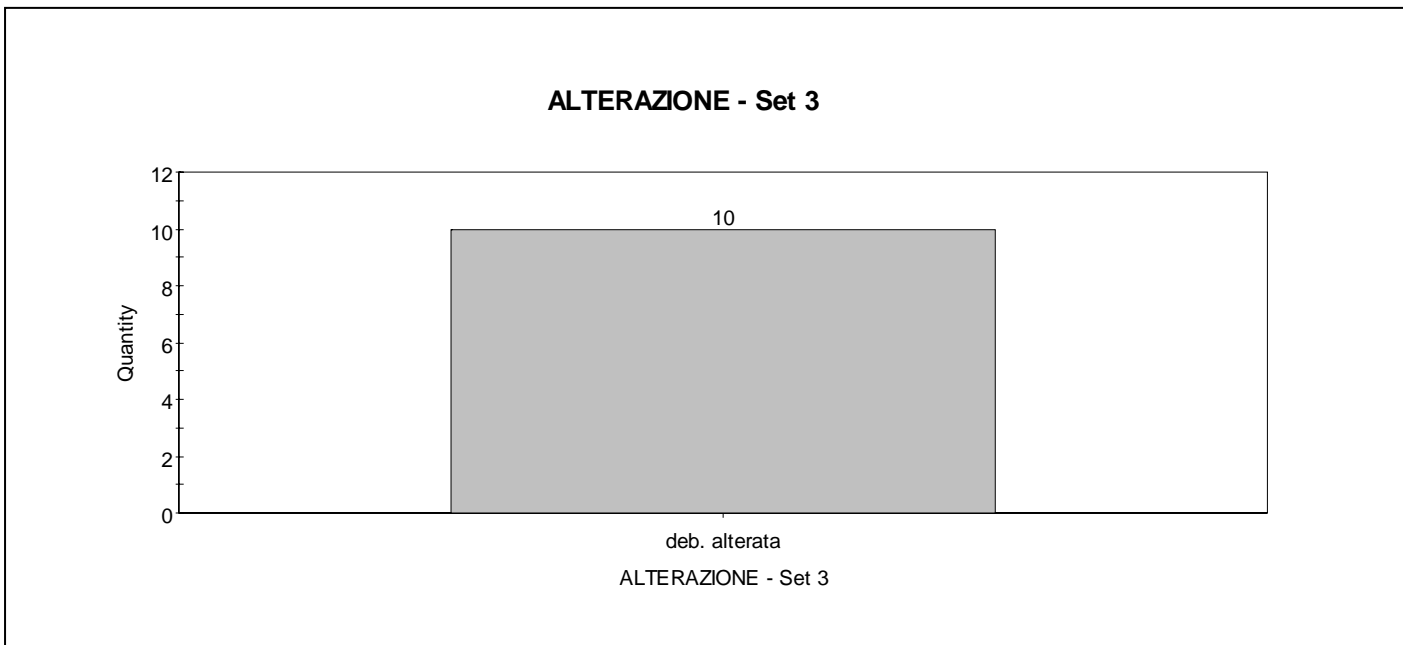
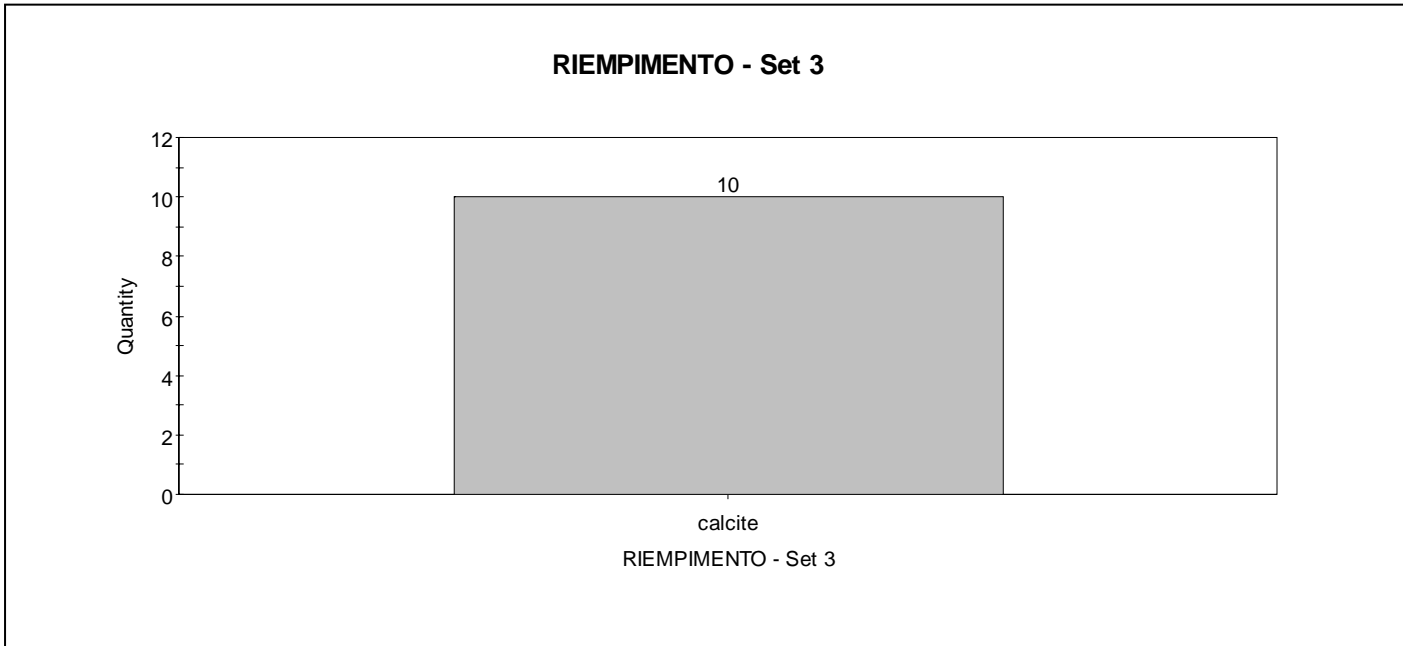




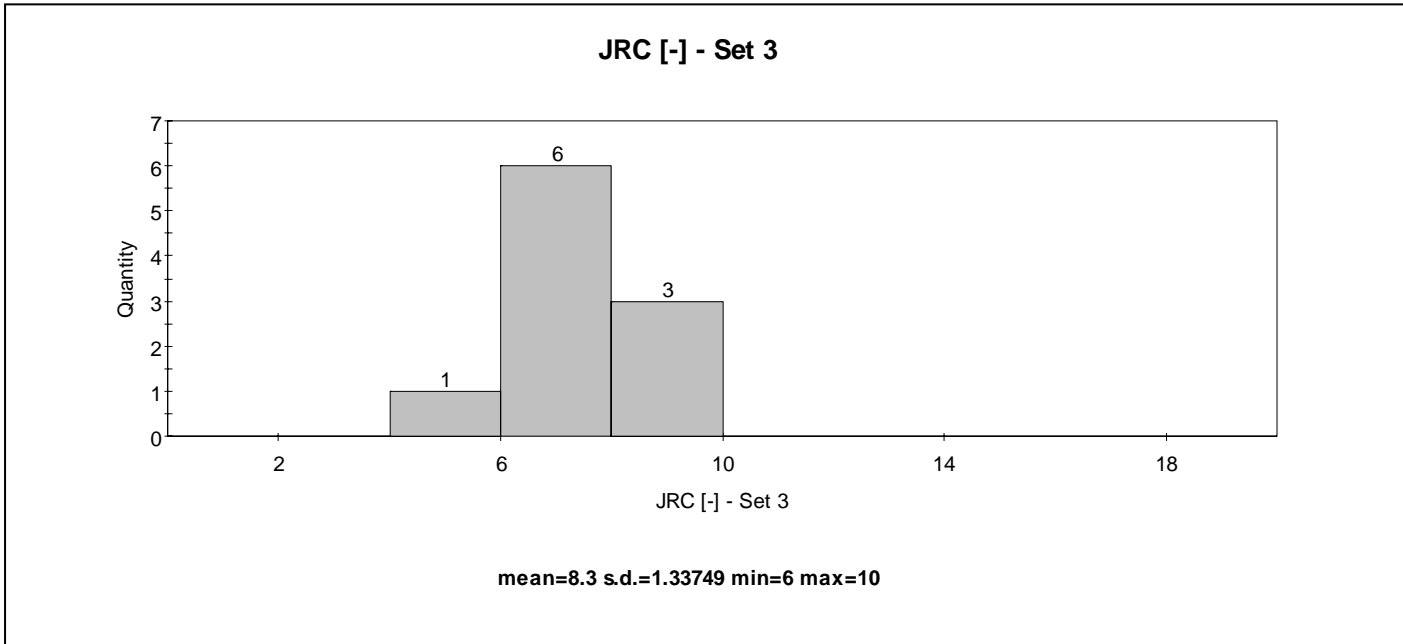
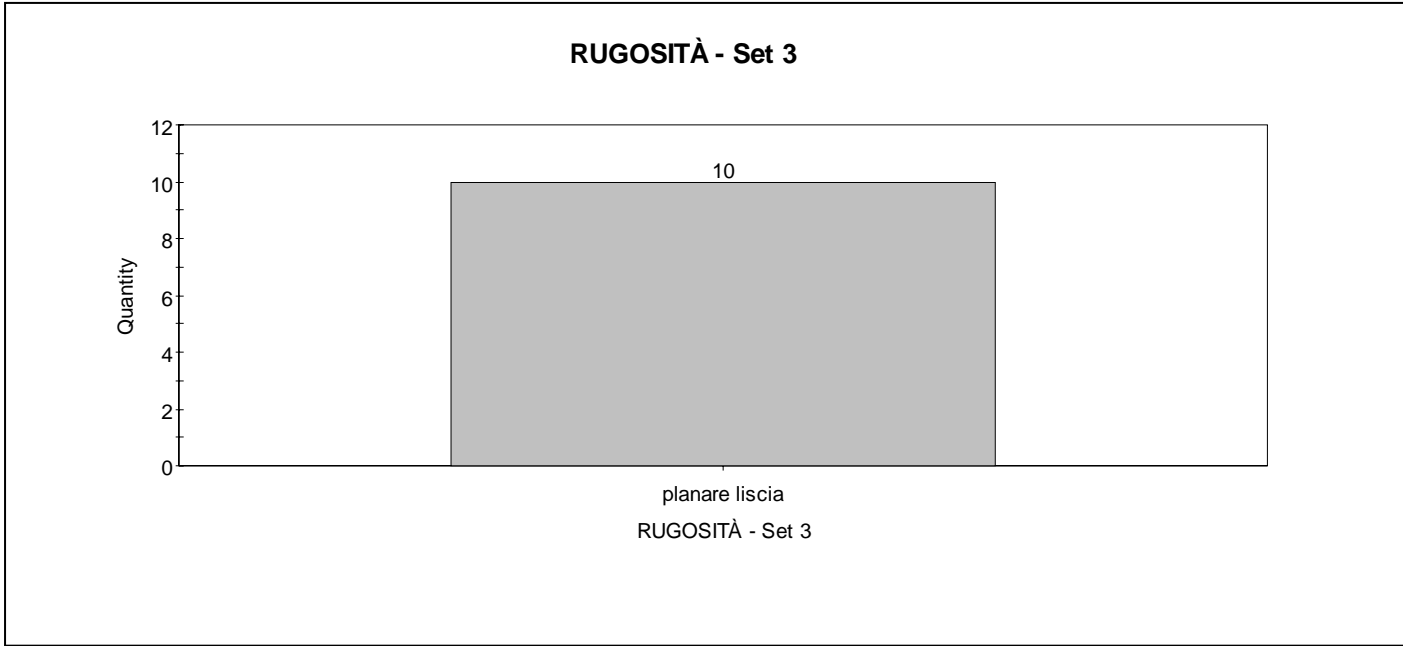


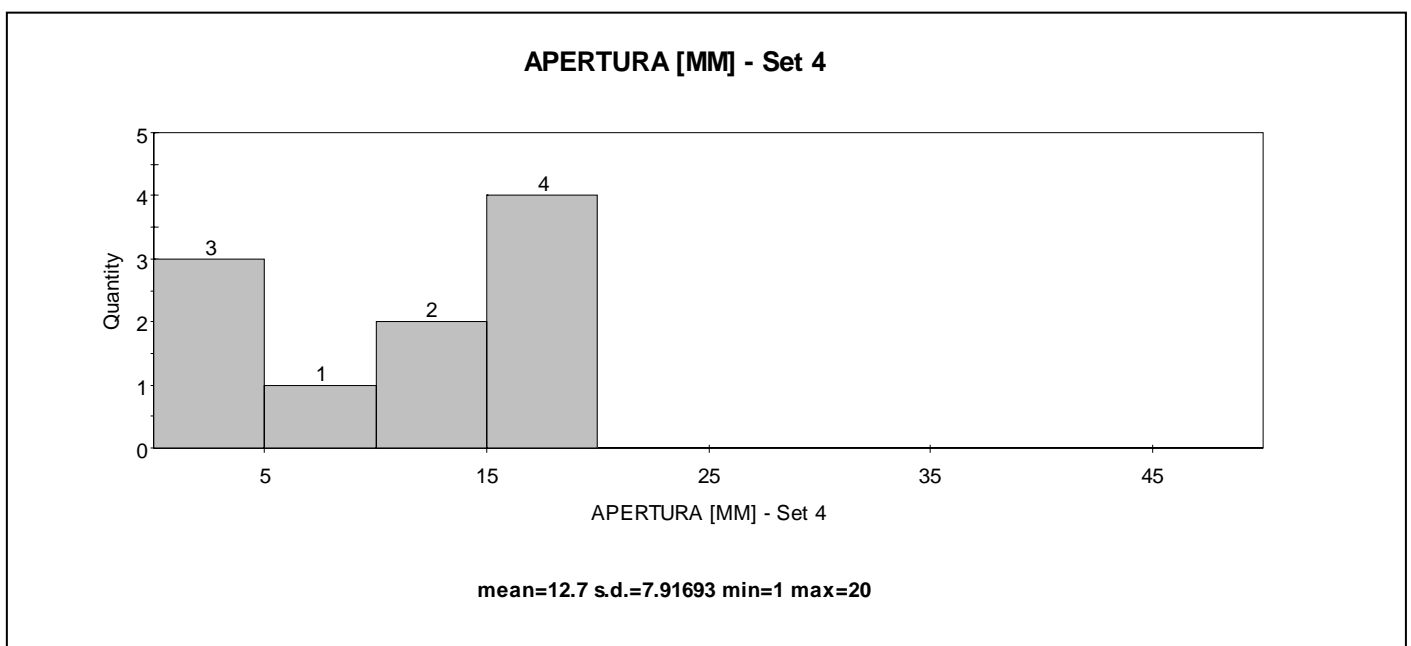
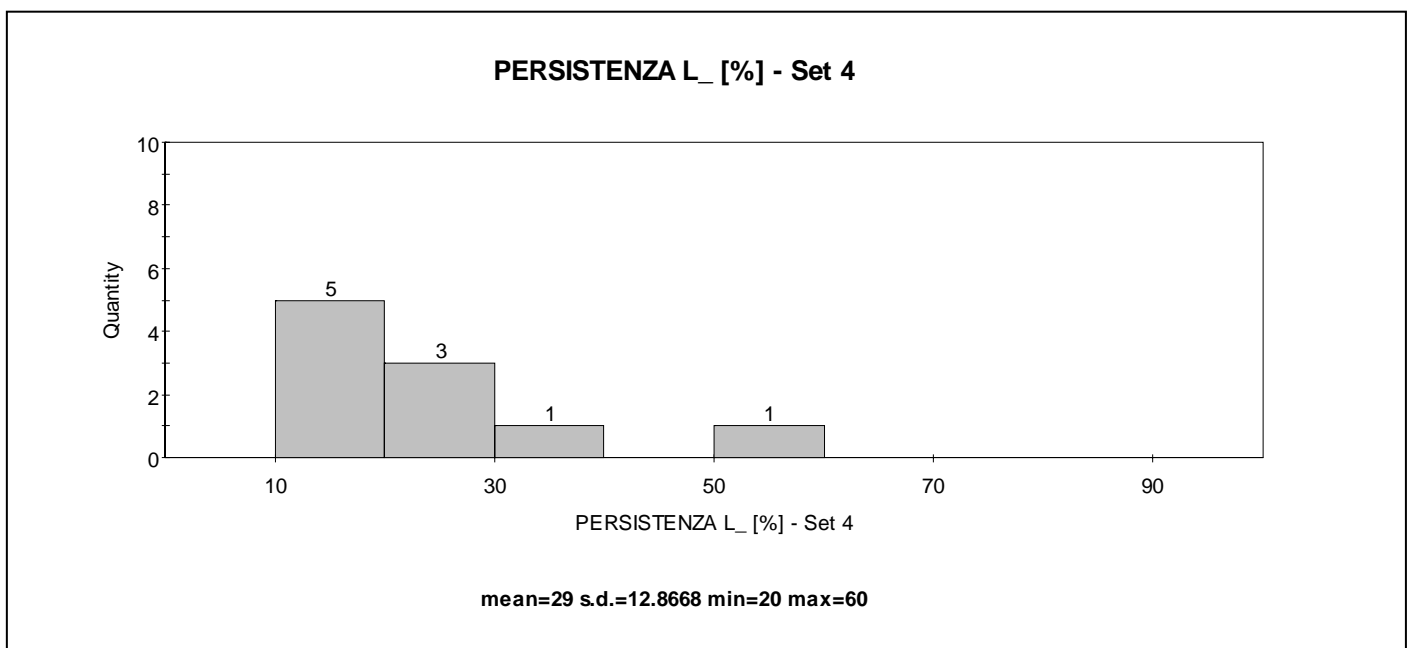
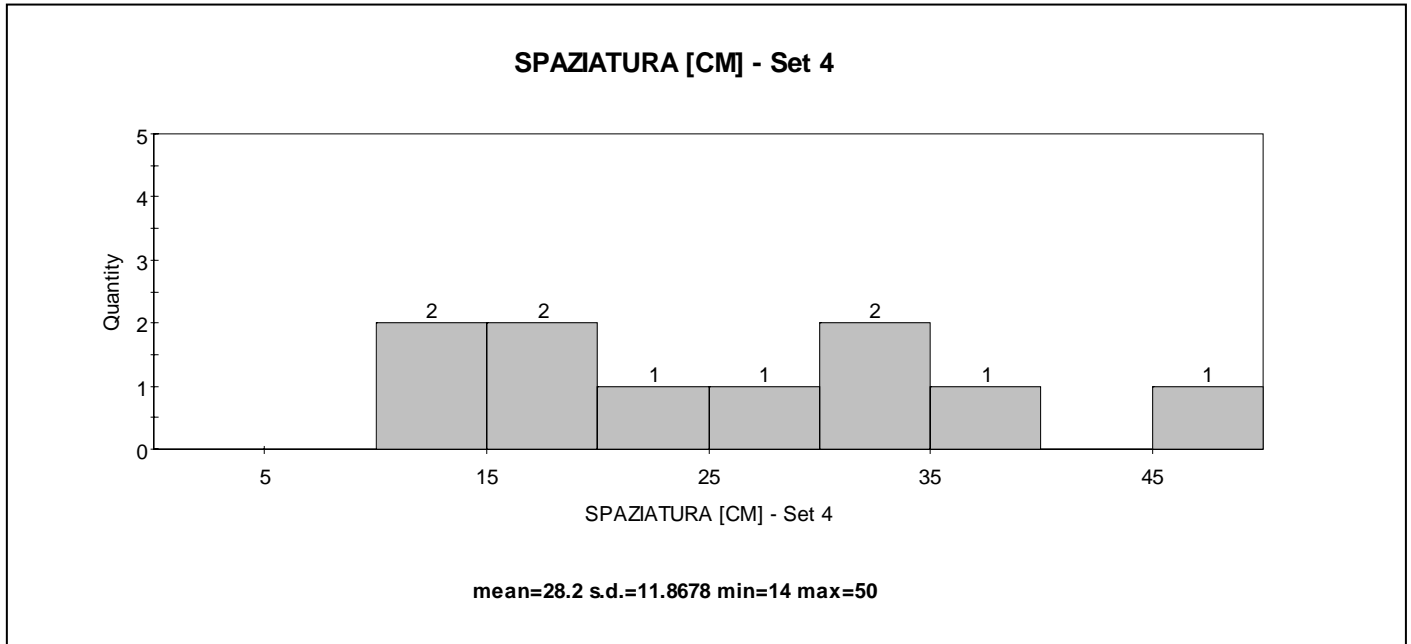


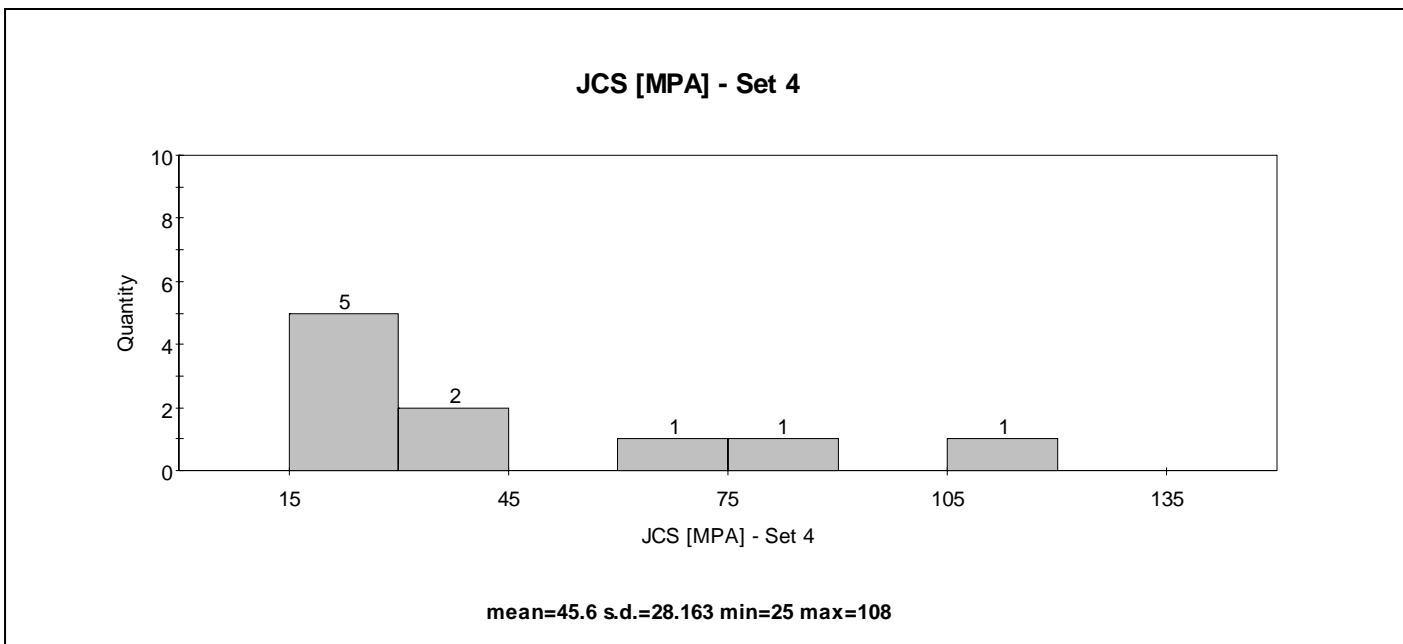
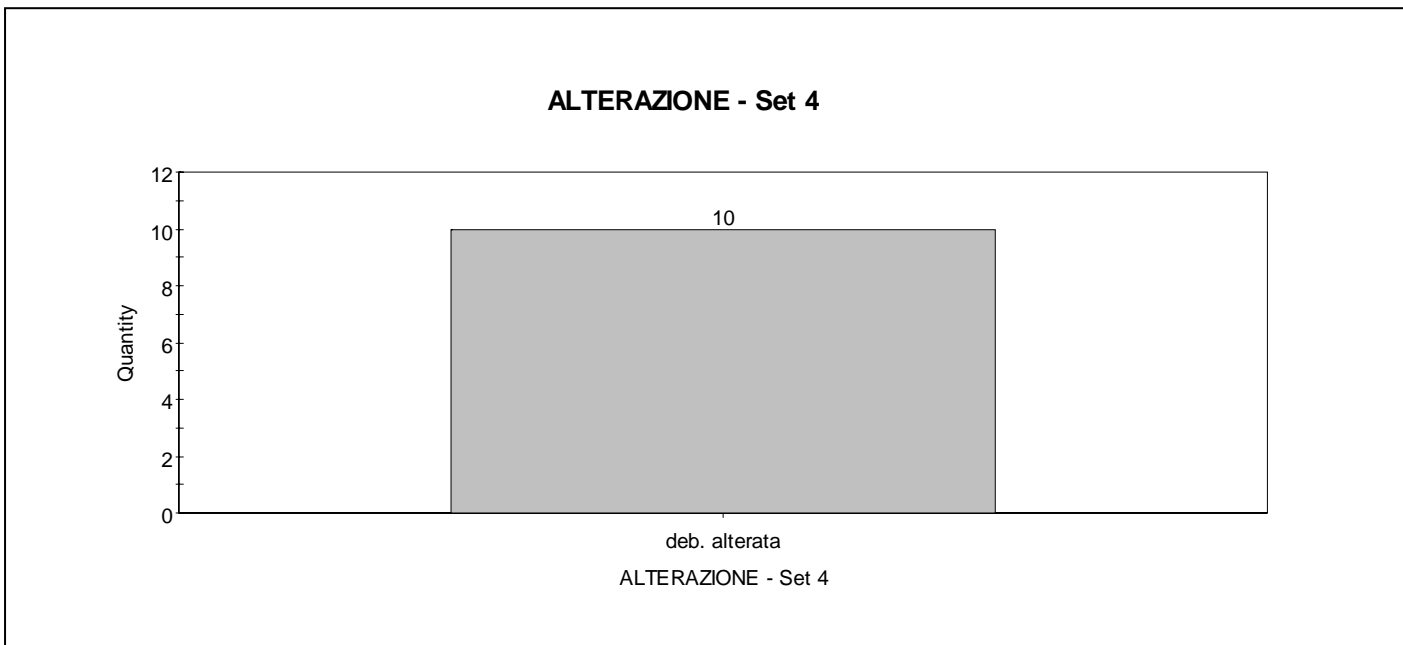
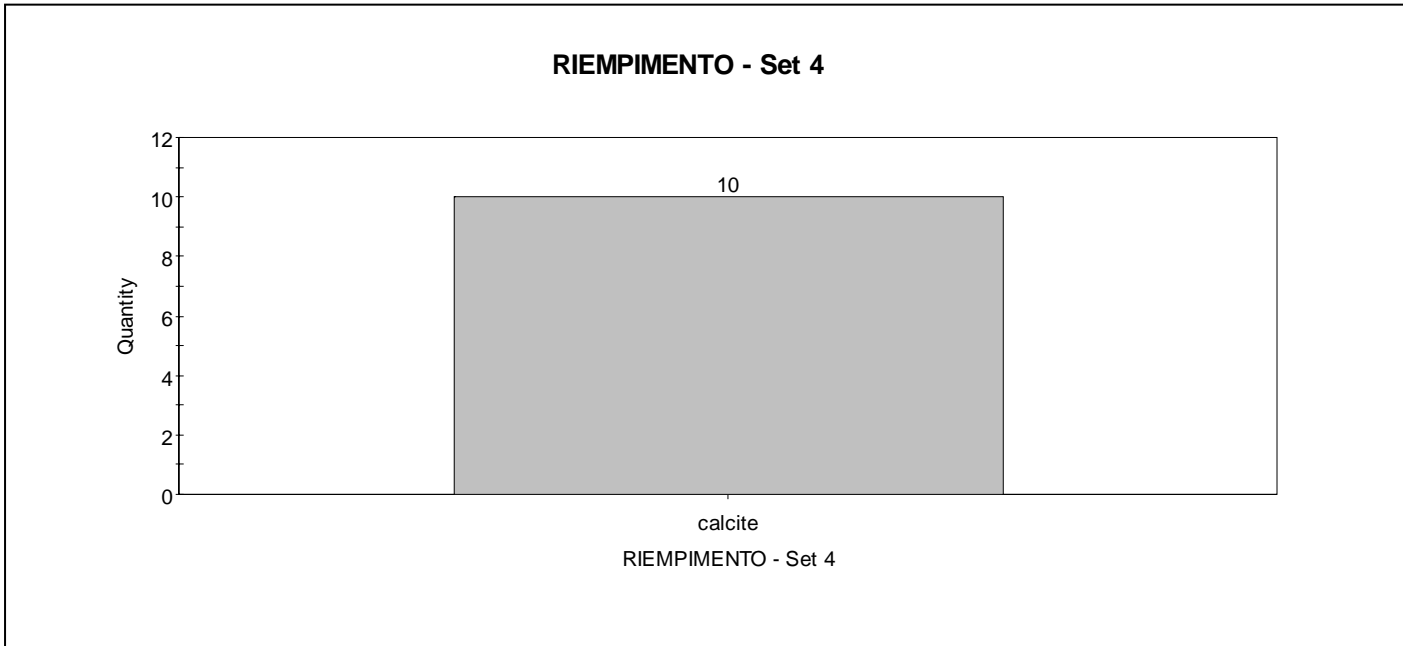


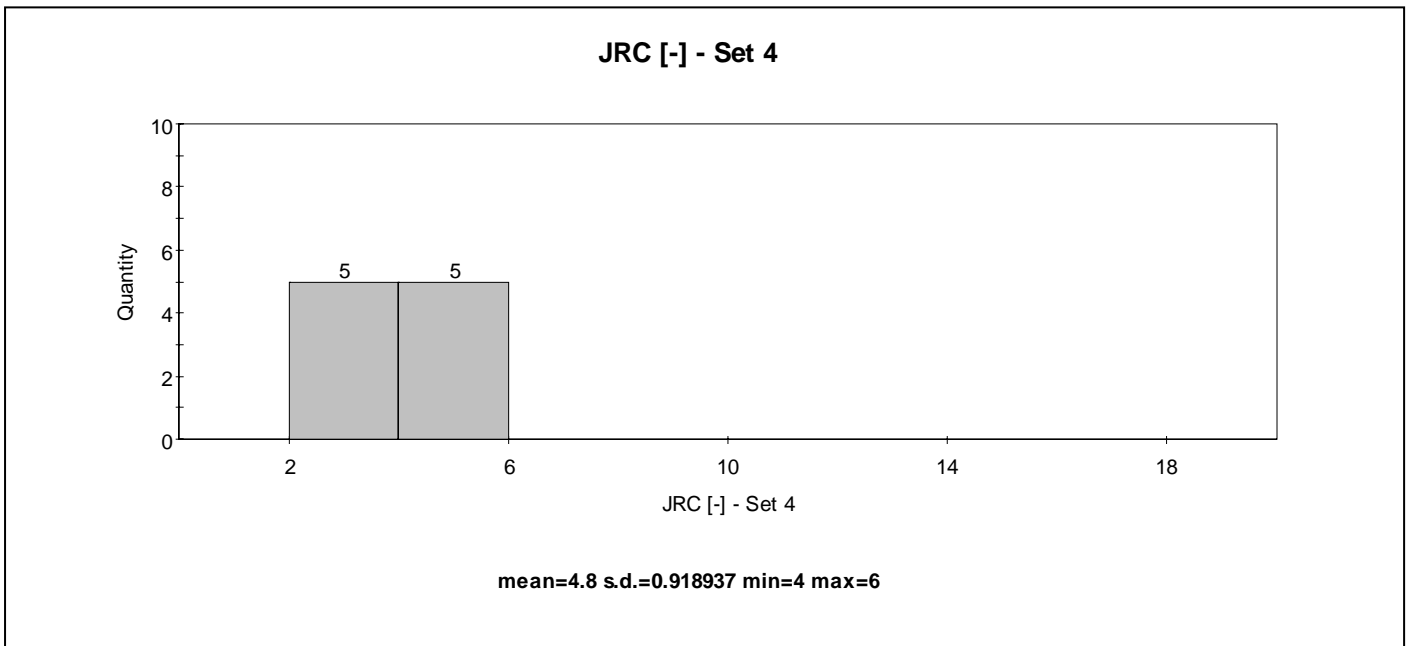
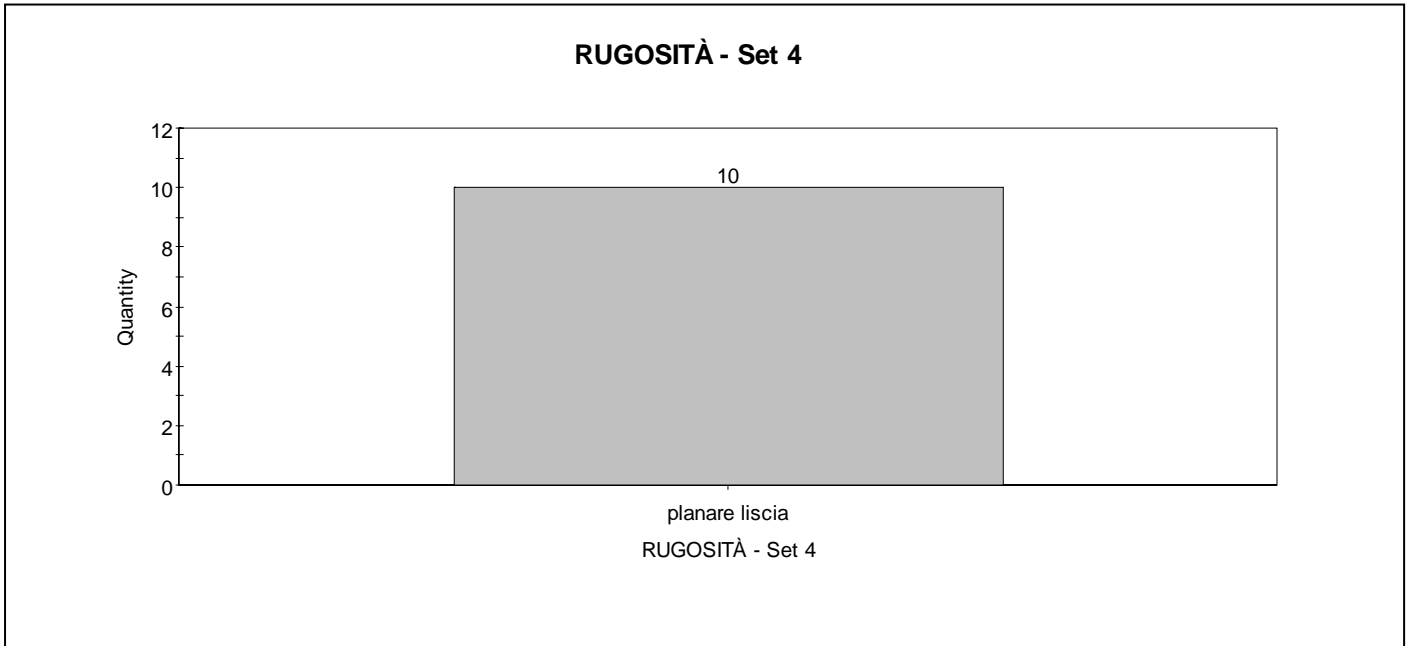


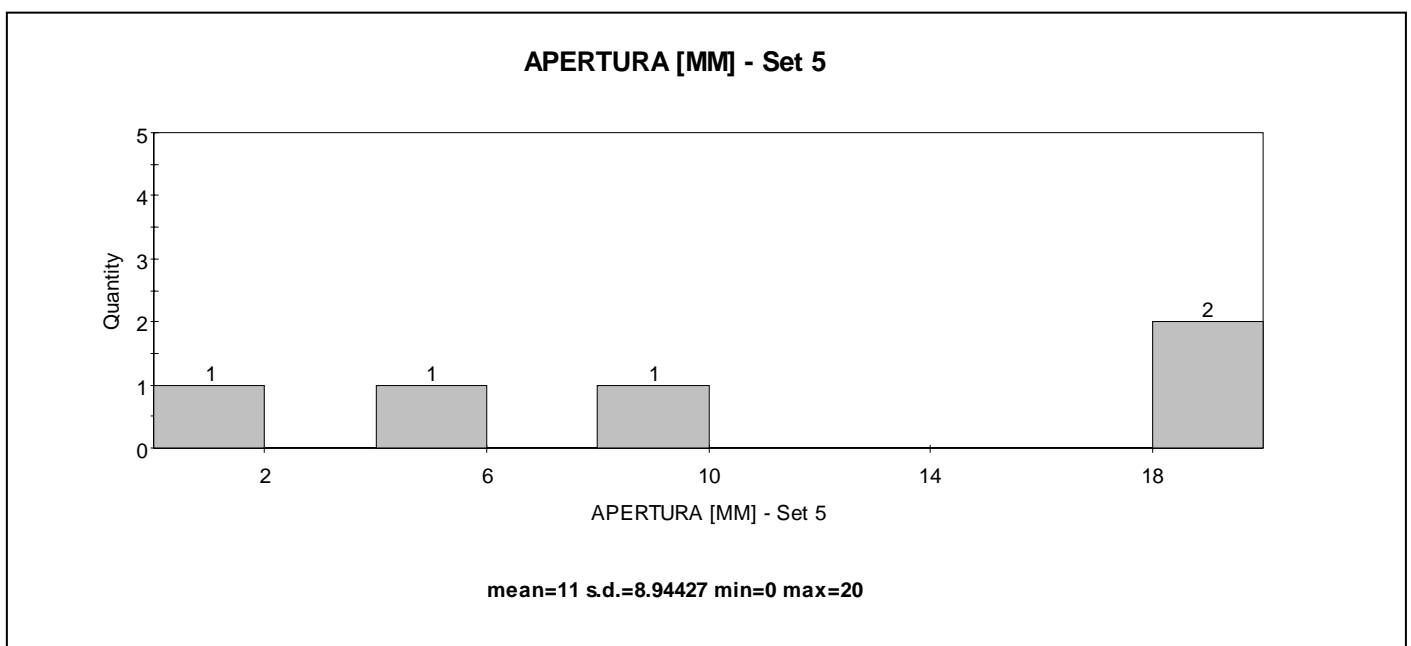
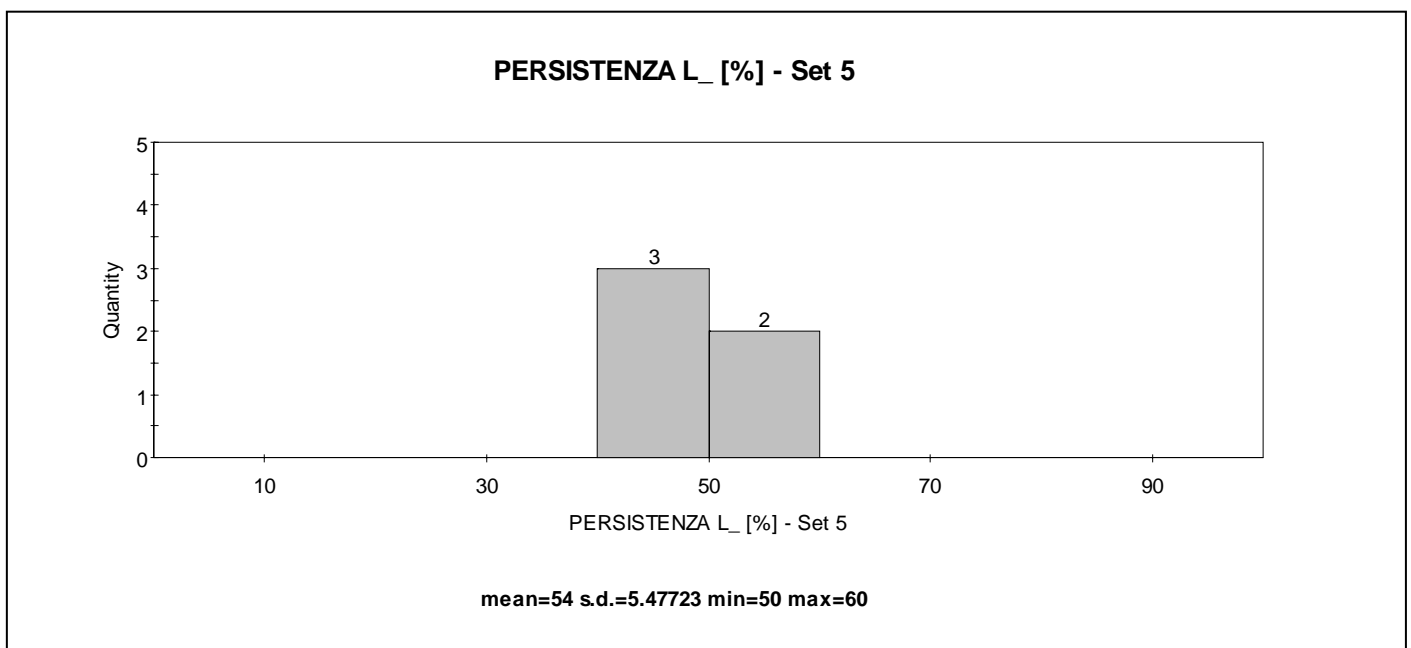
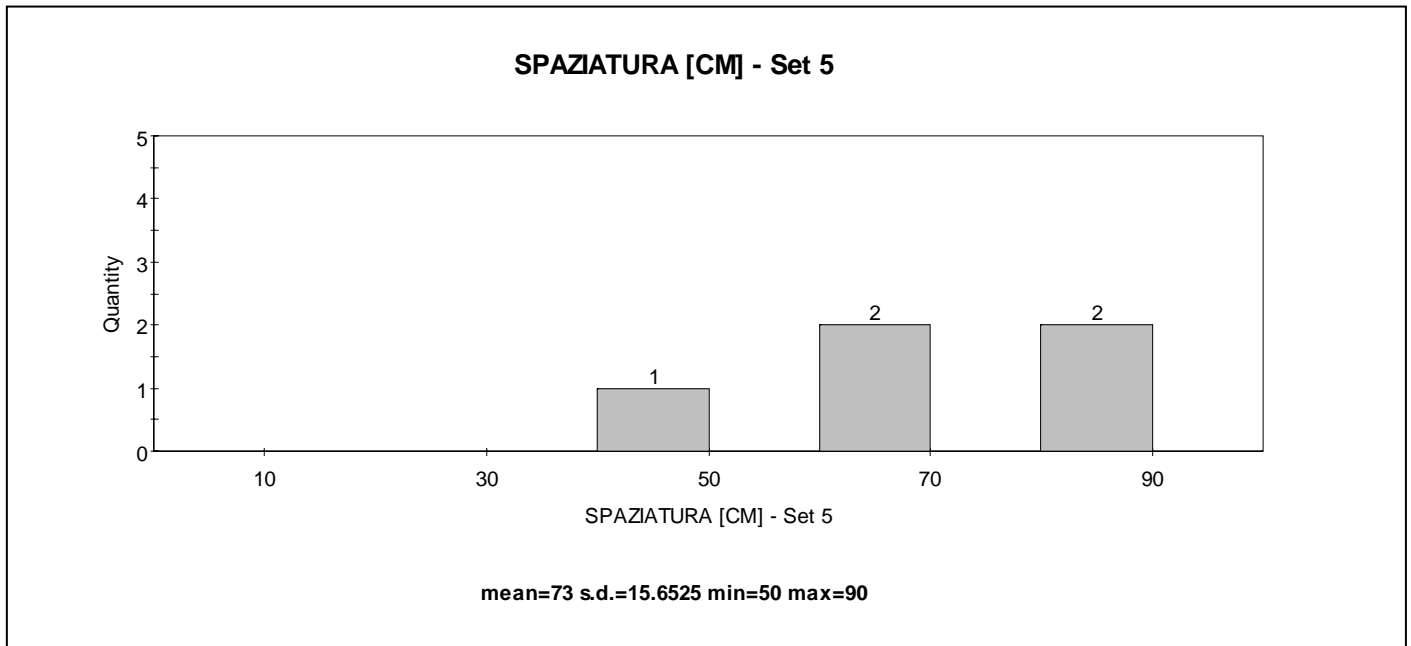


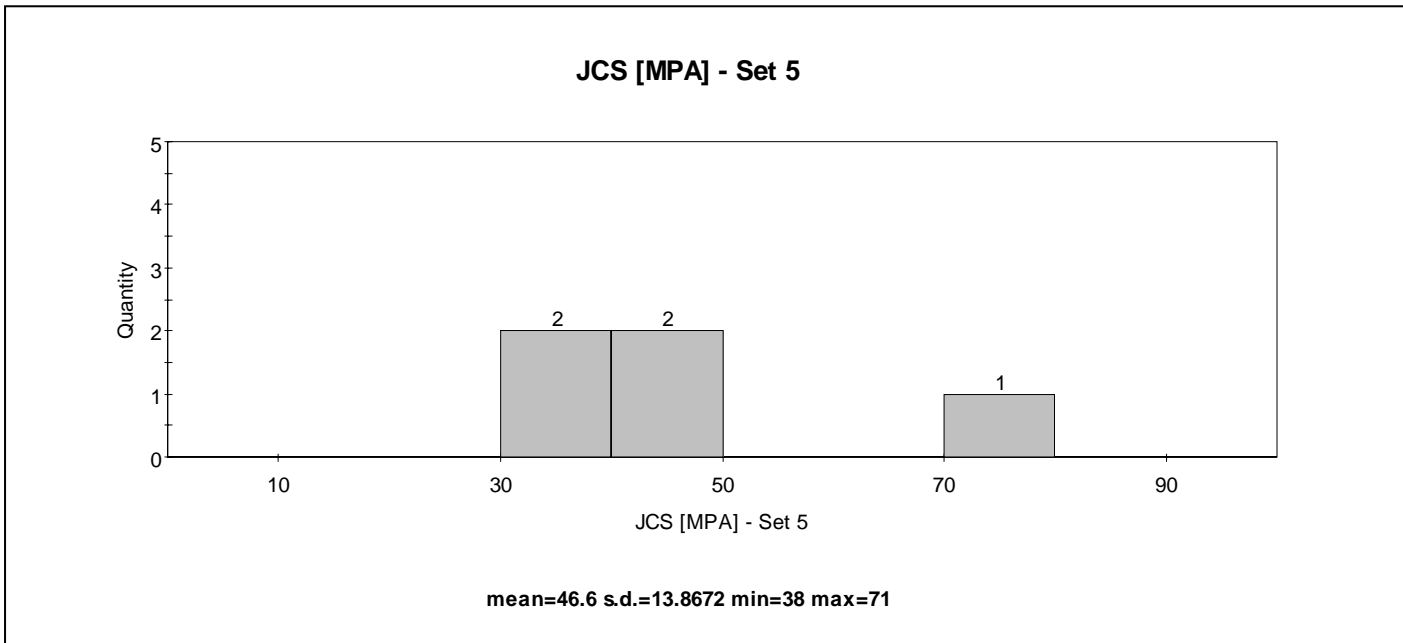
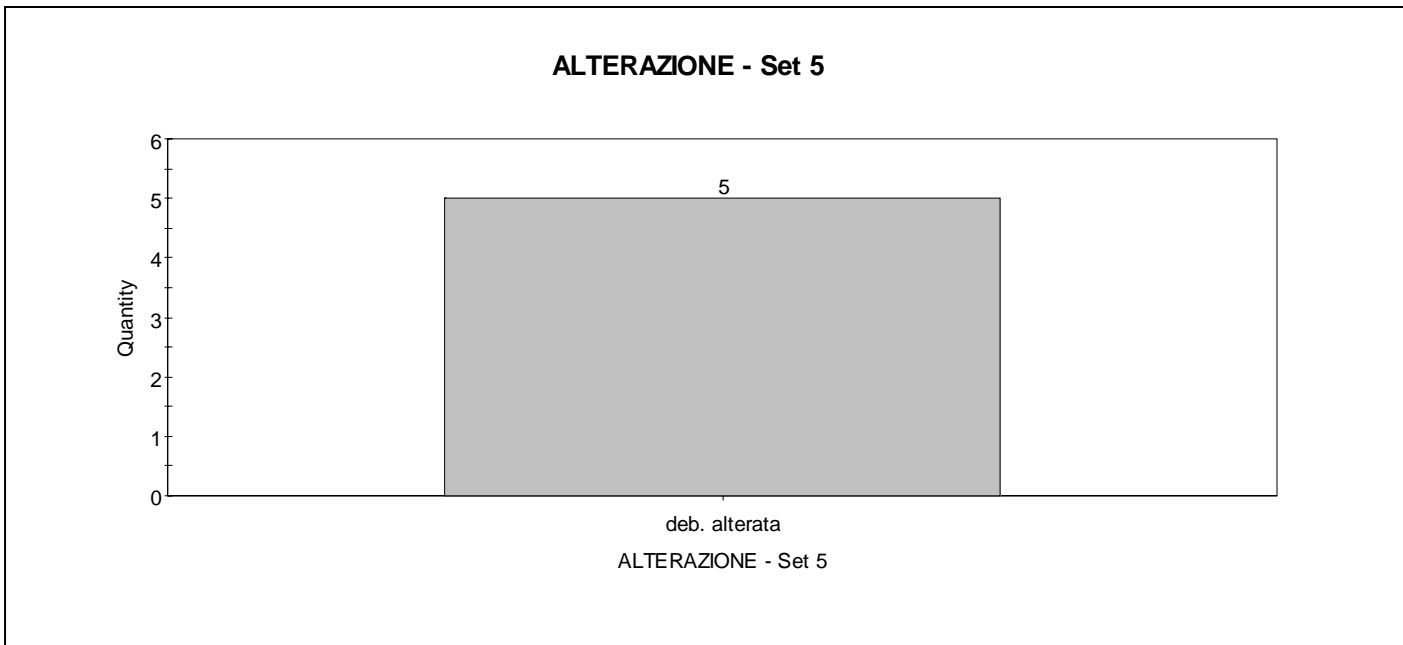
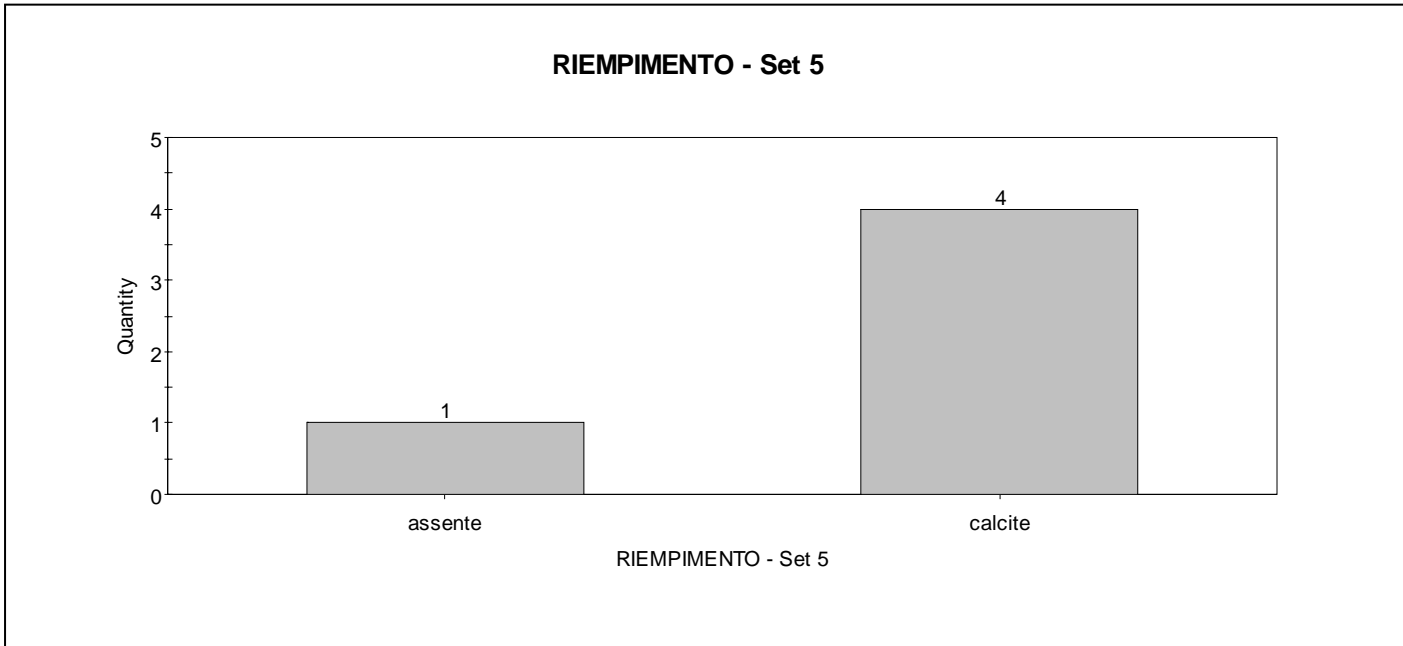


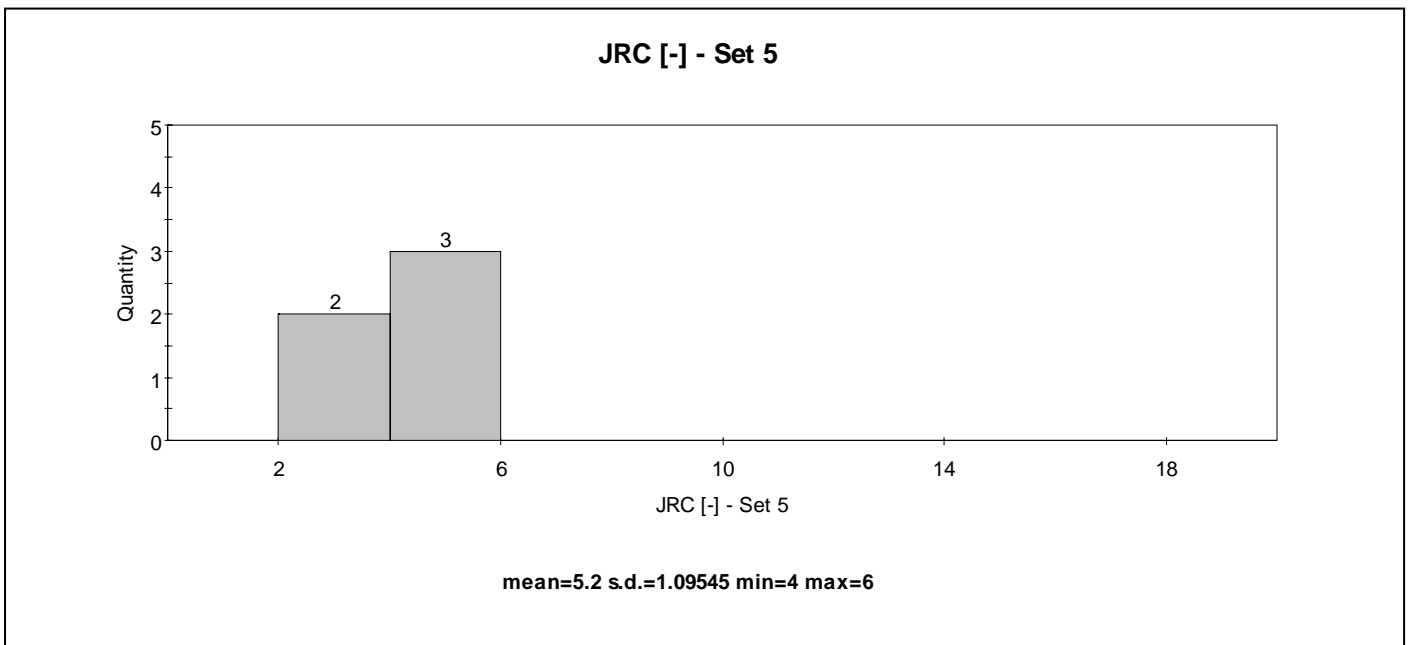
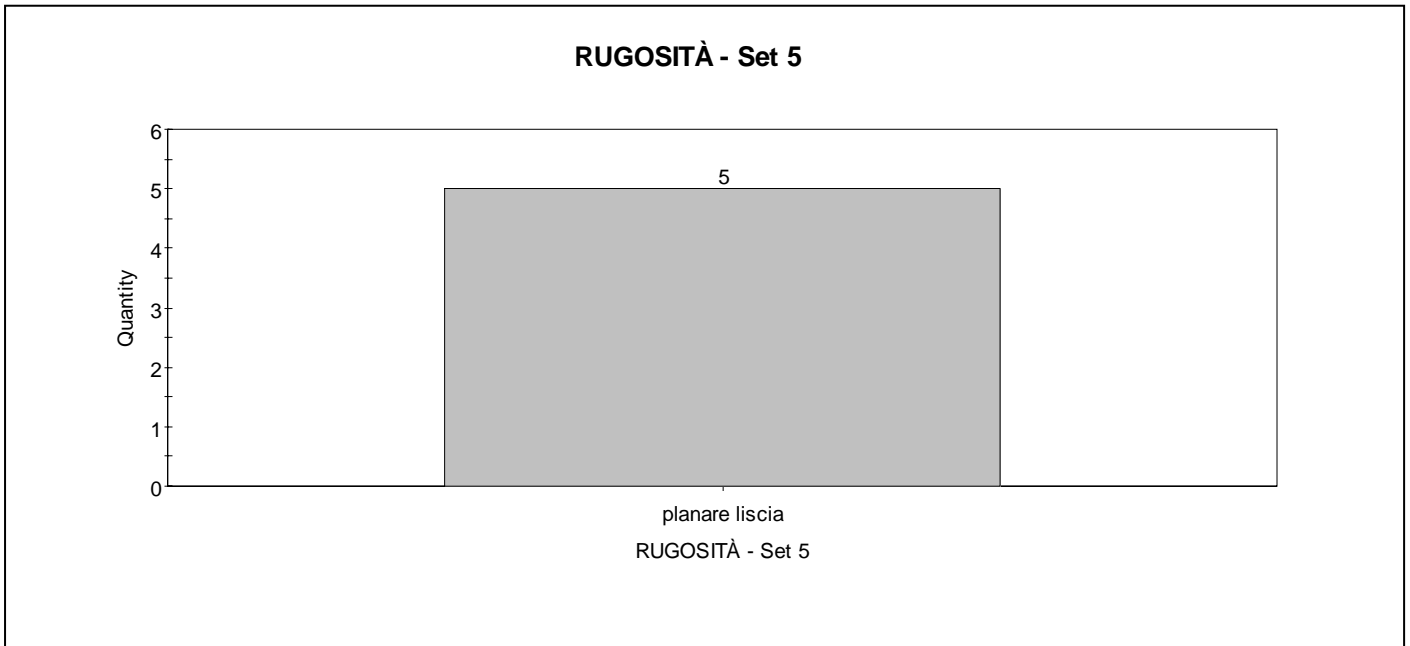










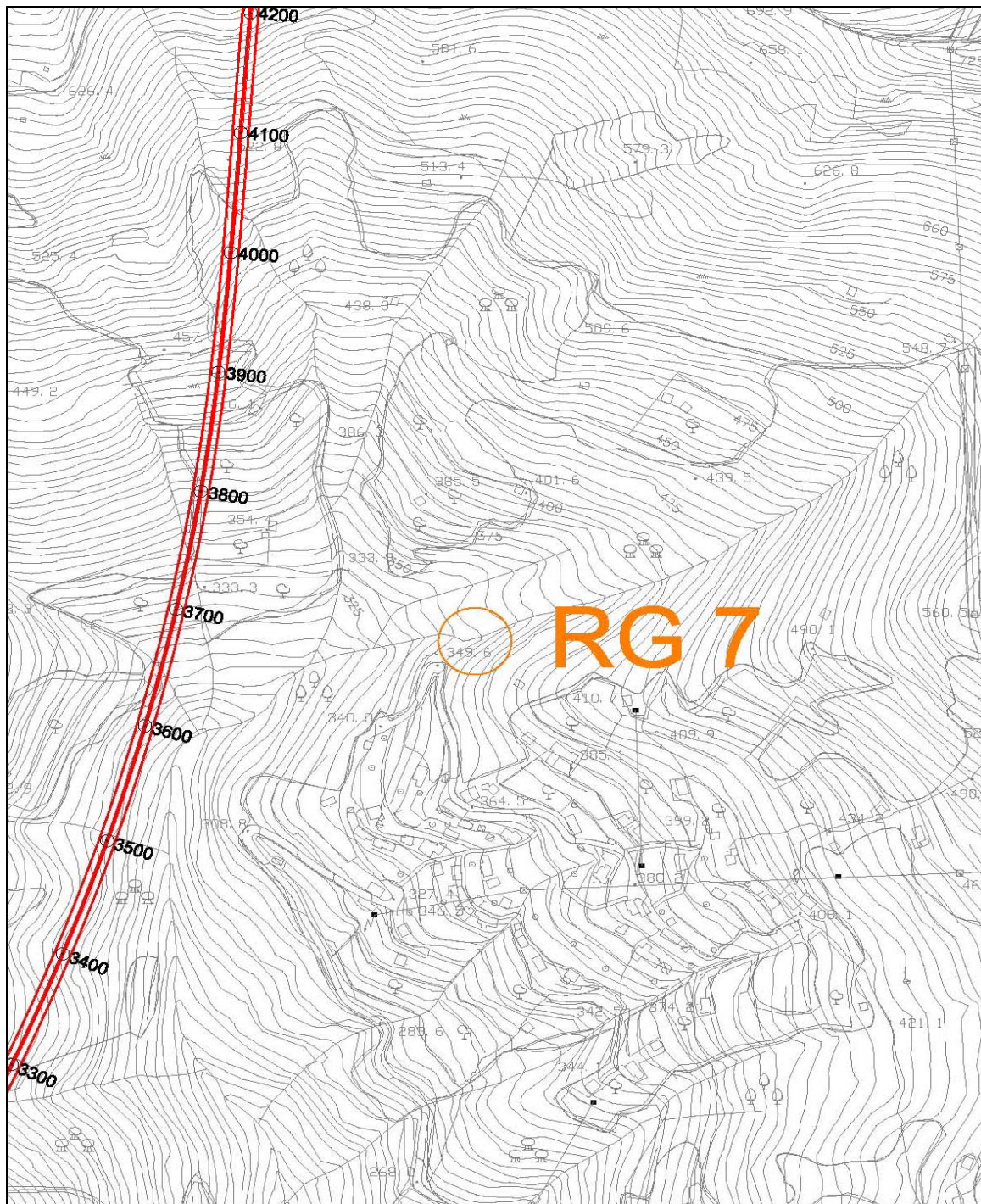


# RILIEVO GEOMECCANICO

Ubicazione area di rilievo

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.			
<b>Commessa</b>	Fontanabuona			
<b>Località</b>	Chignolo			
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga	X: 1515829	Y: 4915351	Quota: 345
<b>Data</b>	19/08/11			
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 7			

## Stralcio planimetrico



Scala 1:5.000







**RILIEVO GEOMECCANICO**  
**Rilievi sclerometrici sul materiale roccia**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.					
<b>Commessa</b>	Fontanabuona					
<b>Località</b>	Chignolo					
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga X: 1515829		Y: 4915351		Quota: 345	
<b>Data</b>	19/08/11					
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG7					

n°	litologia A					
	R	$\alpha$	corr.	R'	$\gamma$	$\sigma_{ci}$
	[-]	[°]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]
1	22	-90	0	22	26	32,61
2	20	-90	0	20	26	29,35
3	20	-90	0	20	26	29,35
4	20	-90	0	20	26	29,35
5	30	-90	0	30	26	49,70
6	36	-90	0	36	26	68,18
7	40	-90	0	40	26	84,18
8	38	-90	0	38	26	75,76
9	26	-90	0	26	26	40,26
10	35	-90	0	35	26	64,68
11	25	-90	0	25	26	38,19
12	26	-90	0	26	26	40,26
13	34	-90	0	34	26	61,36
14	38	-90	0	38	26	75,76
15	32	-90	0	32	26	55,23
16	32	-90	0	32	26	55,23
17	34	-90	0	34	26	61,36
18	38	-90	0	38	26	75,76
19	36	-90	0	36	26	68,18
20	30	-90	0	30	26	49,70

**Variabilità statistica**

$\sigma_{ci}$ [MPa]	
media	dev. st.
54,22	17,63

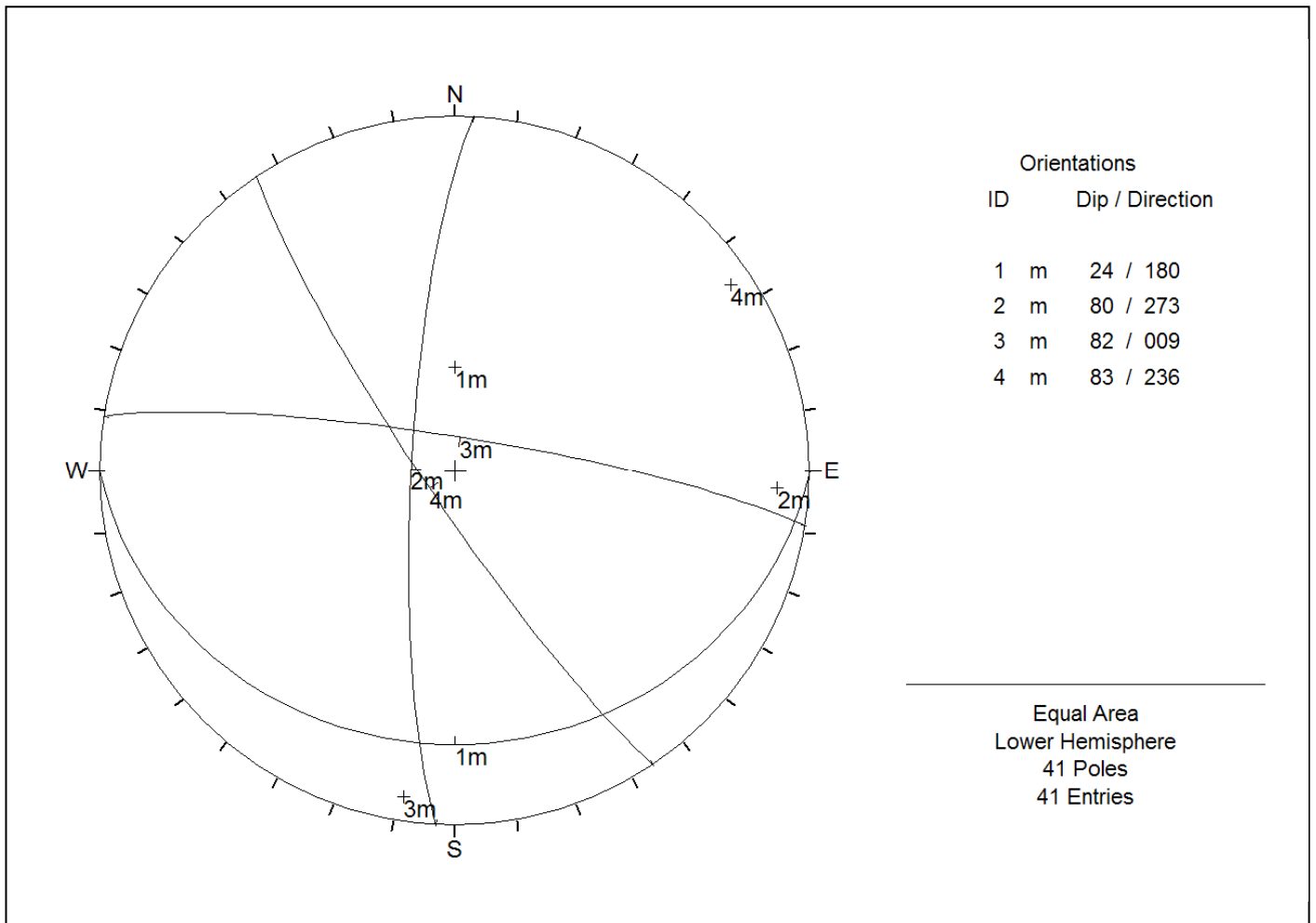
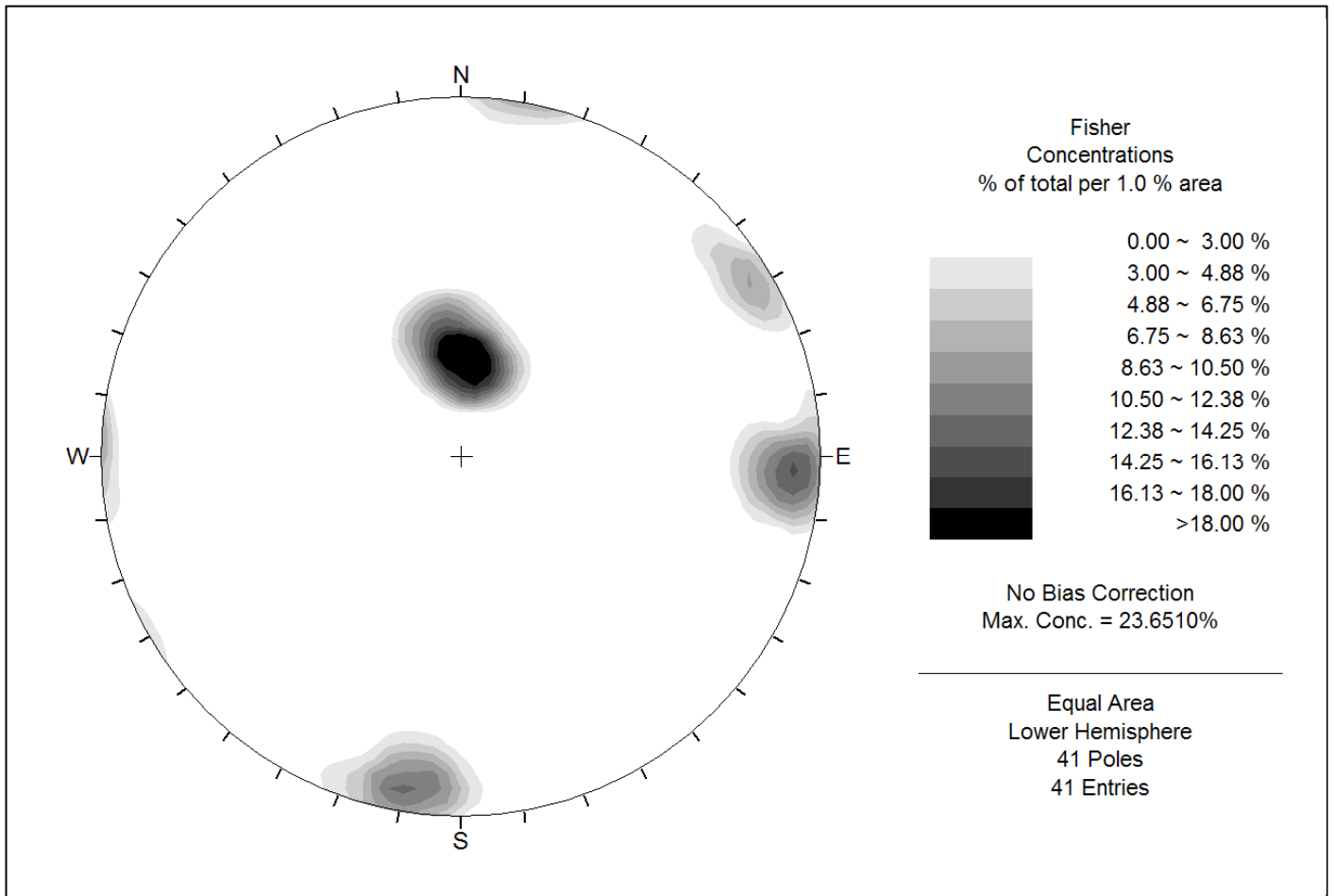
mediana	percentili	
	5°	95°
55,23	29,35	76,18

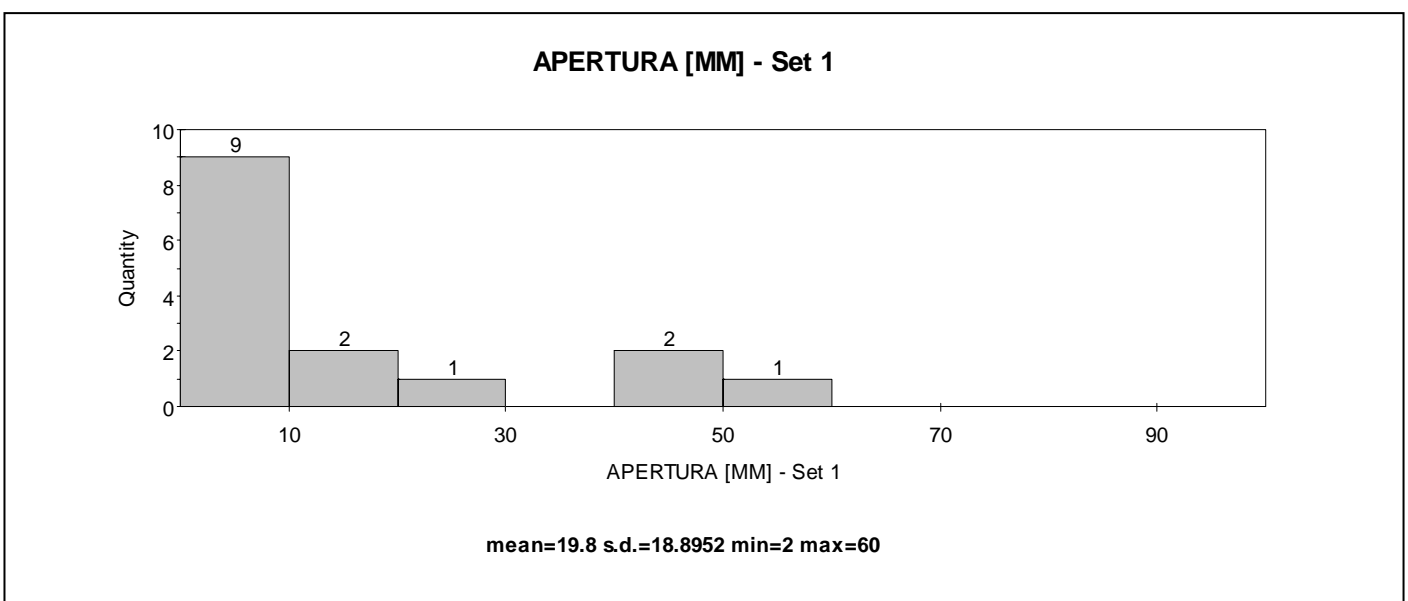
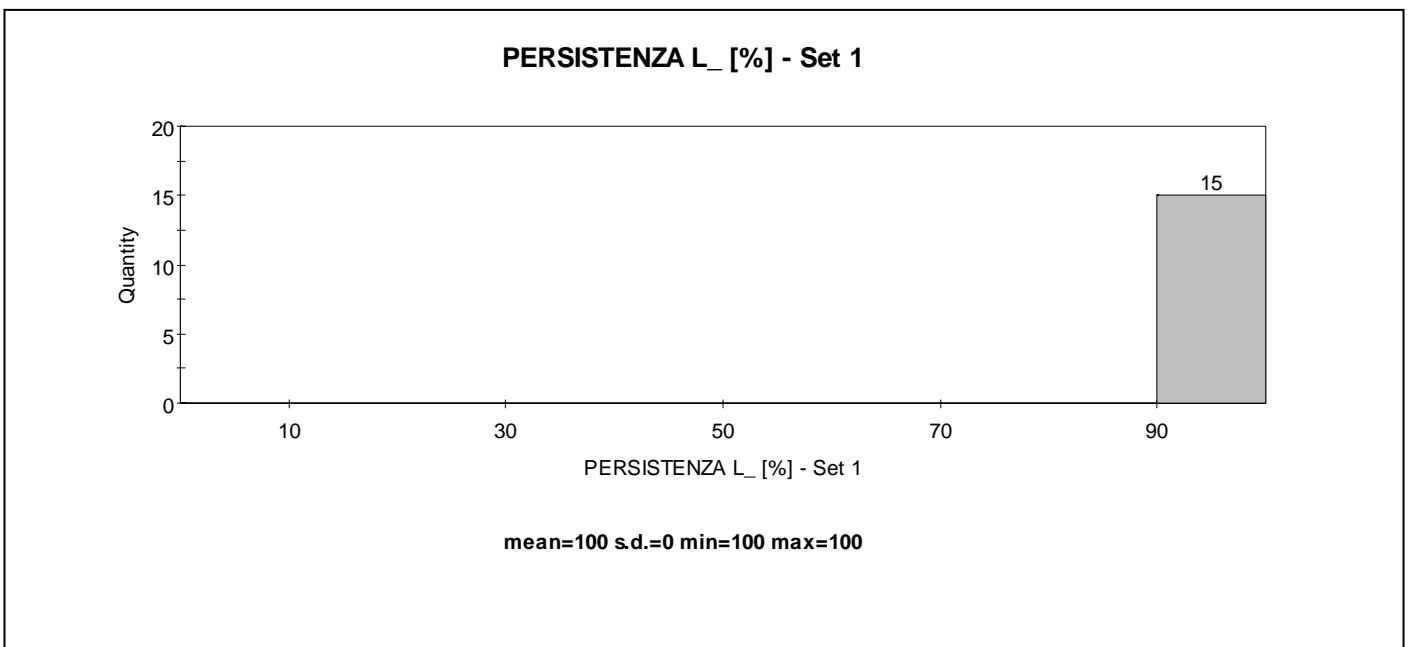
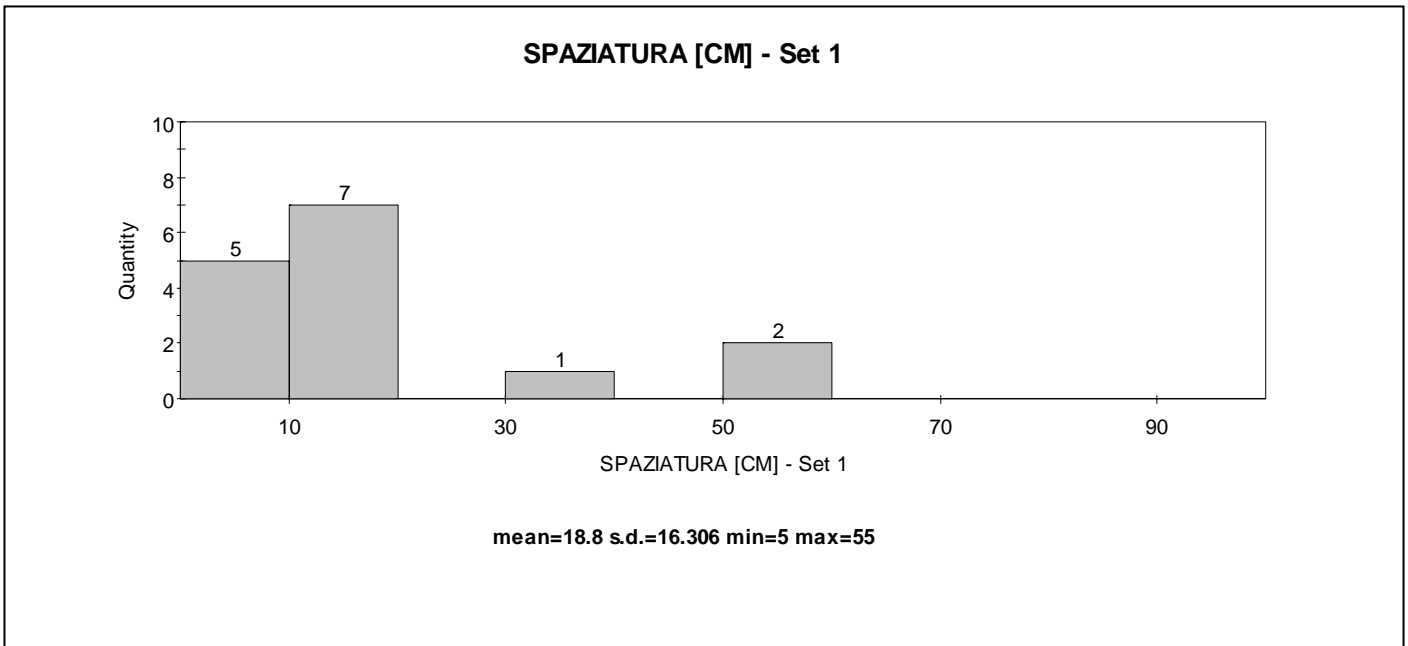
n°	litologia B					
	R	$\alpha$	corr.	R'	$\gamma$	$\sigma_{ci}$
	[-]	[°]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

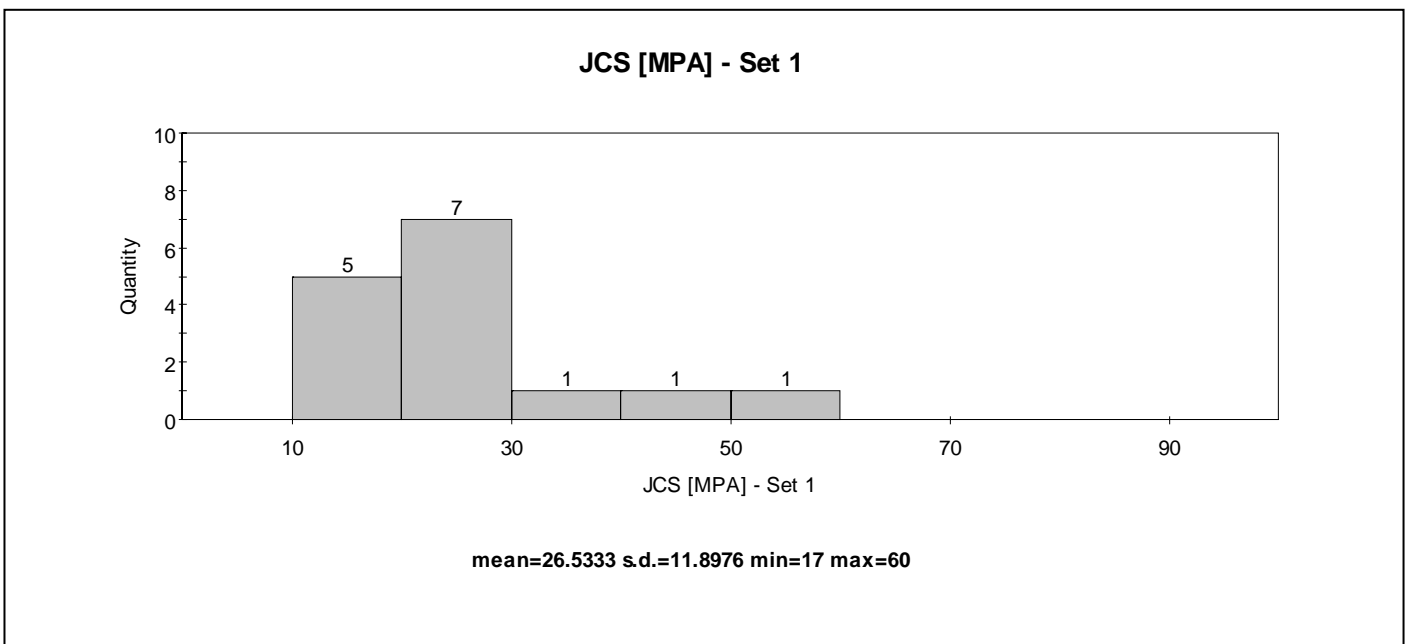
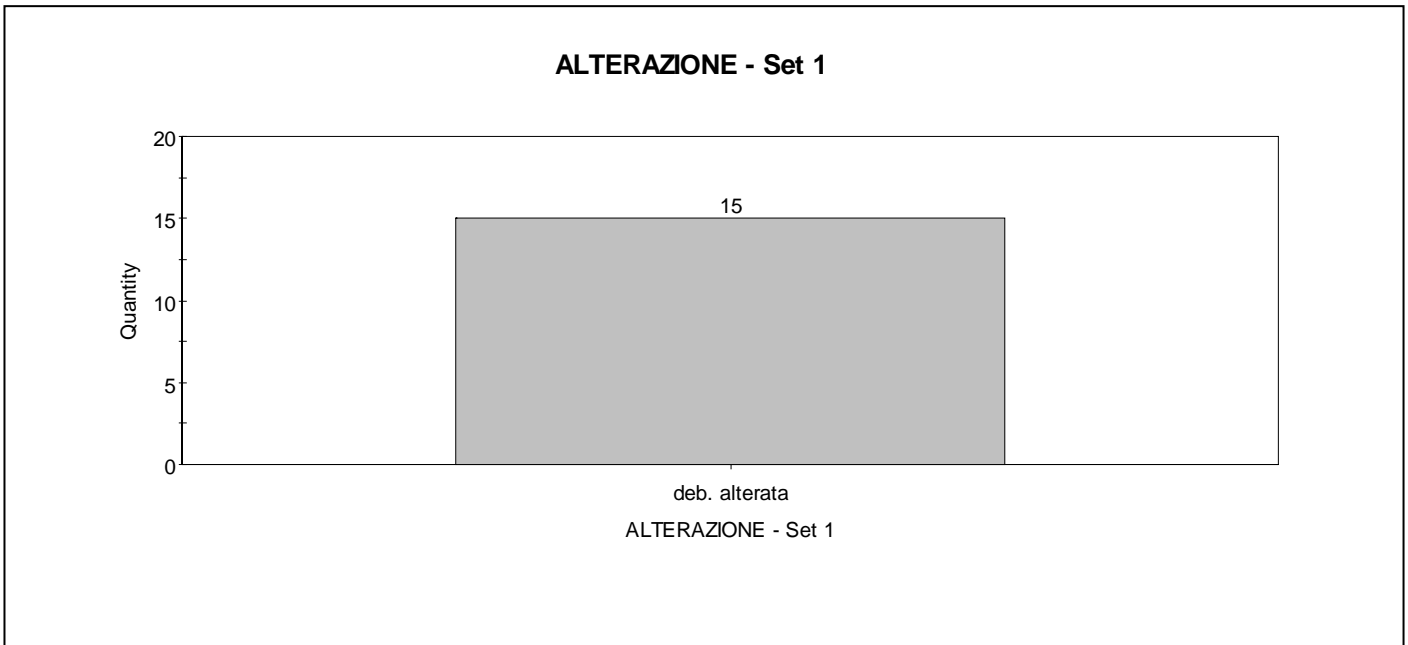
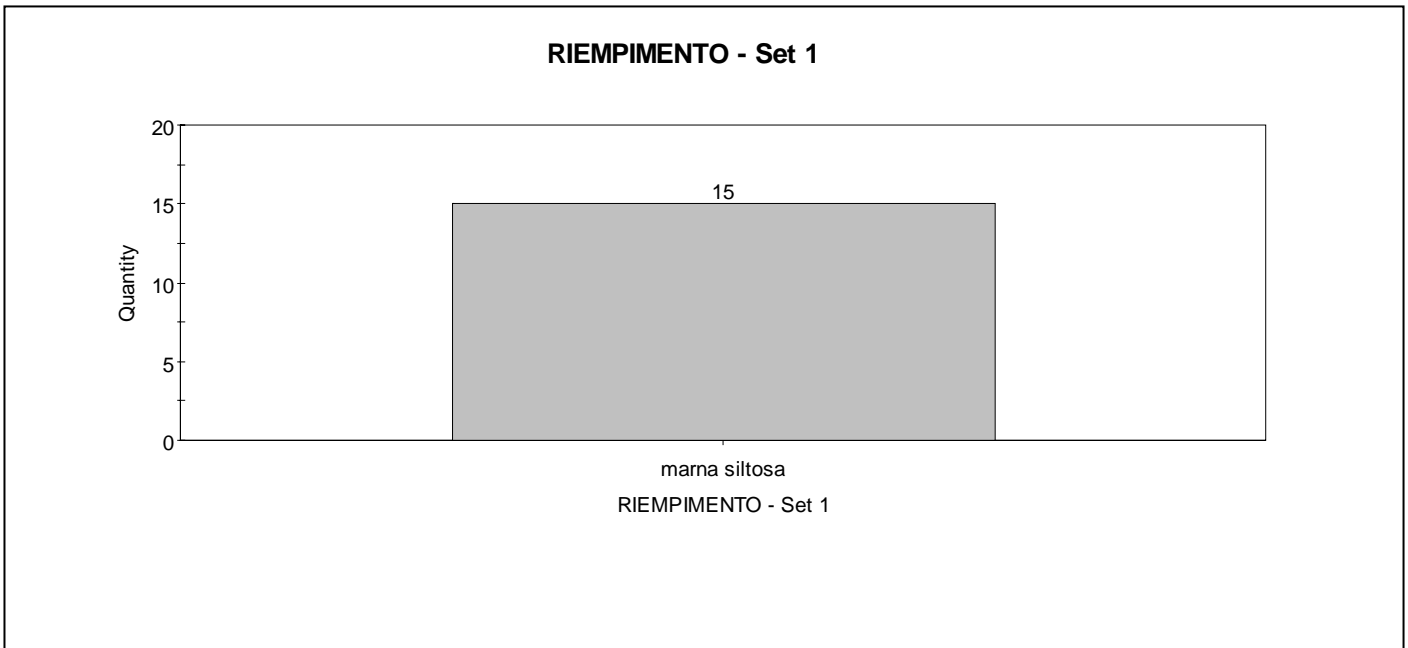
**Variabilità statistica**

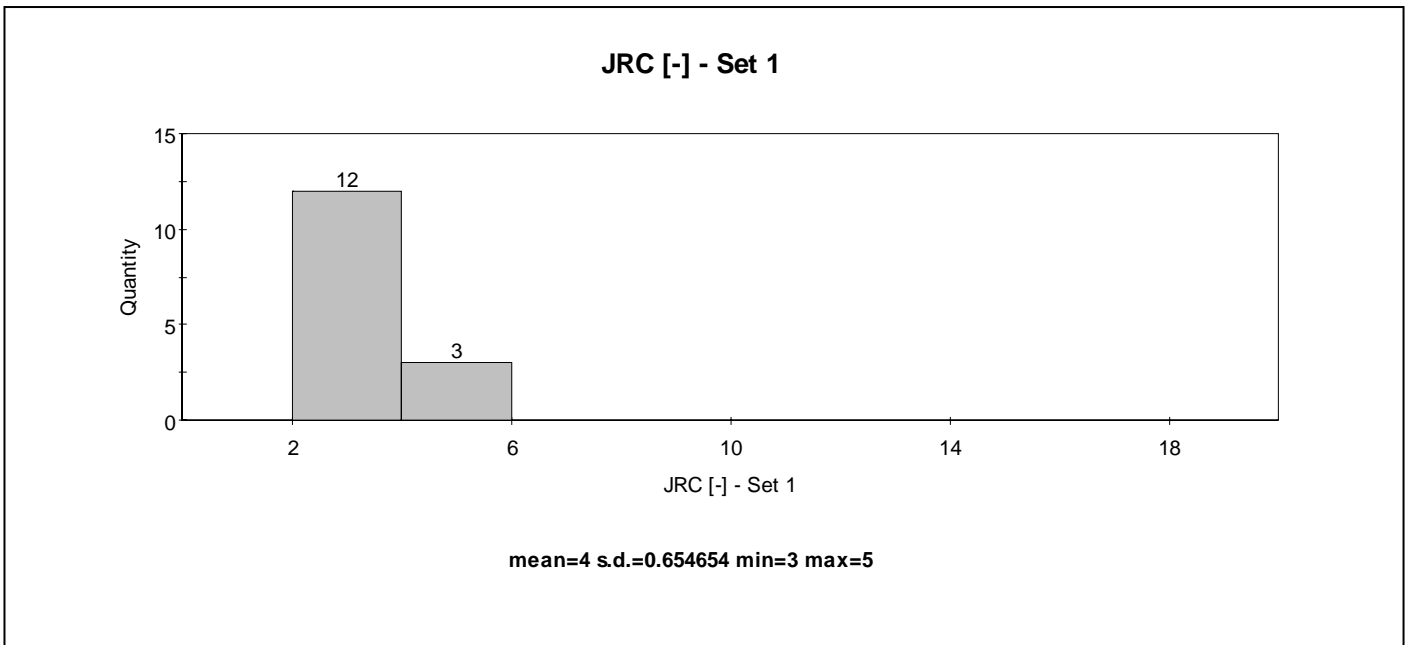
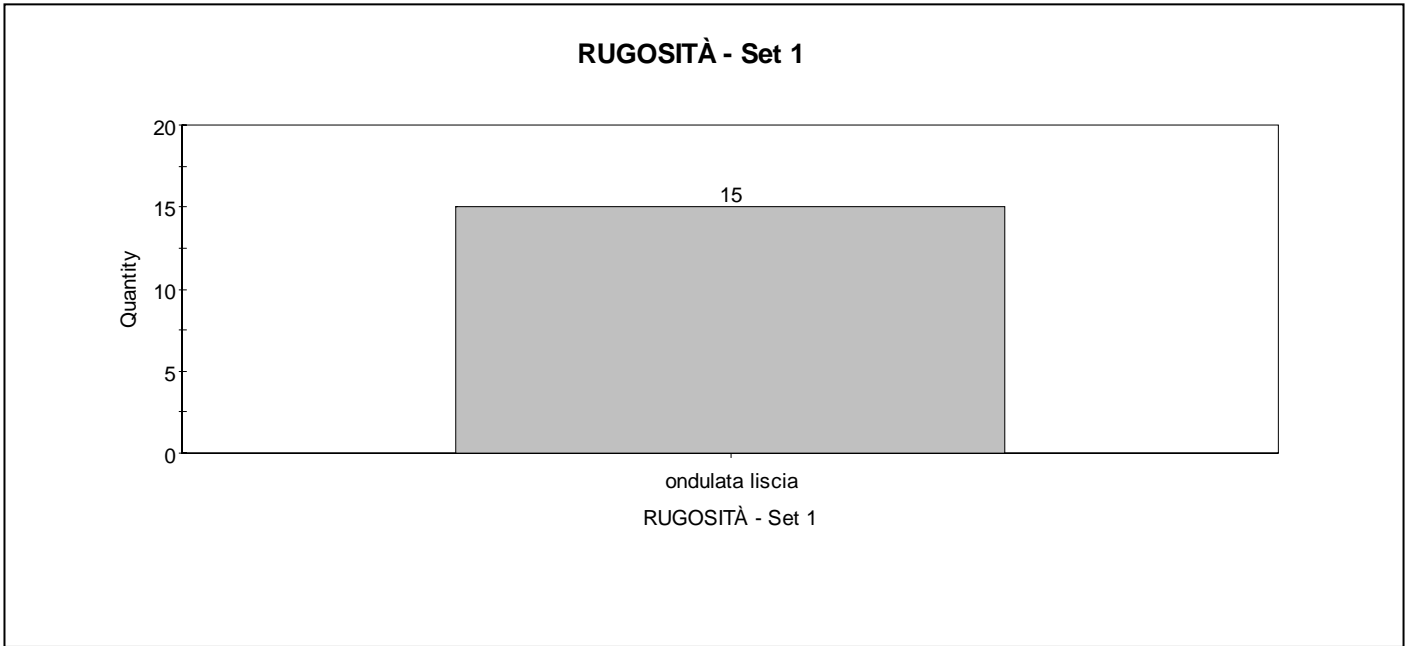
$\sigma_{ci}$ [MPa]	
media	dev. st.
-	-

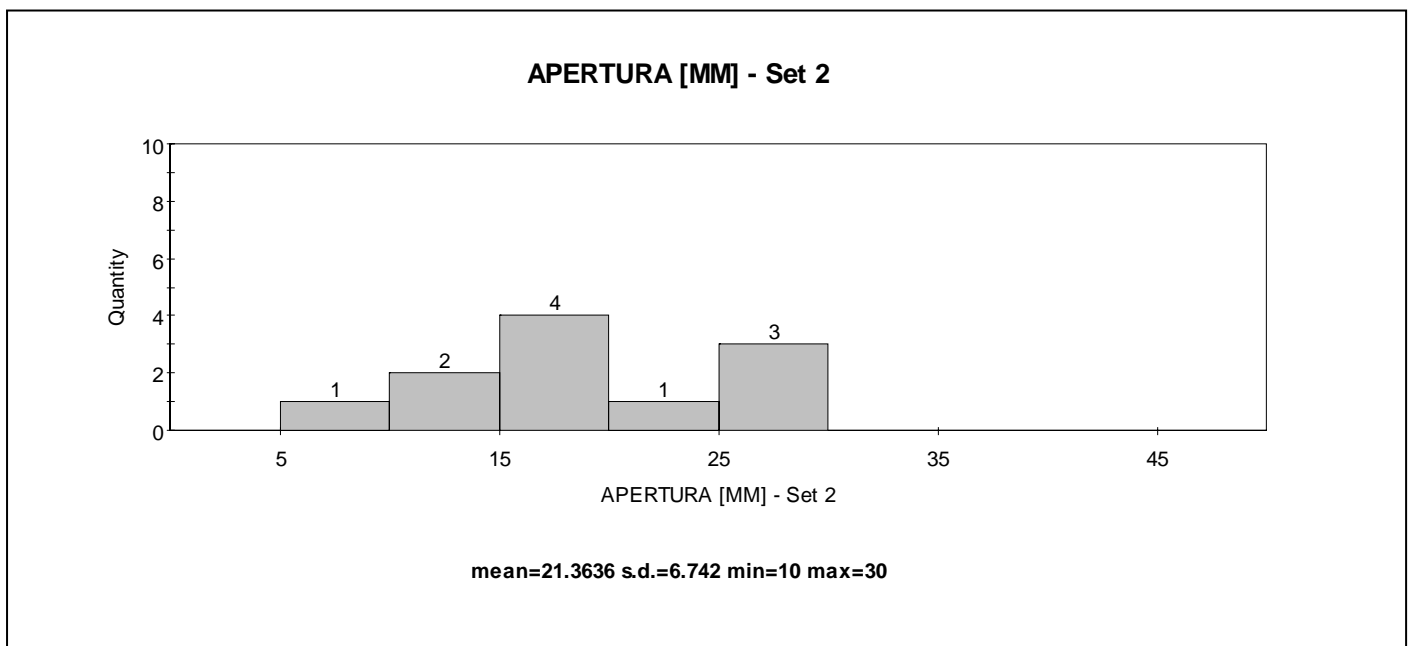
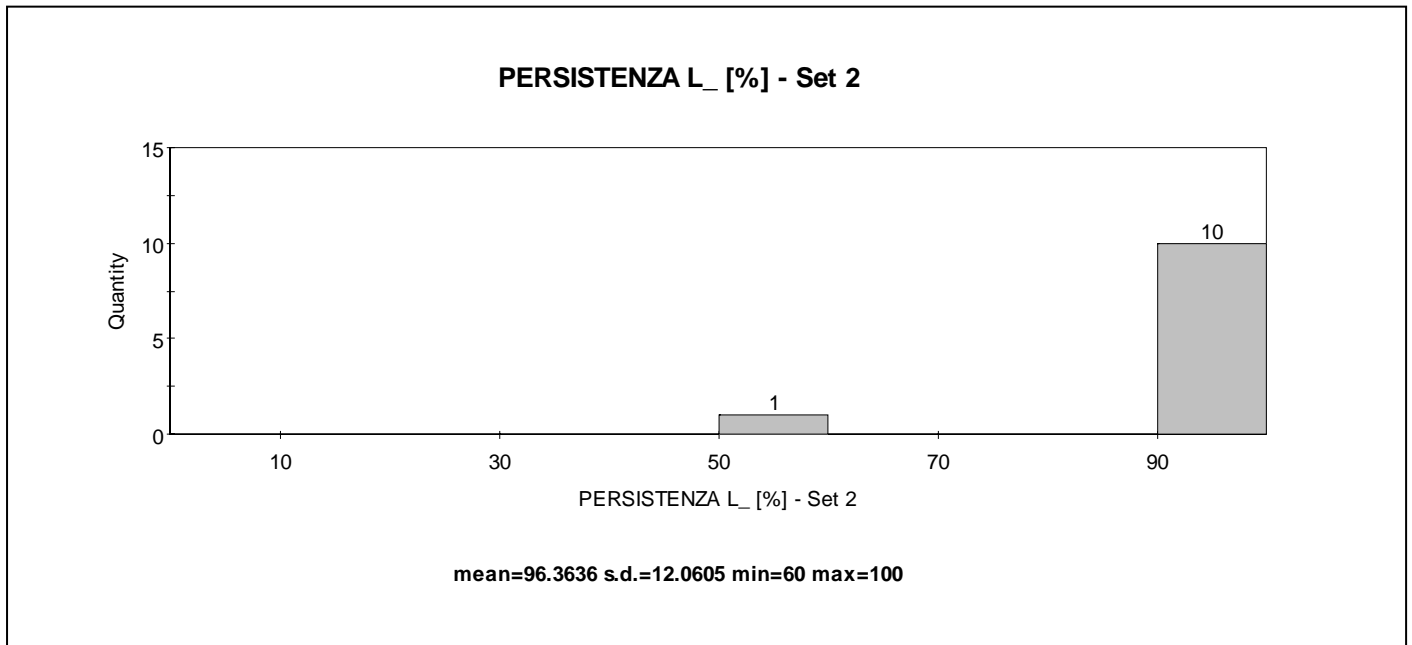
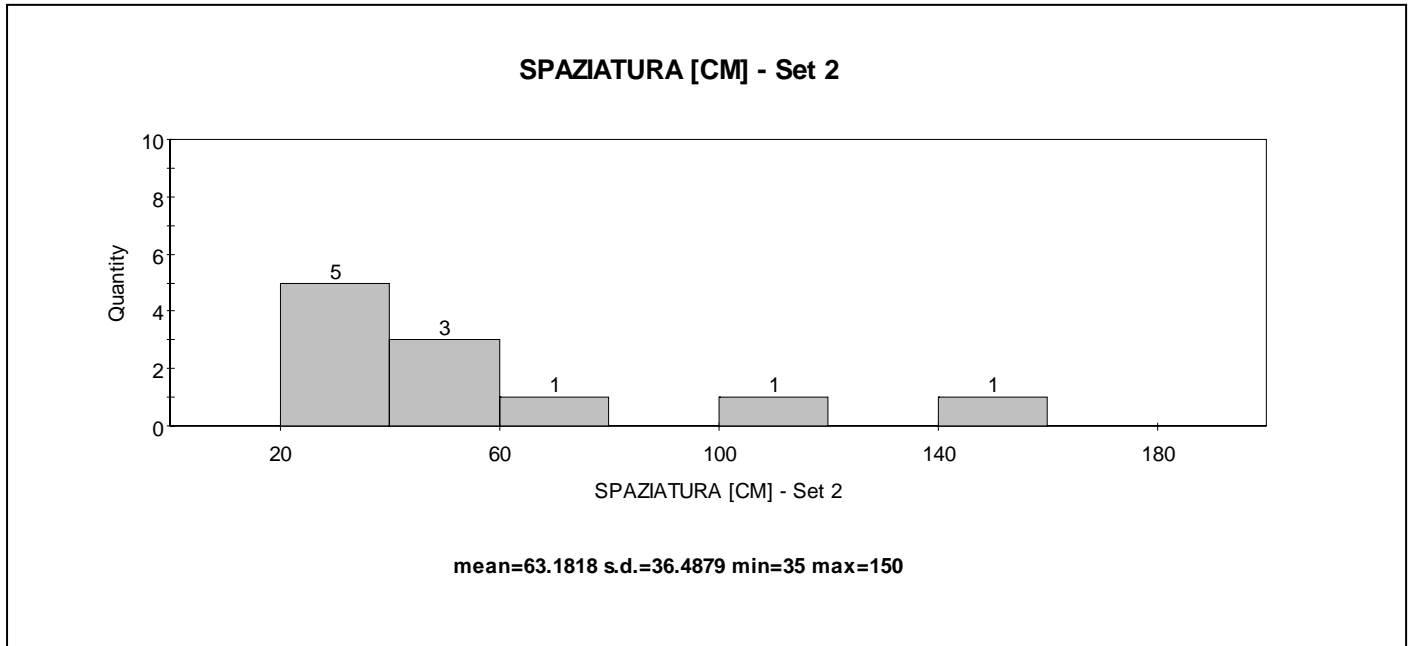
mediana	percentili	
	5°	95°
-	-	-



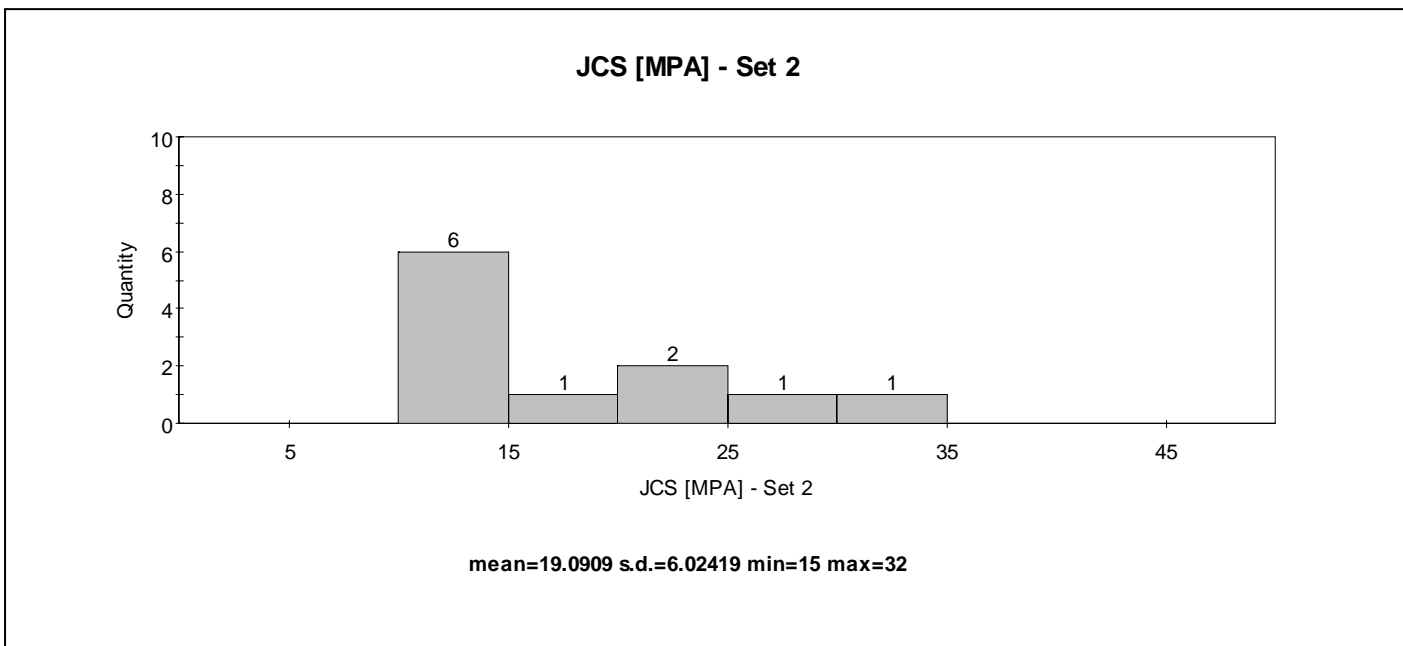
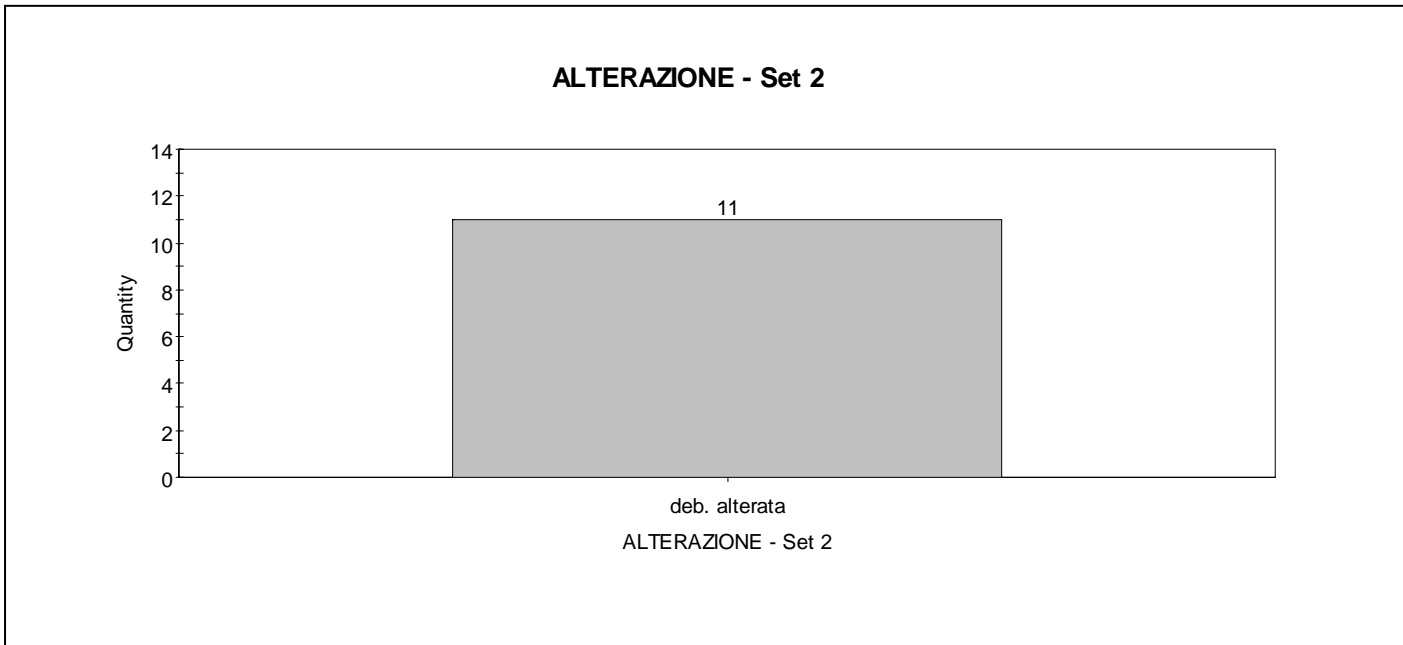
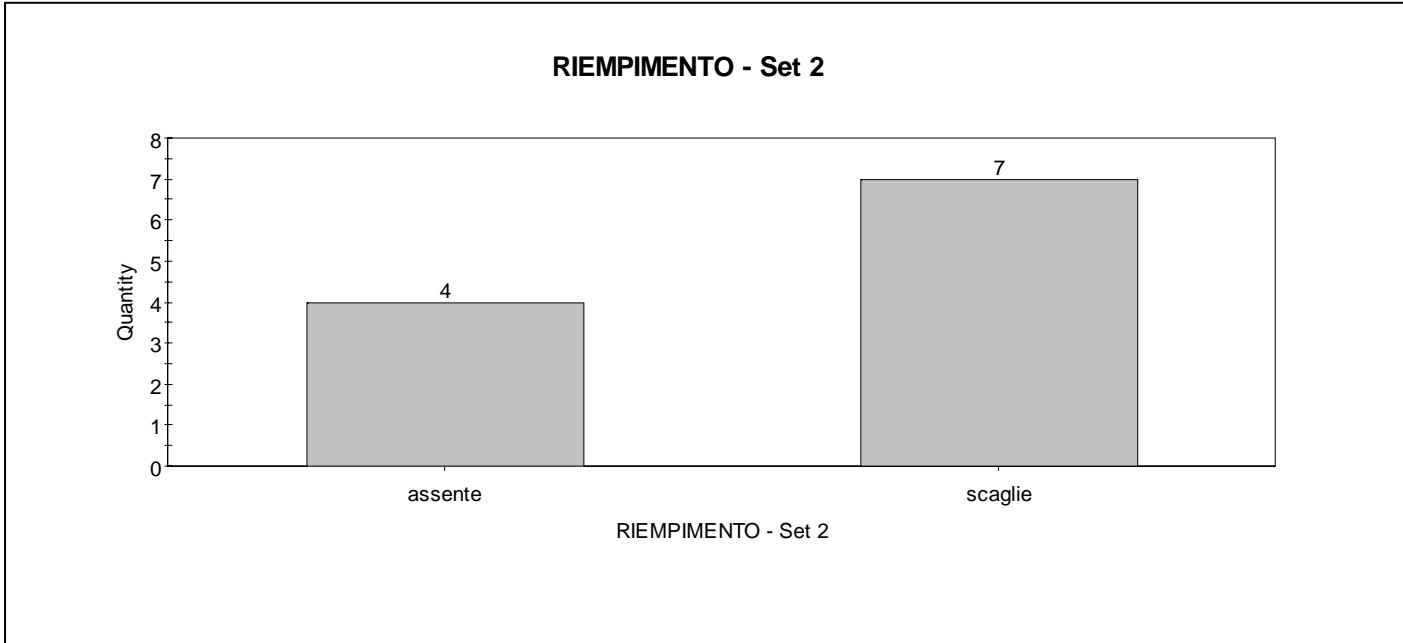


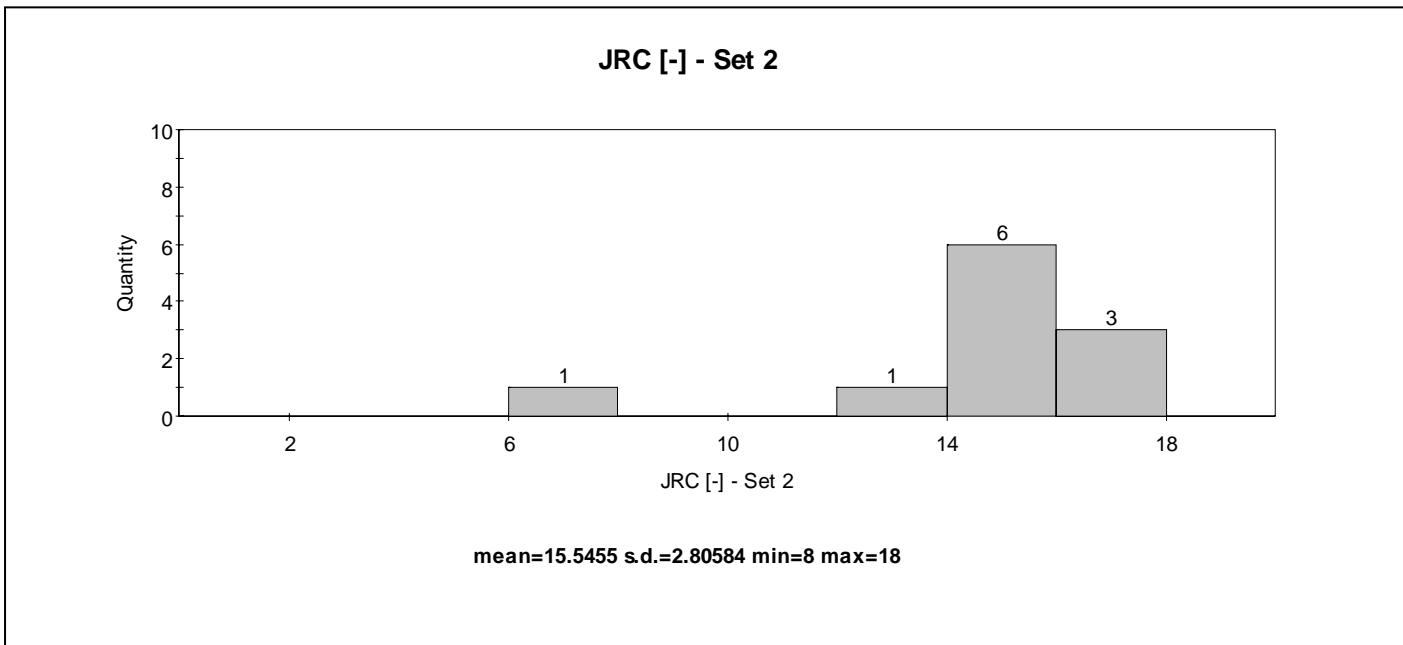
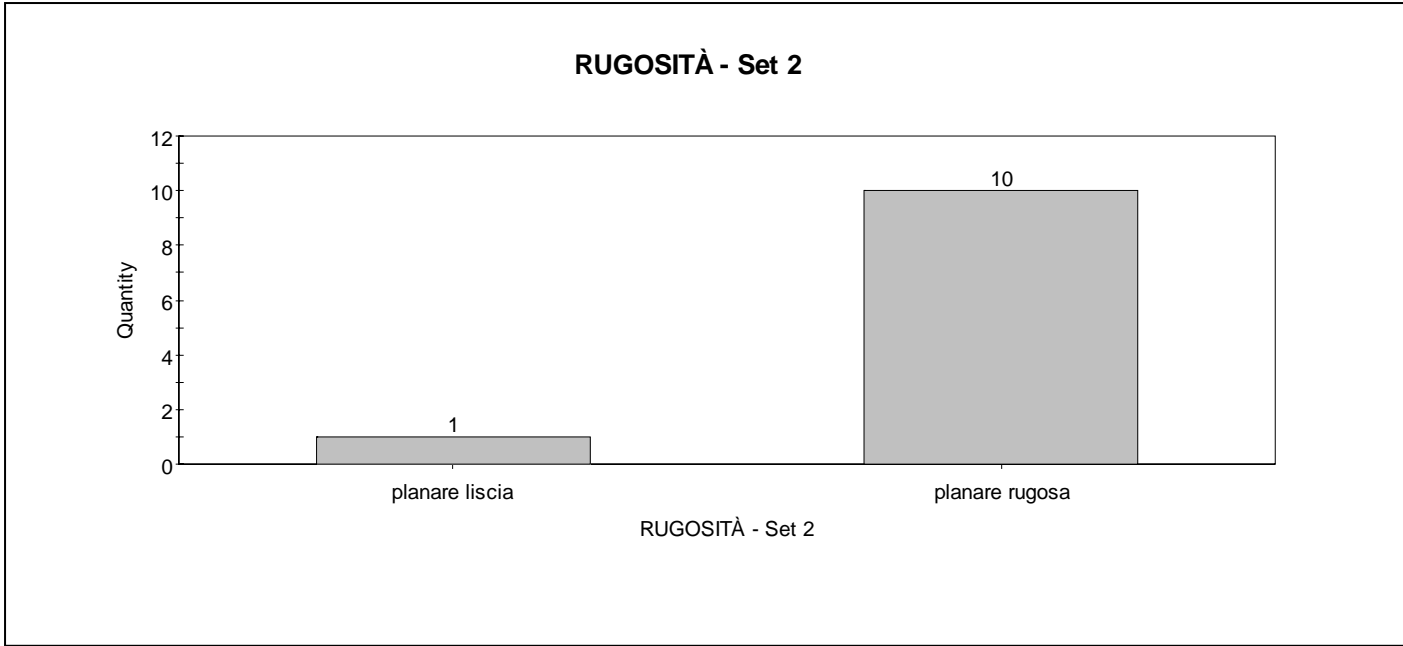


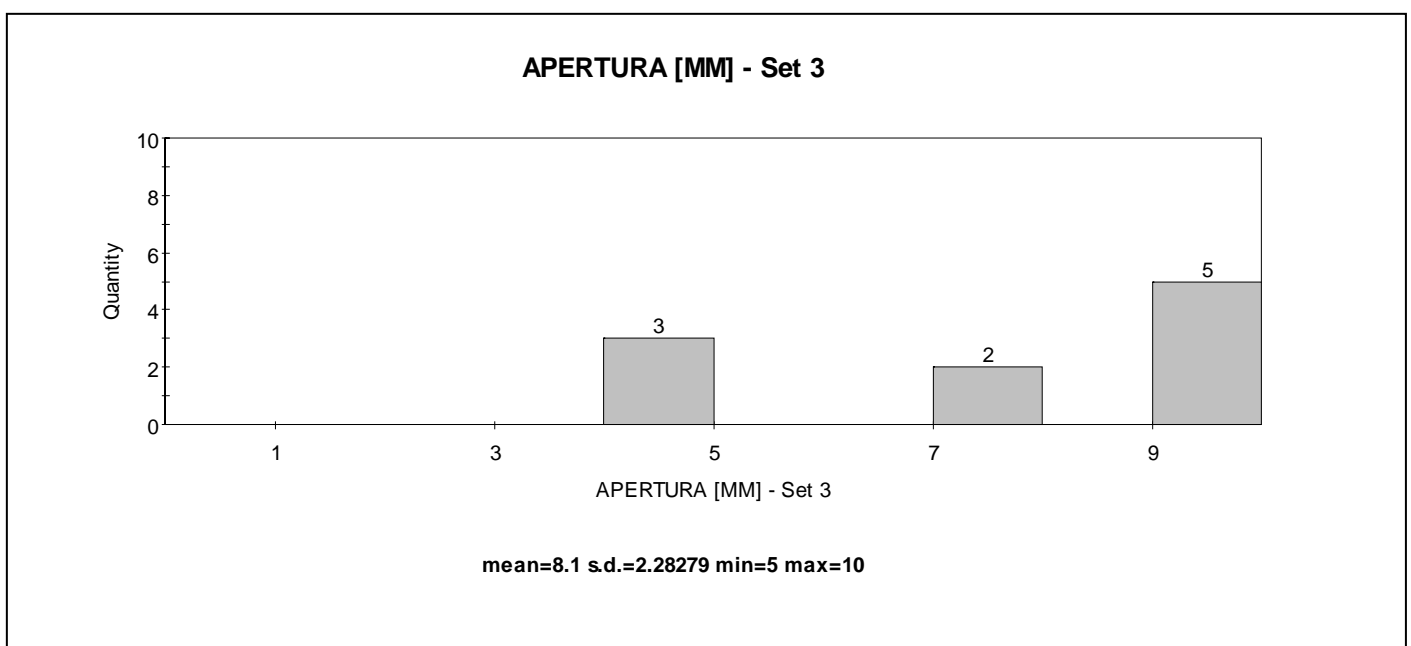
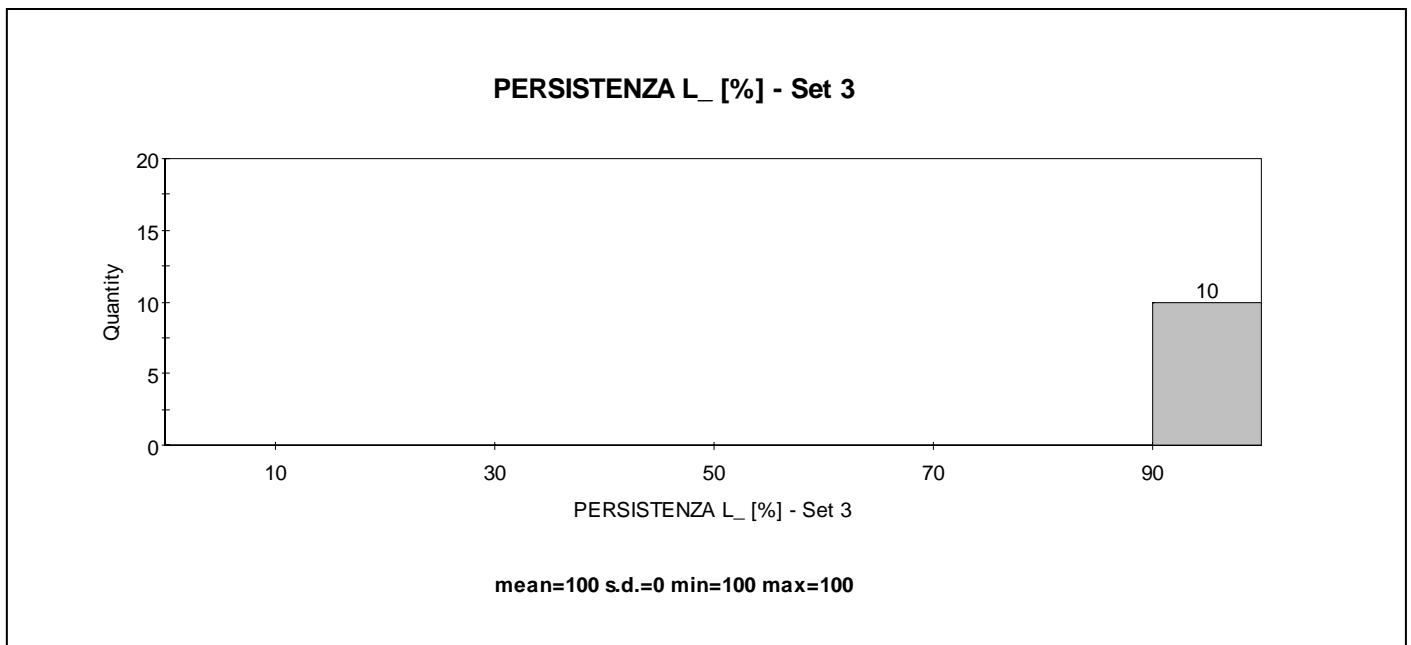
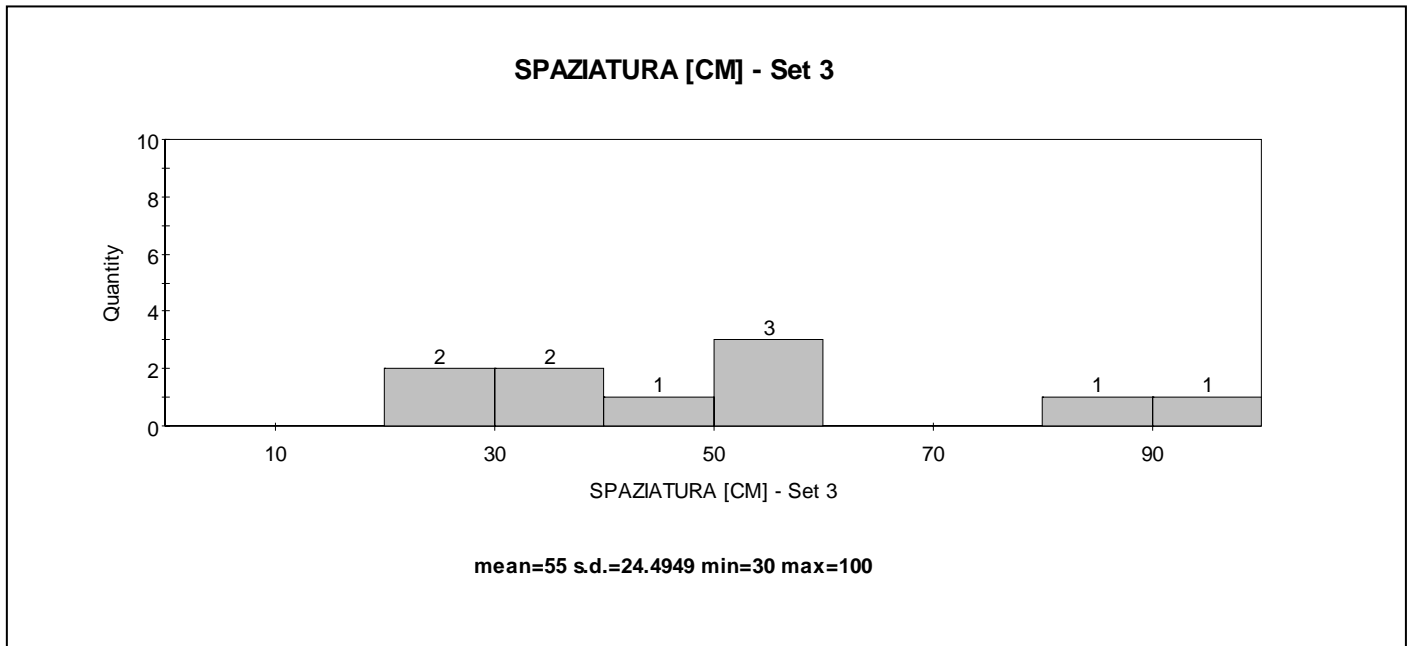




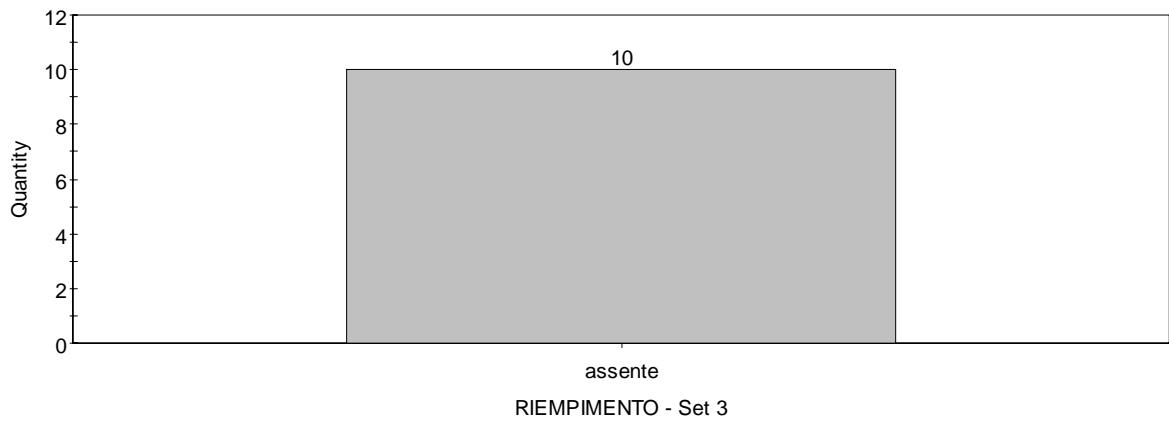




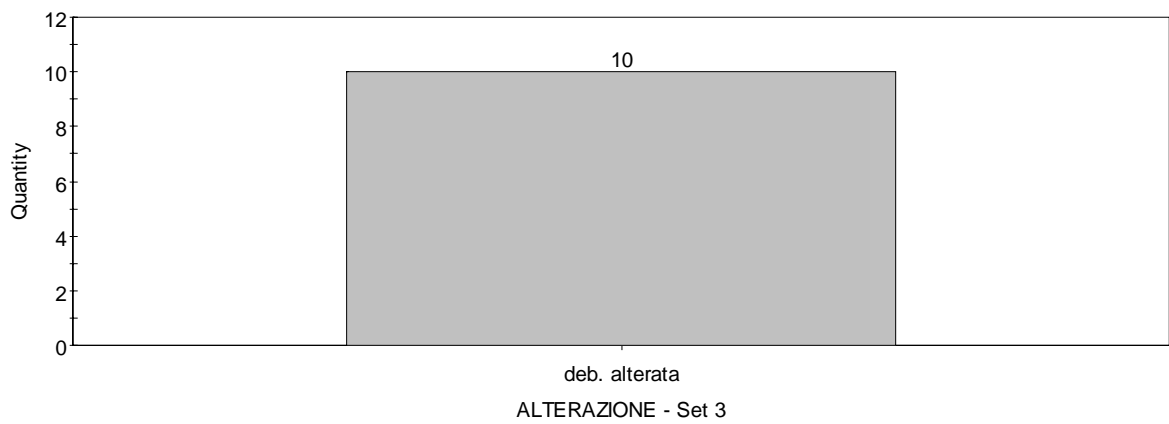




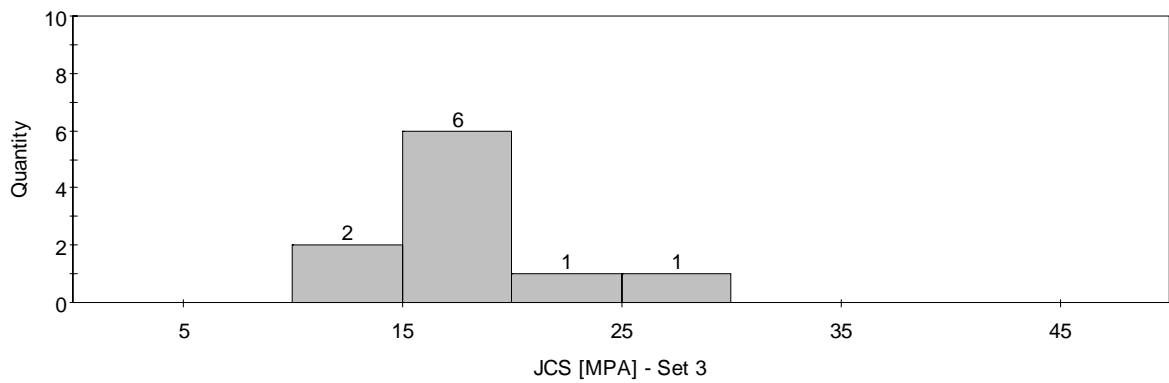
**RIEMPIMENTO - Set 3**



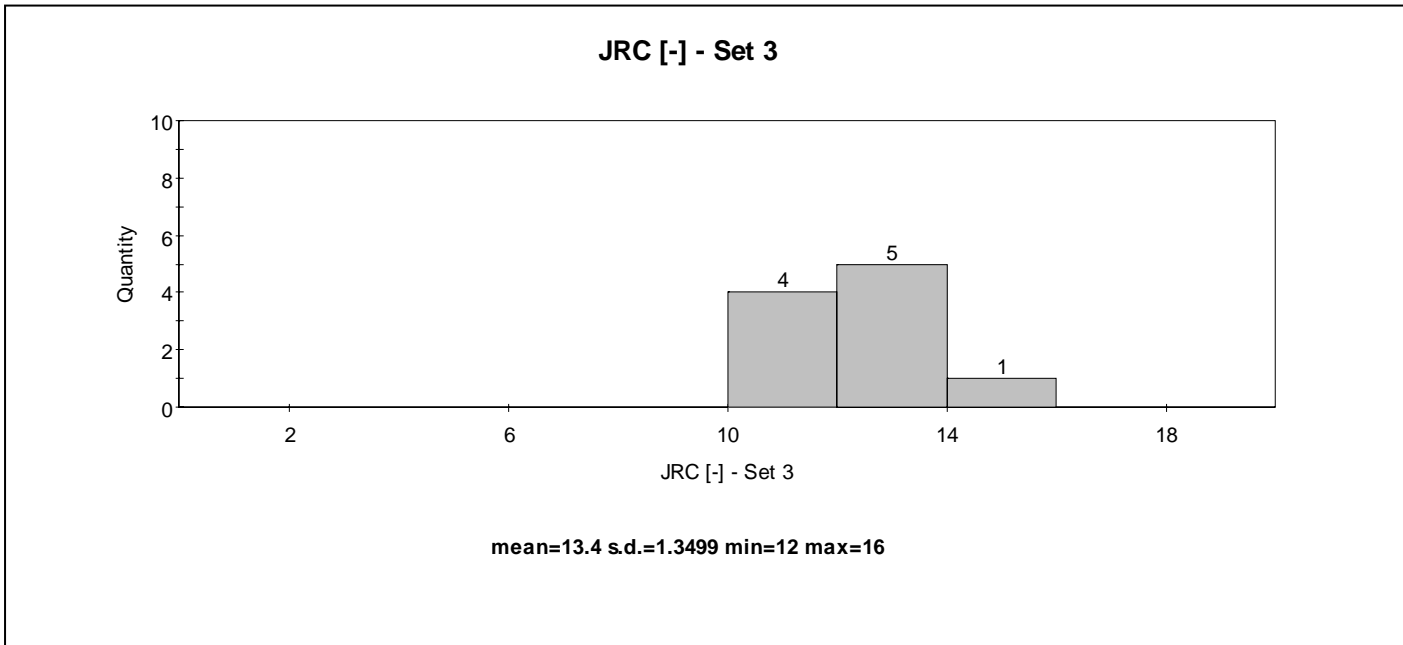
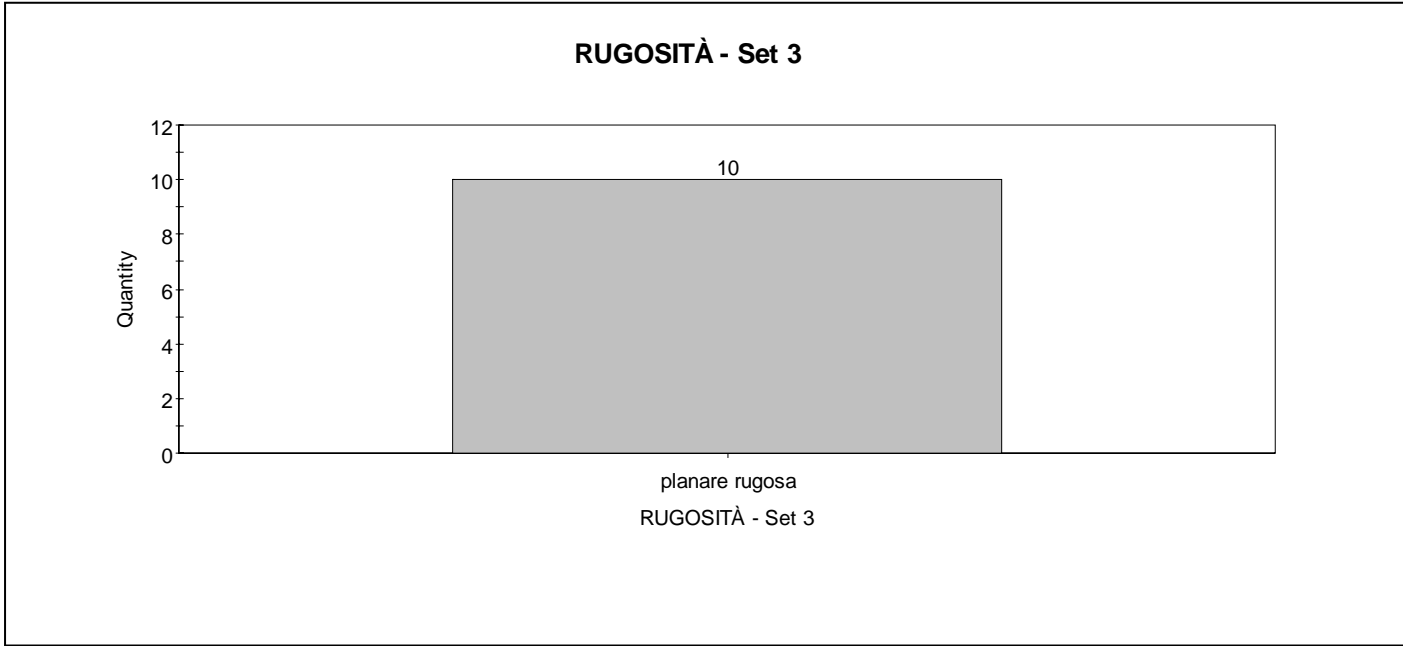
**ALTERAZIONE - Set 3**

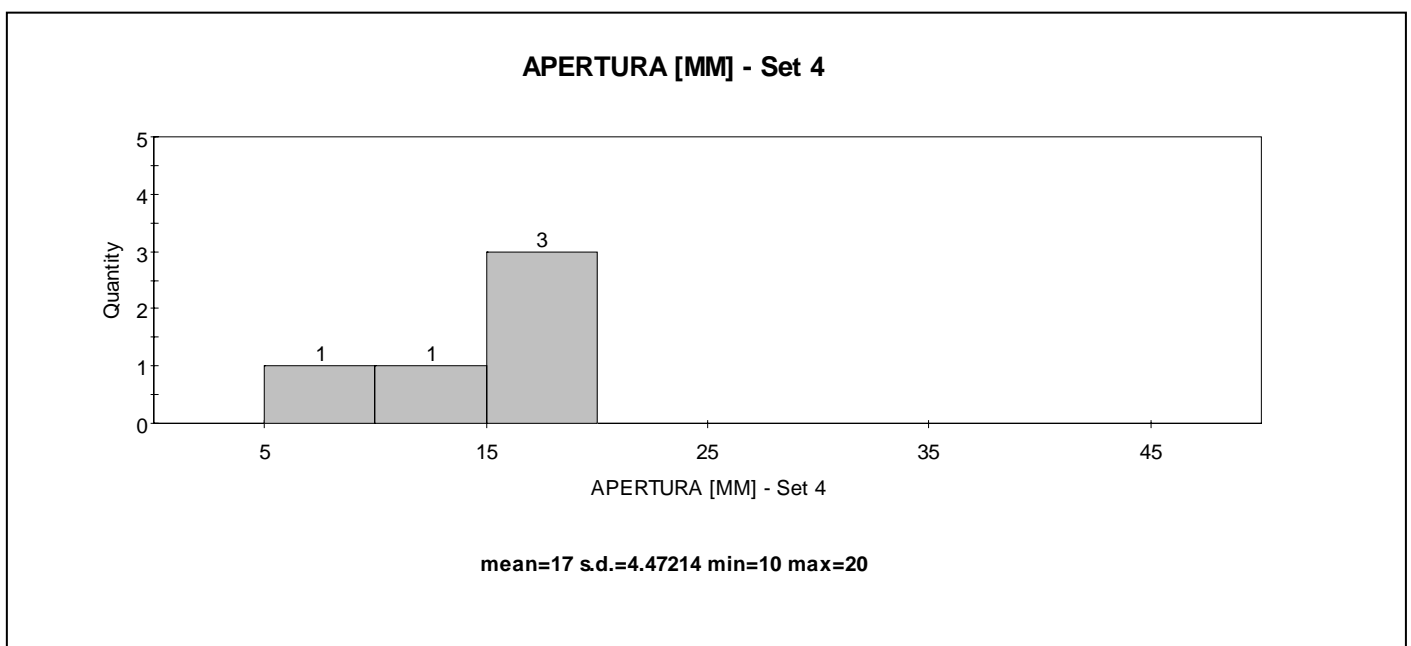
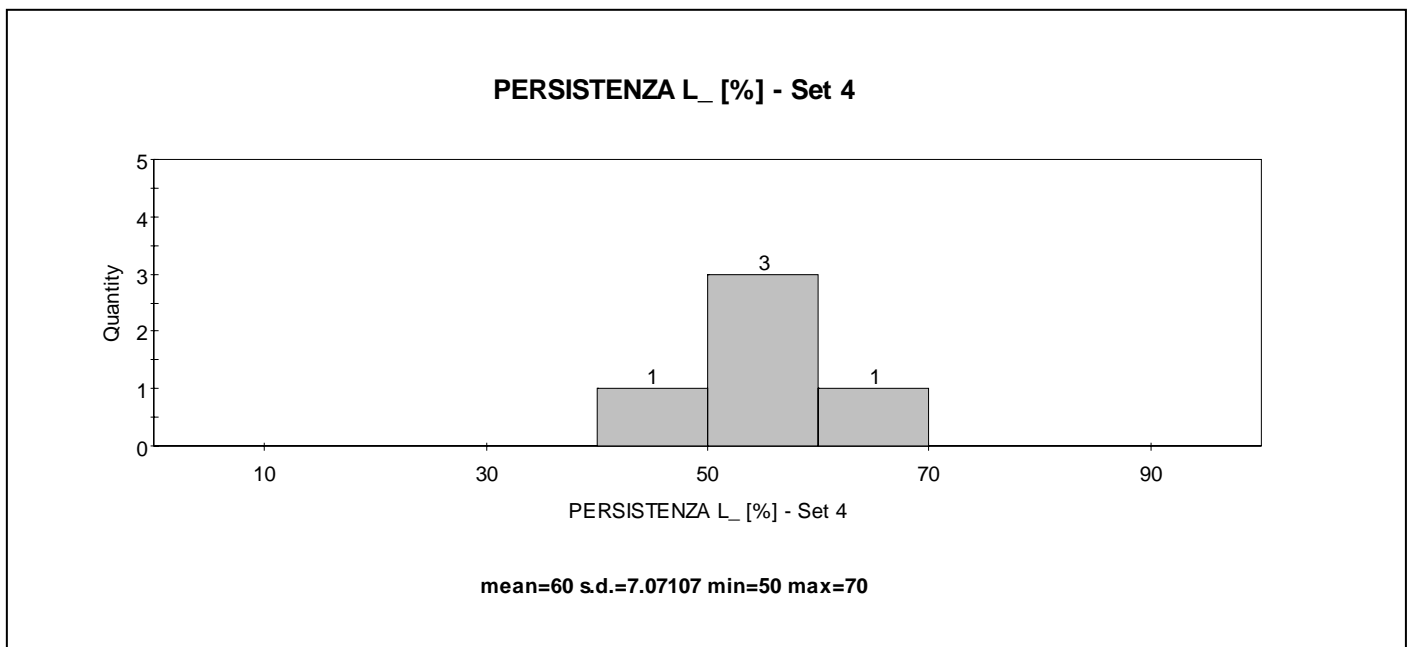
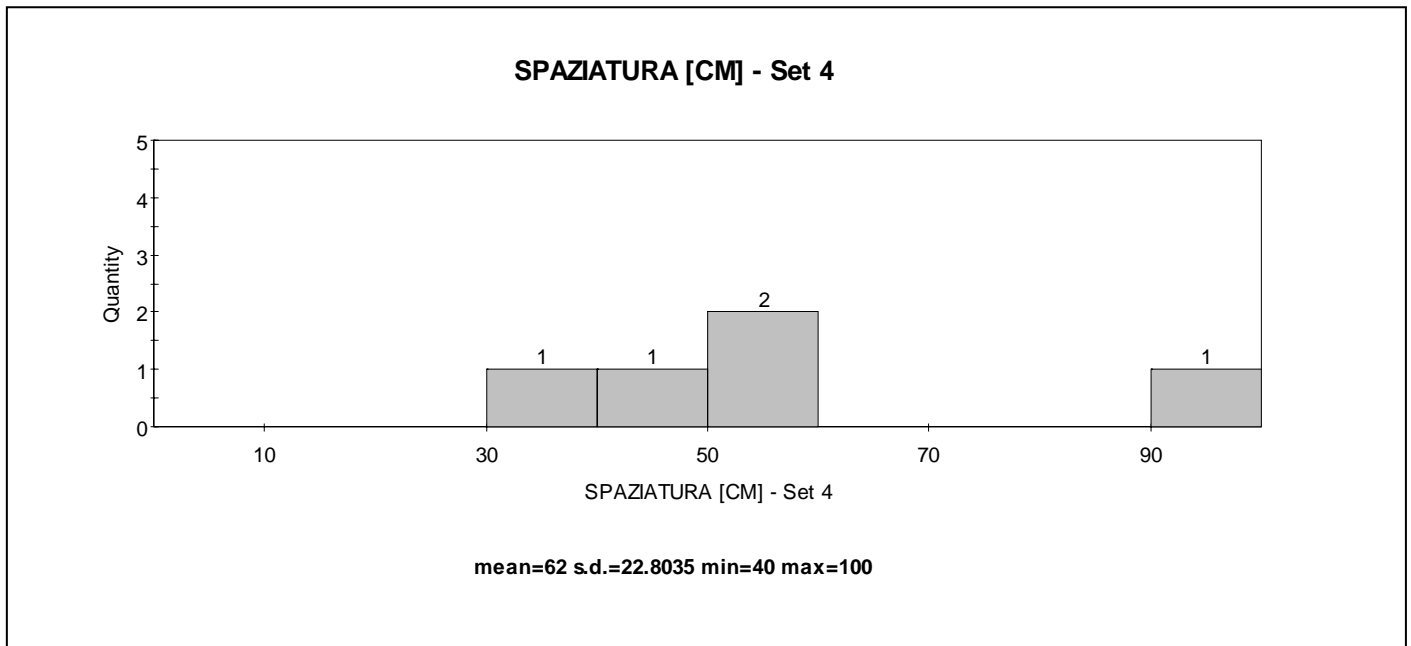


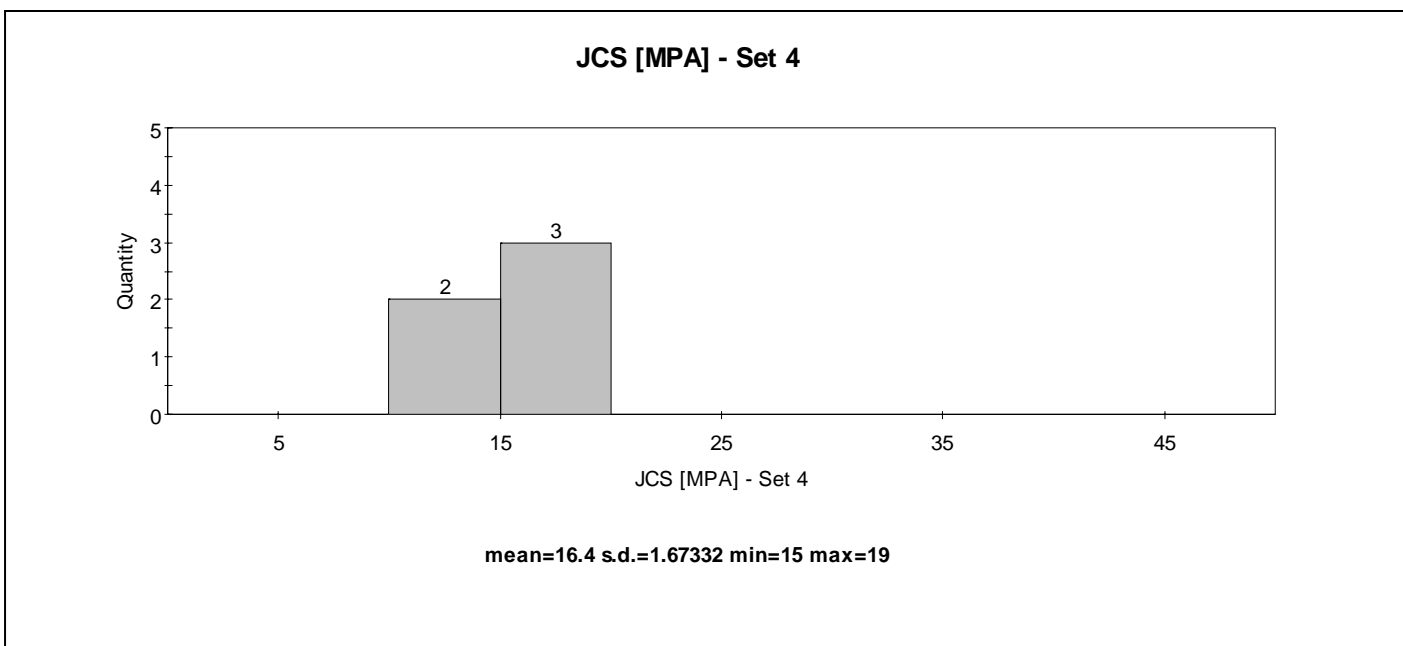
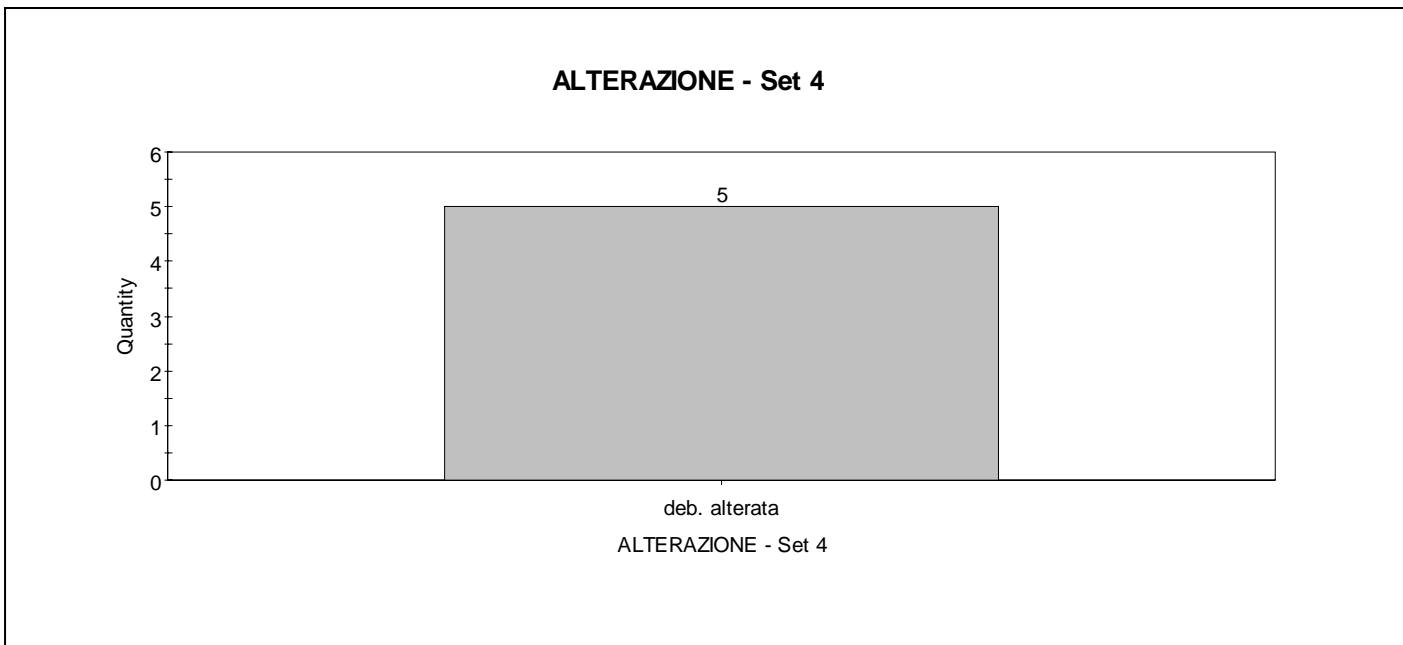
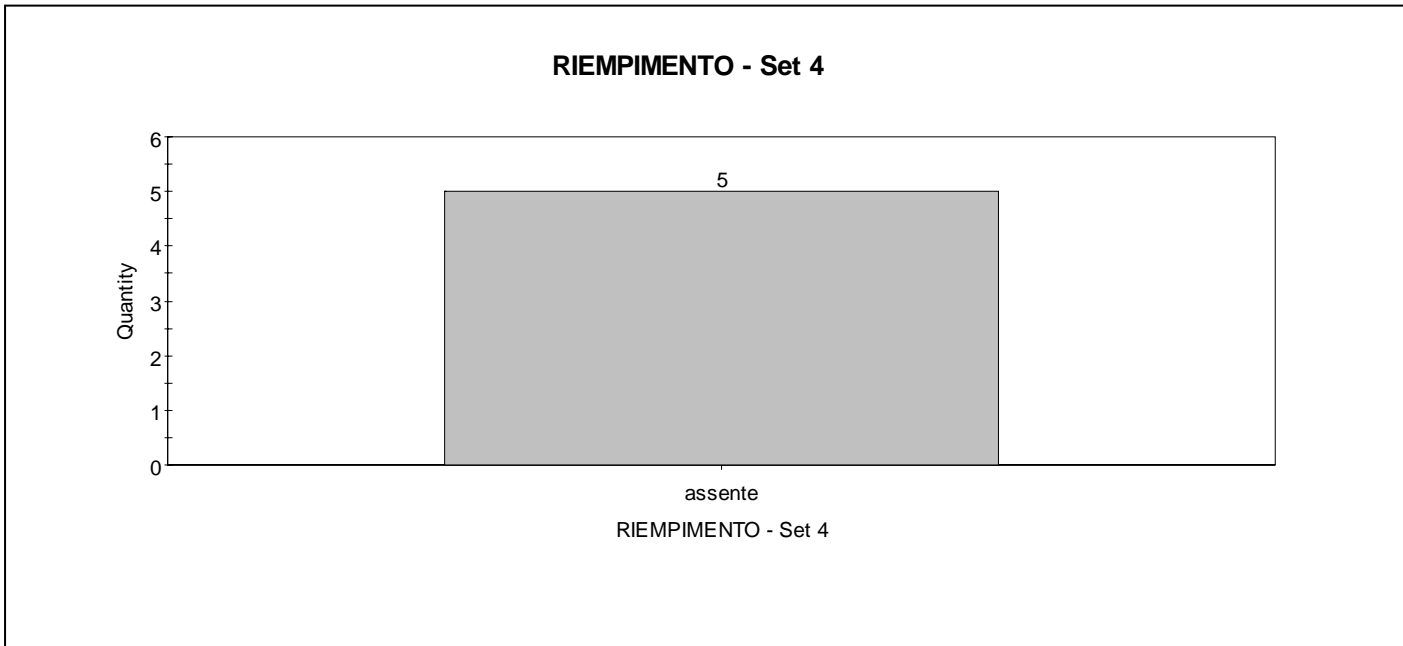
**JCS [MPa] - Set 3**

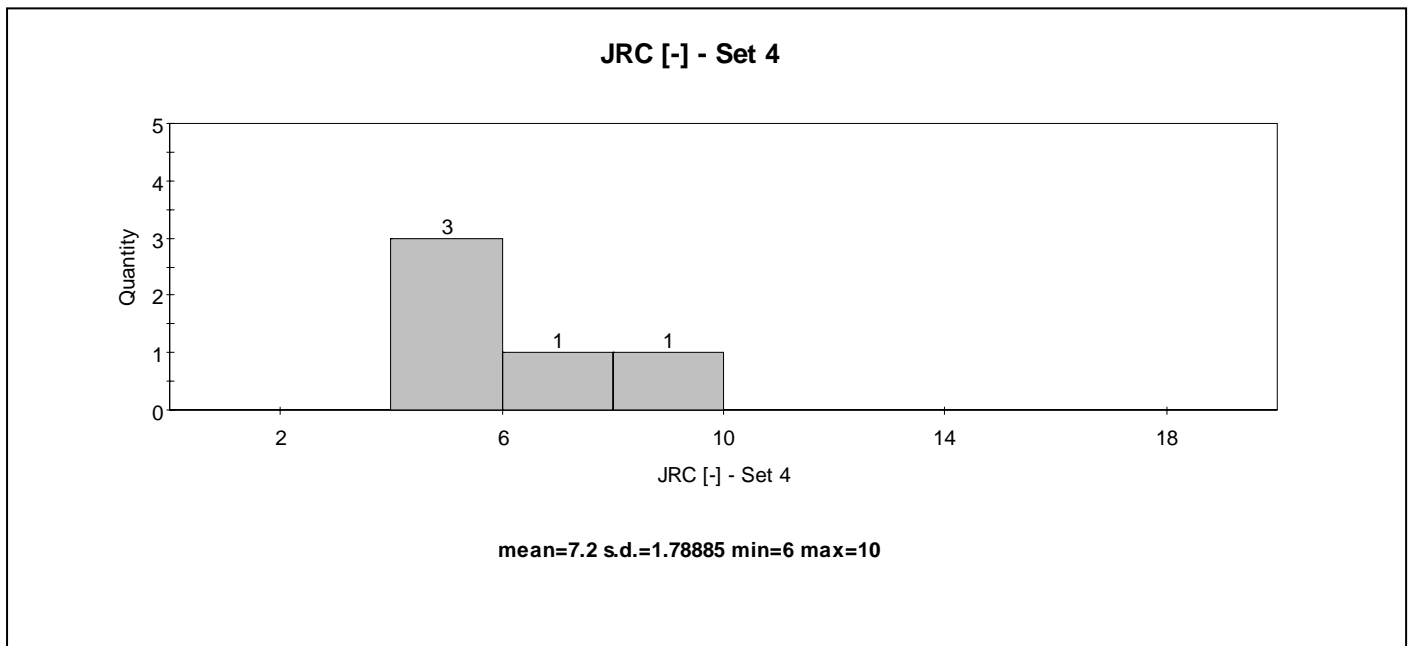
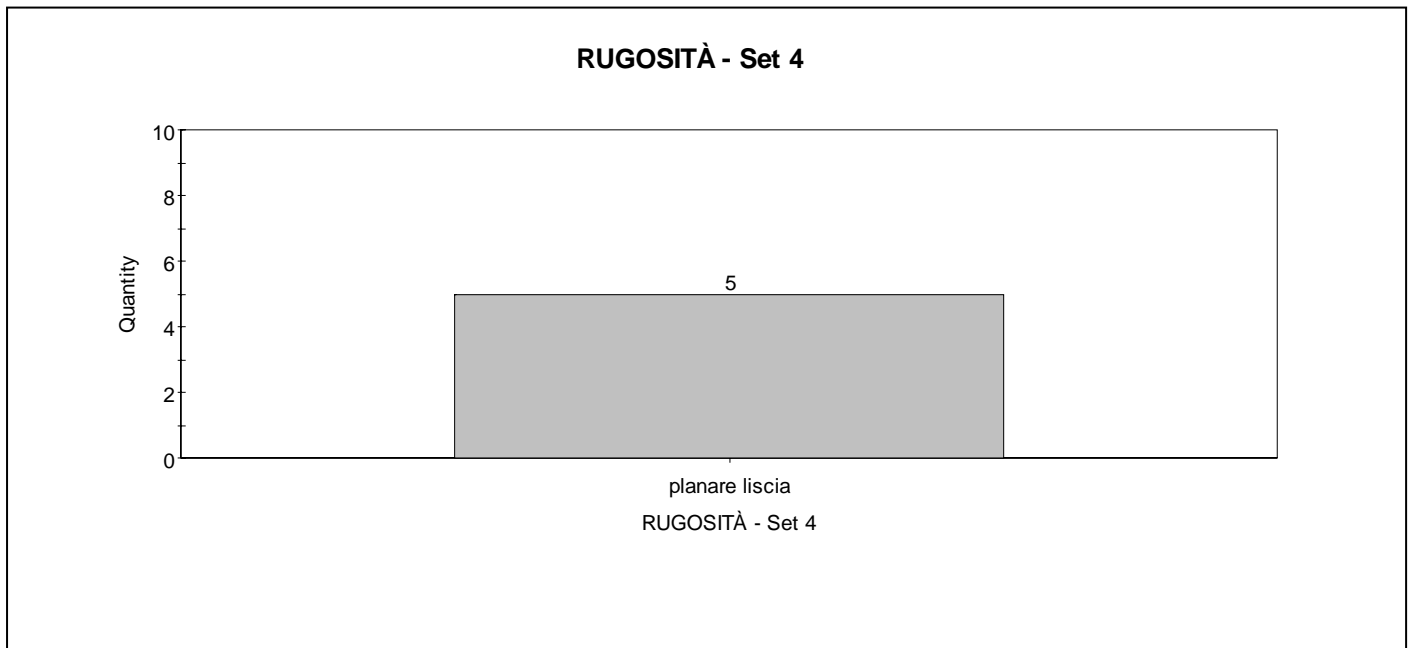


mean=19.3 s.d.=3.83116 min=15 max=28









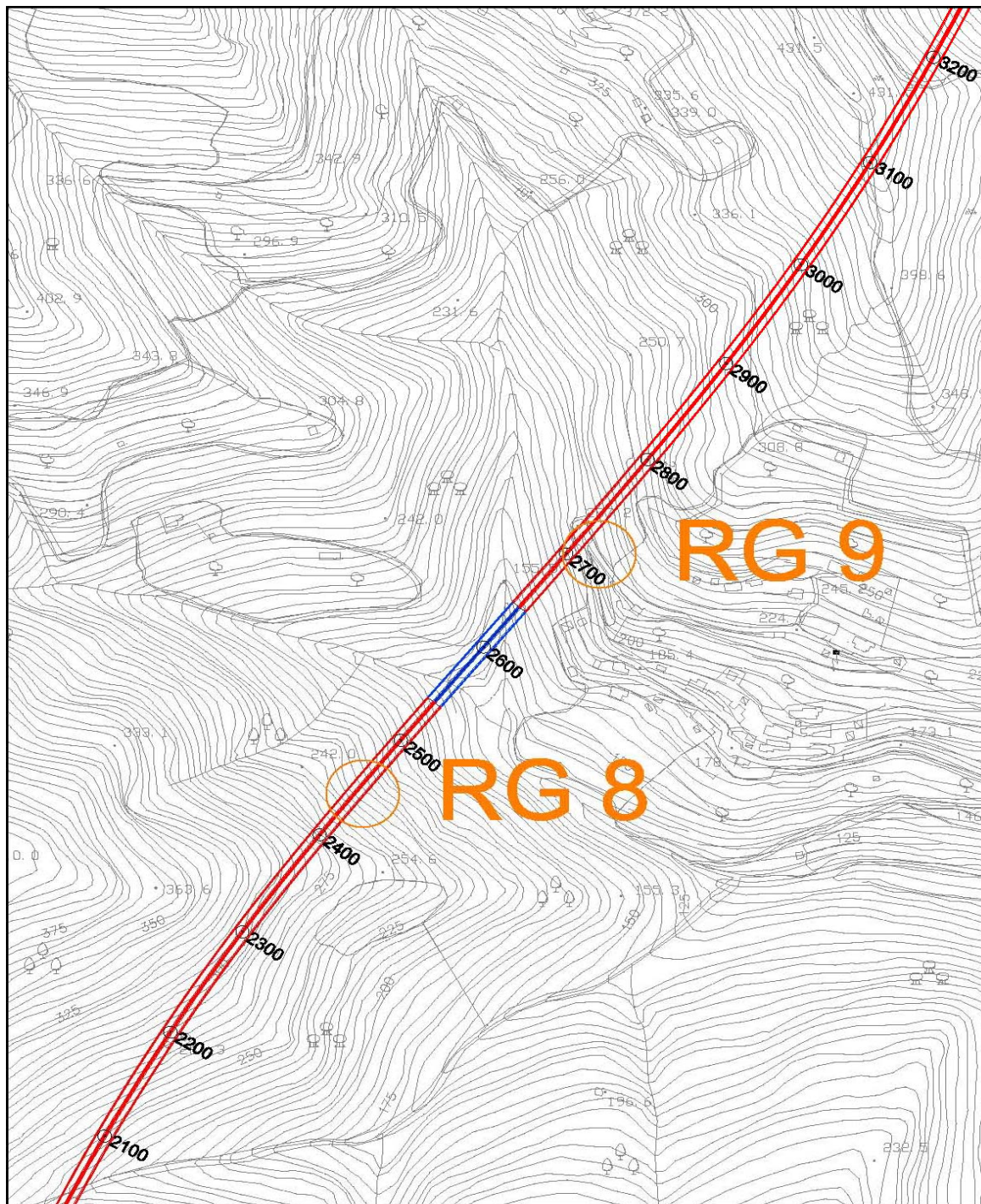


# RILIEVO GEOMECCANICO

## Ubicazione area di rilievo

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.			
<b>Commessa</b>	Fontanabuona			
<b>Località</b>	Arboccò			
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga	X: 1514997	Y: 4914294	Quota: 225
<b>Data</b>	20/08/11			
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 8			

## Stralcio planimetrico



Scala 1:5.000







**RILIEVO GEOMECCANICO**  
**Rilievi sclerometrici sul materiale roccia**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.					
<b>Commessa</b>	Fontanabuona					
<b>Località</b>	Arbocchè					
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga X: 1514997		Y: 4914294		Quota: 225	
<b>Data</b>	20/08/11					
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG8					

n°	litologia A					
	R	$\alpha$	corr.	R'	$\gamma$	$\sigma_{ci}$
	[-]	[°]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]
1	42	-90	0	42	26	93,53
2	26	-90	0	26	26	40,26
3	44	-90	0	44	26	103,92
4	36	-90	0	36	26	68,18
5	45	-90	0	45	26	109,55
6	42	-90	0	42	26	93,53
7	30	-90	0	30	26	49,70
8	38	-90	0	38	26	75,76
9	44	-90	0	44	26	103,92
10	44	-90	0	44	26	103,92
11	38	-90	0	38	26	75,76
12	32	-90	0	32	26	55,23
13	36	-90	0	36	26	68,18
14	32	-90	0	32	26	55,23
15	46	-90	0	46	26	115,47
16	40	-90	0	40	26	84,18
17	36	-90	0	36	26	68,18
18	36	-90	0	36	26	68,18
19	42	-90	0	42	26	93,53
20	42	-90	0	42	26	93,53

**Variabilità statistica**

$\sigma_{ci}$ [MPa]	
<b>media</b>	<b>dev. st.</b>
<b>80,99</b>	<b>21,64</b>

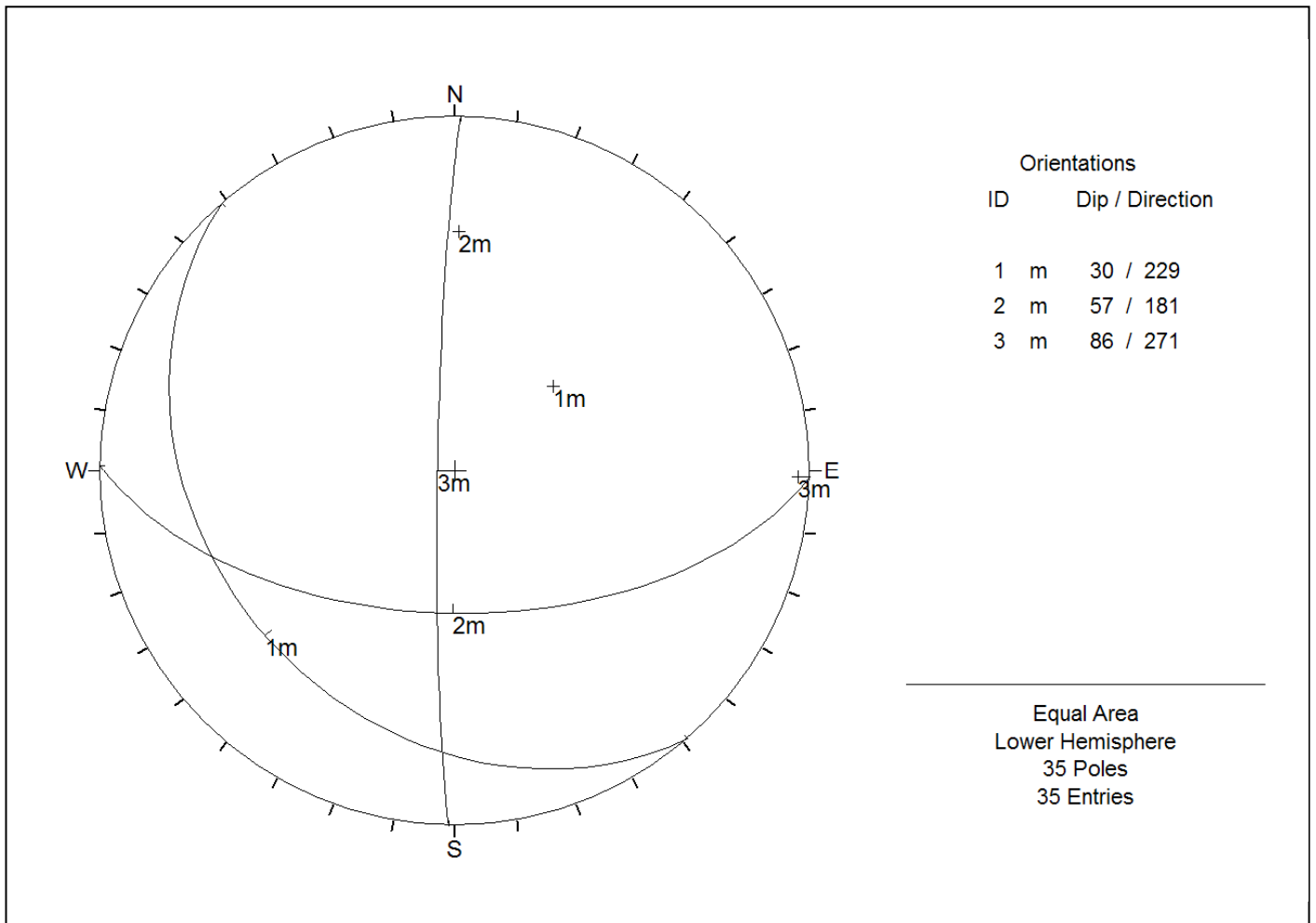
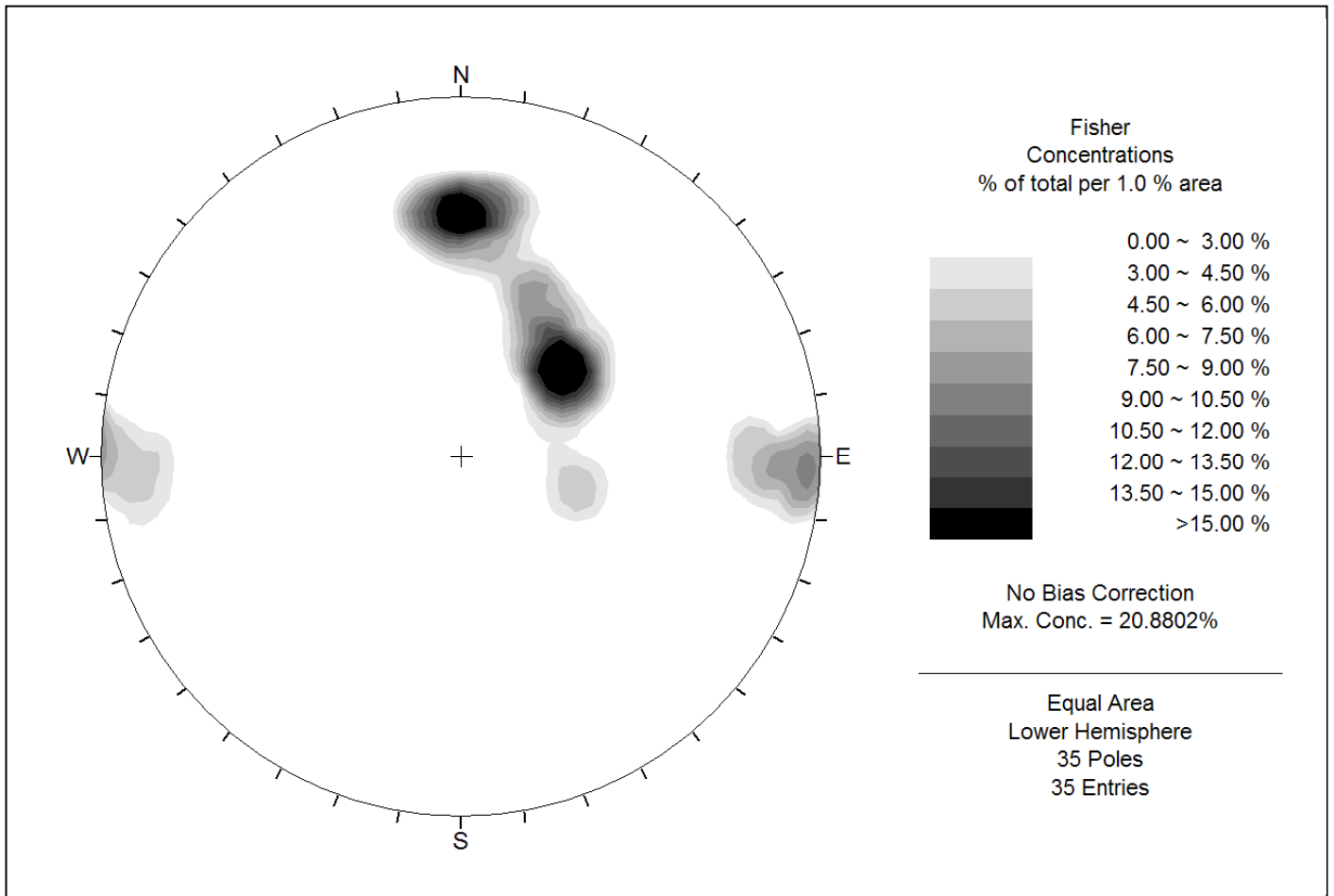
mediana	percentili	
	5°	95°
<b>79,97</b>	<b>49,23</b>	<b>109,84</b>

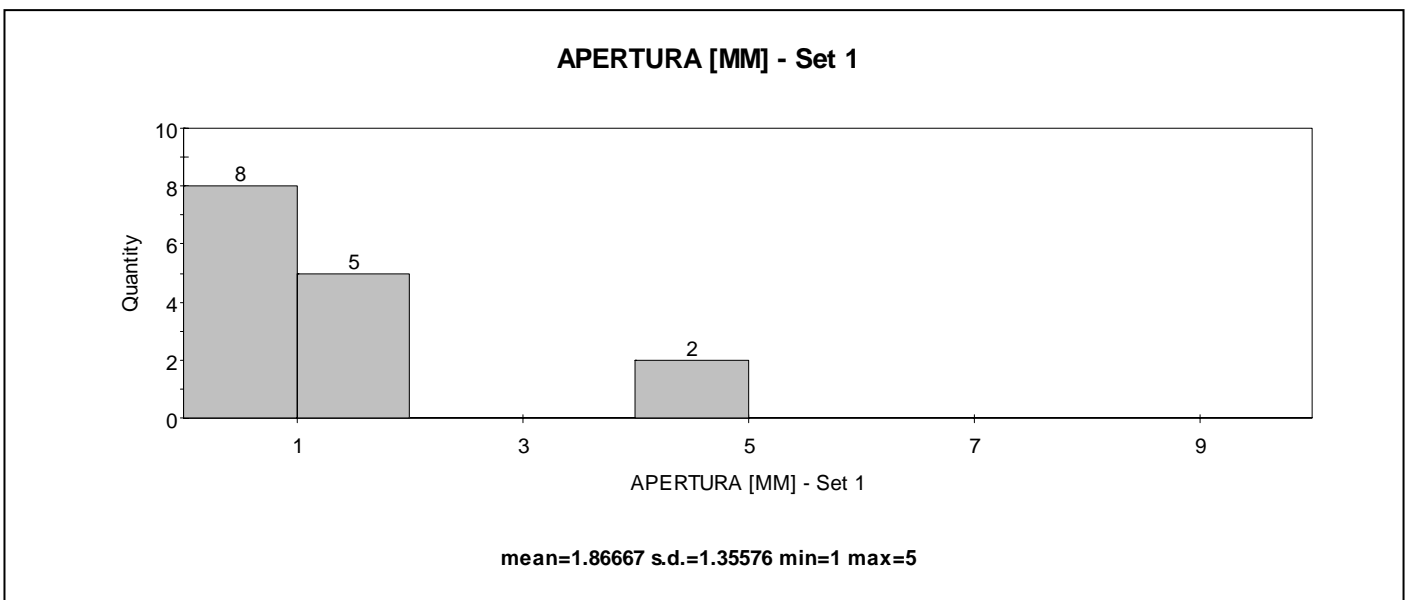
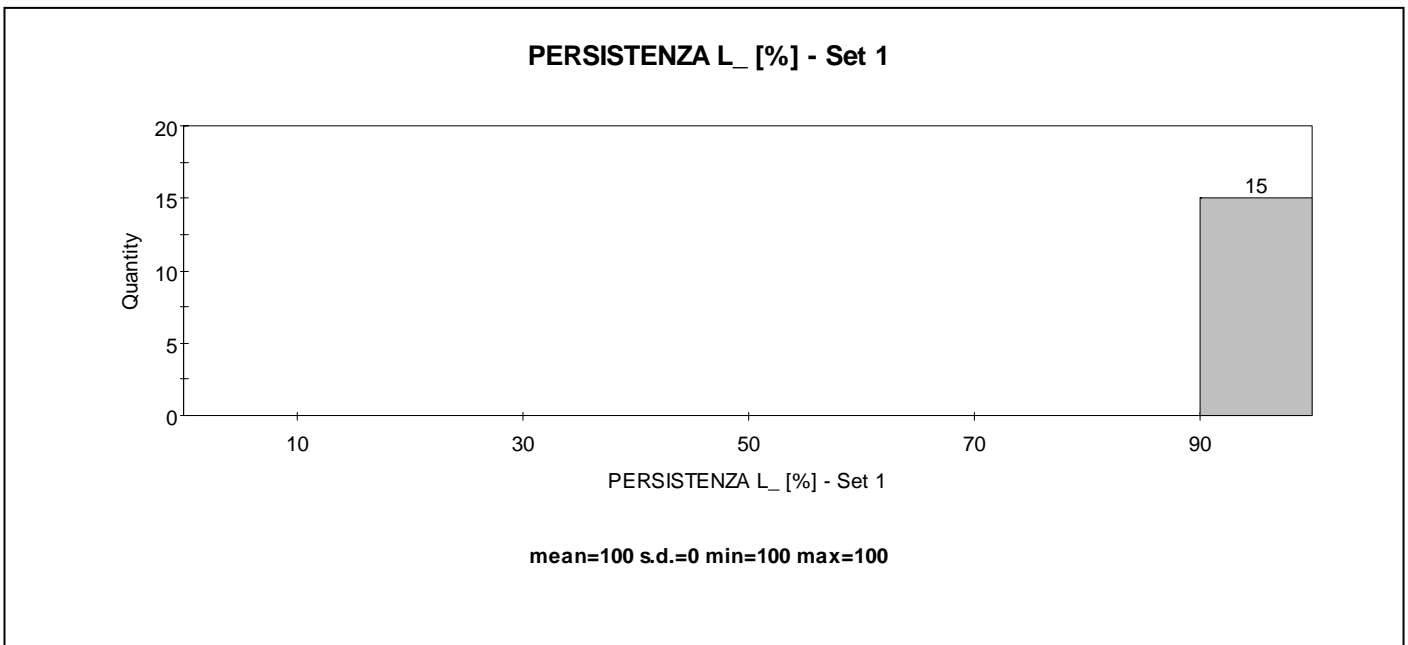
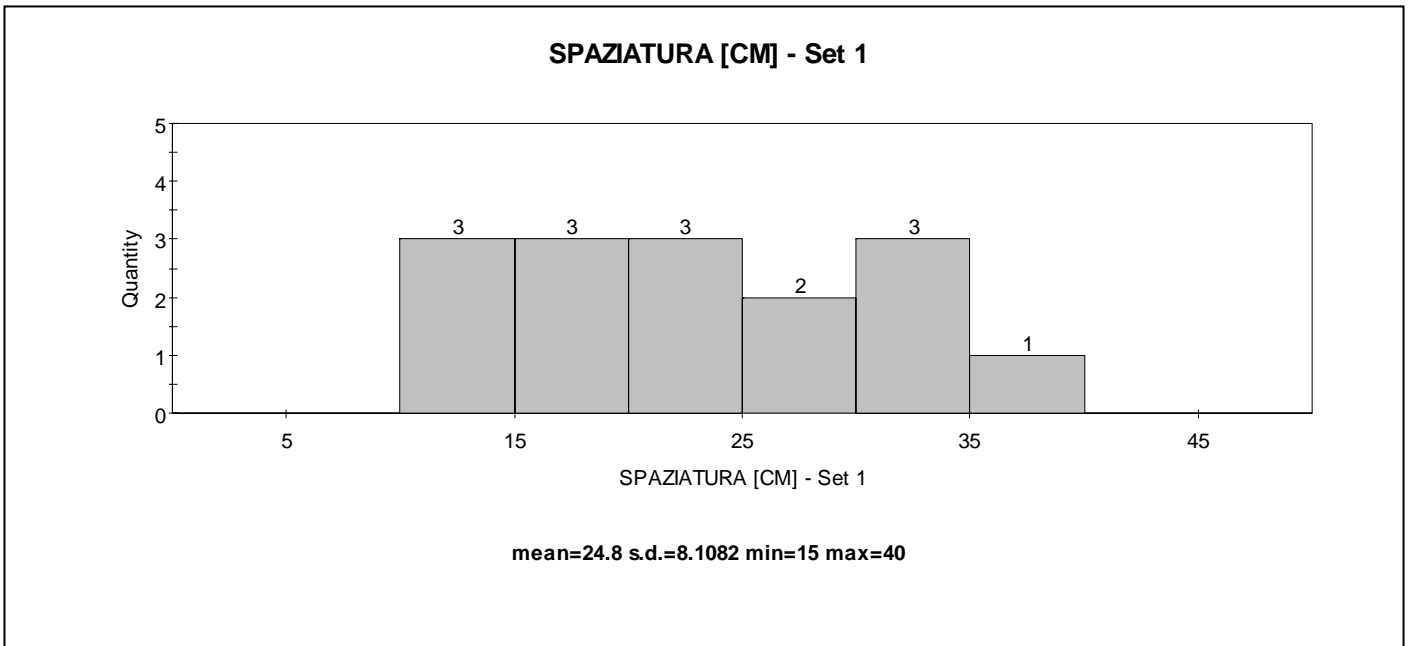
n°	litologia B					
	R	$\alpha$	corr.	R'	$\gamma$	$\sigma_{ci}$
	[-]	[°]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

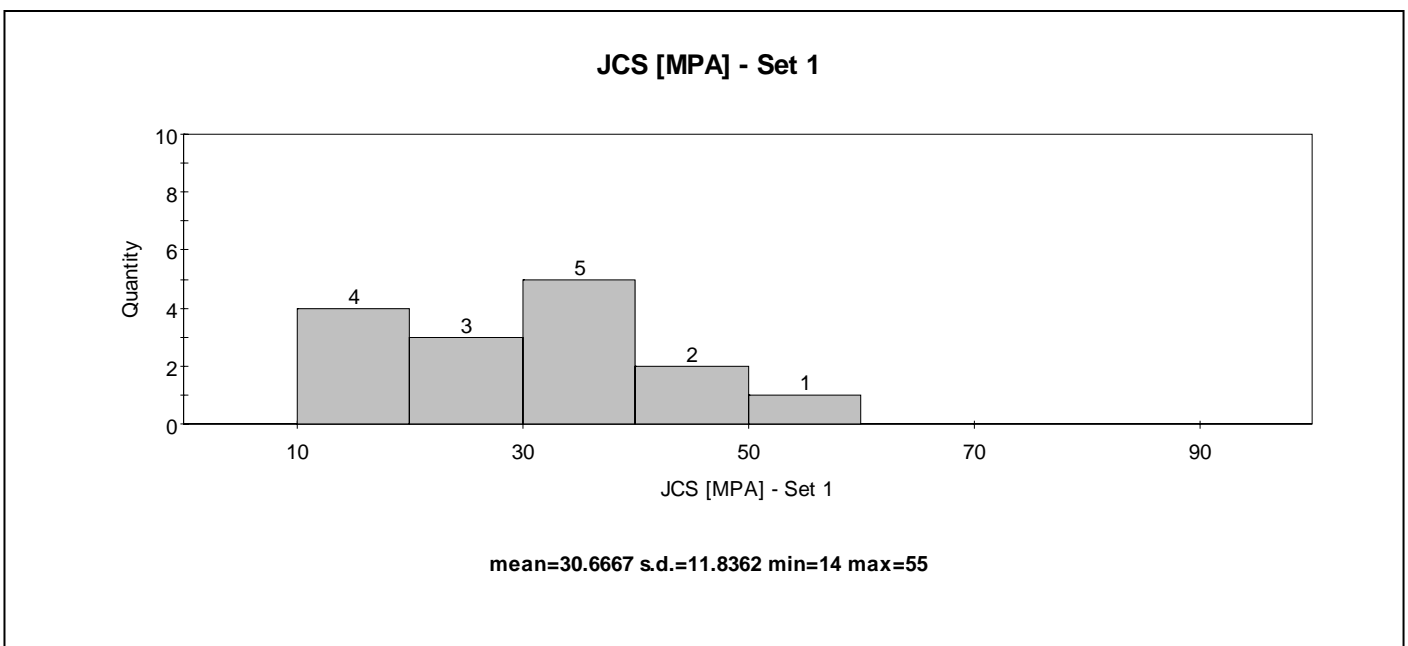
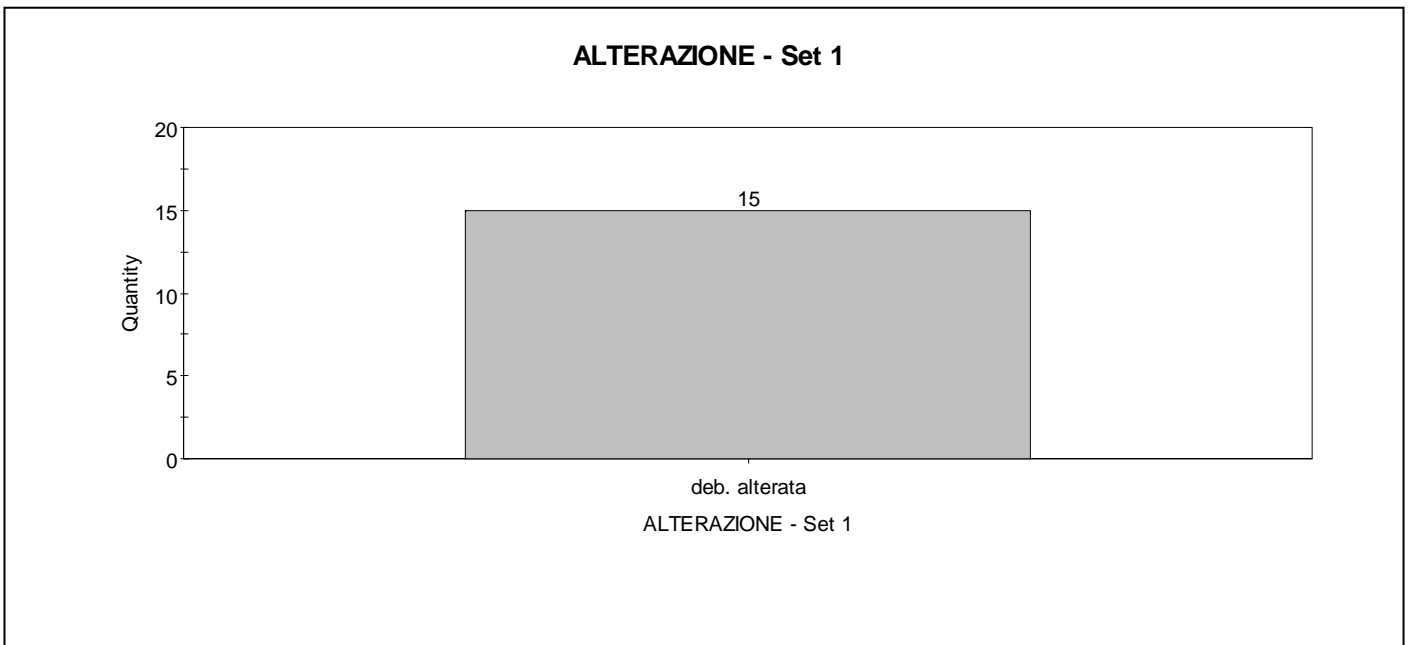
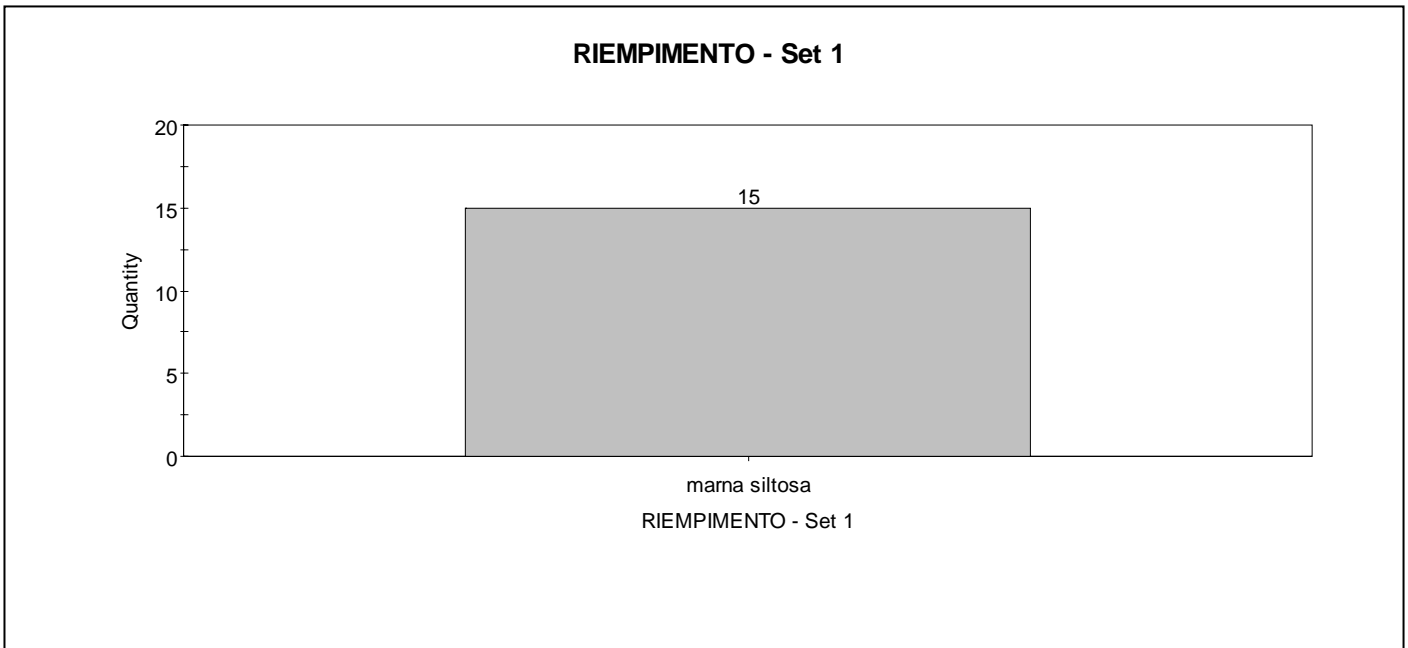
**Variabilità statistica**

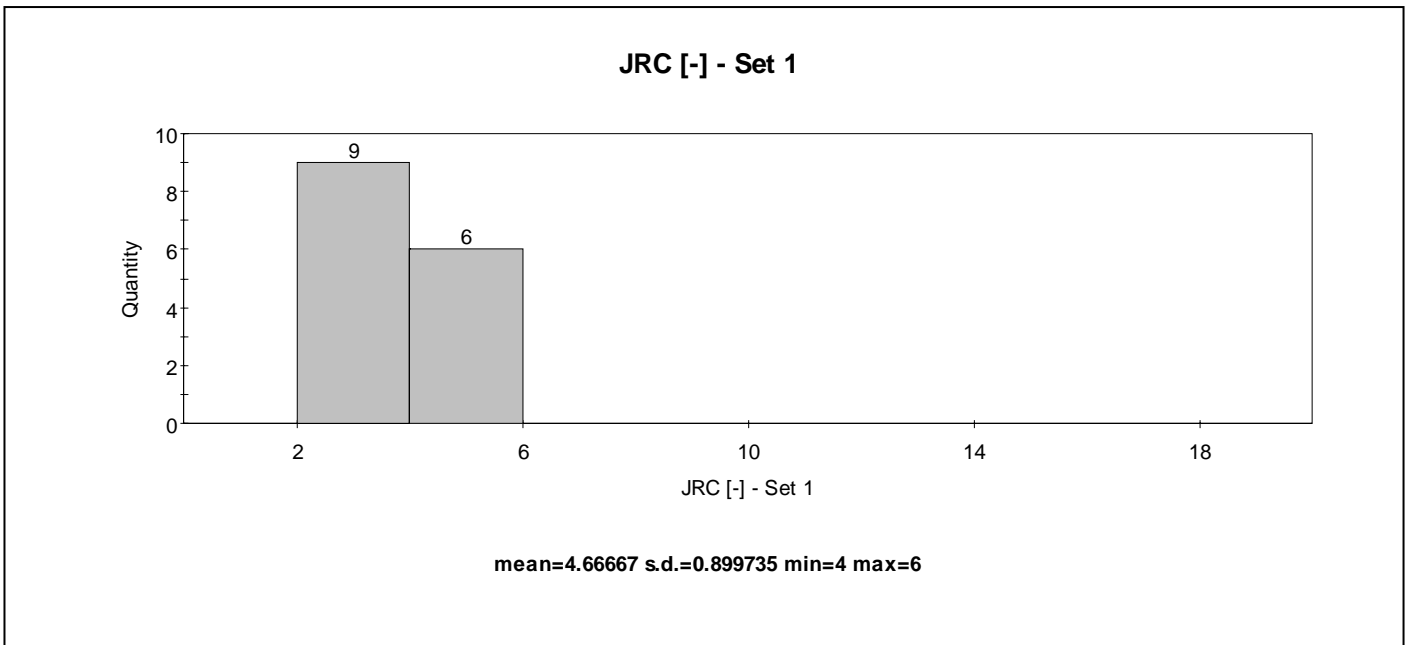
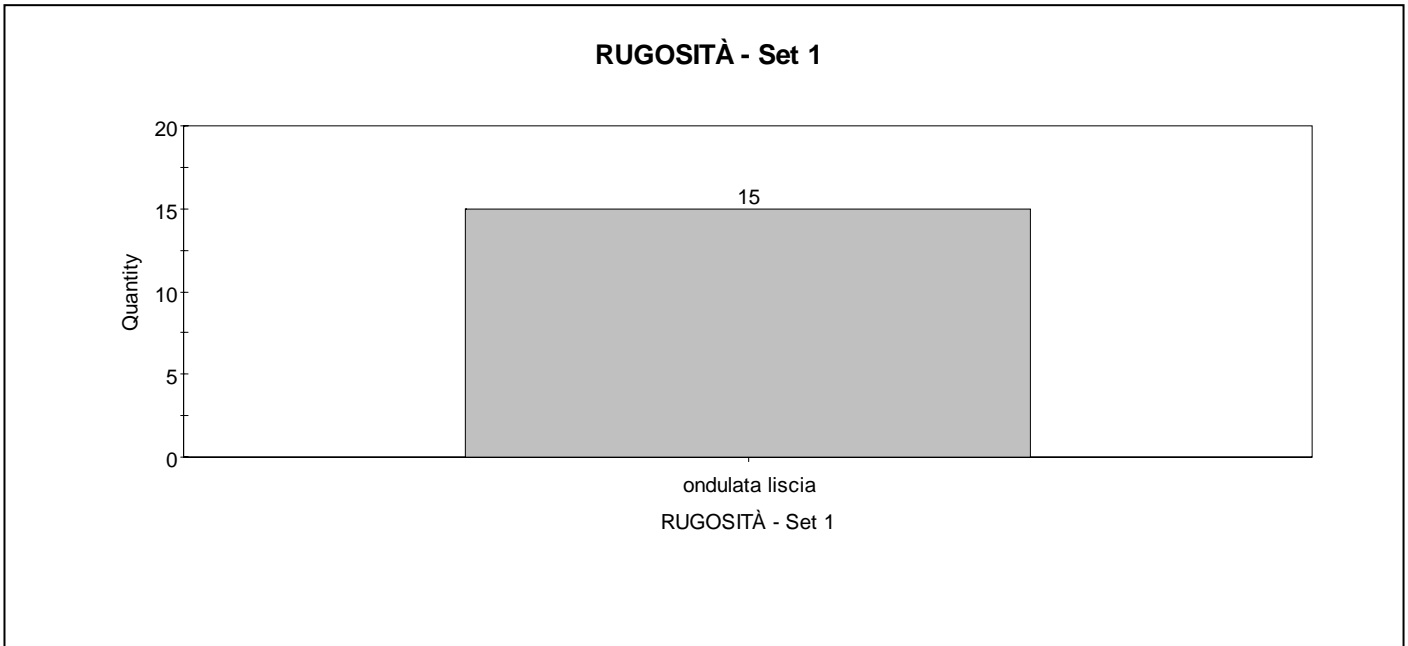
$\sigma_{ci}$ [MPa]	
<b>media</b>	<b>dev. st.</b>
<b>-</b>	<b>-</b>

mediana	percentili	
	5°	95°
<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

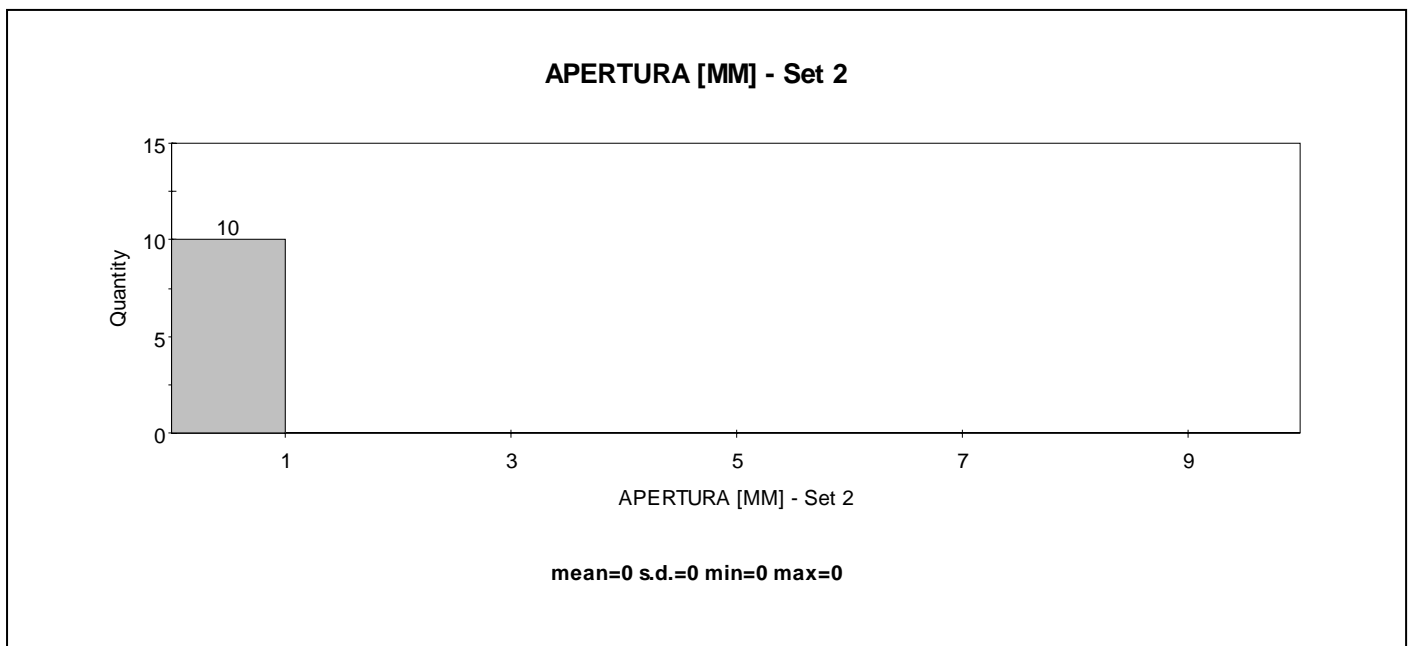
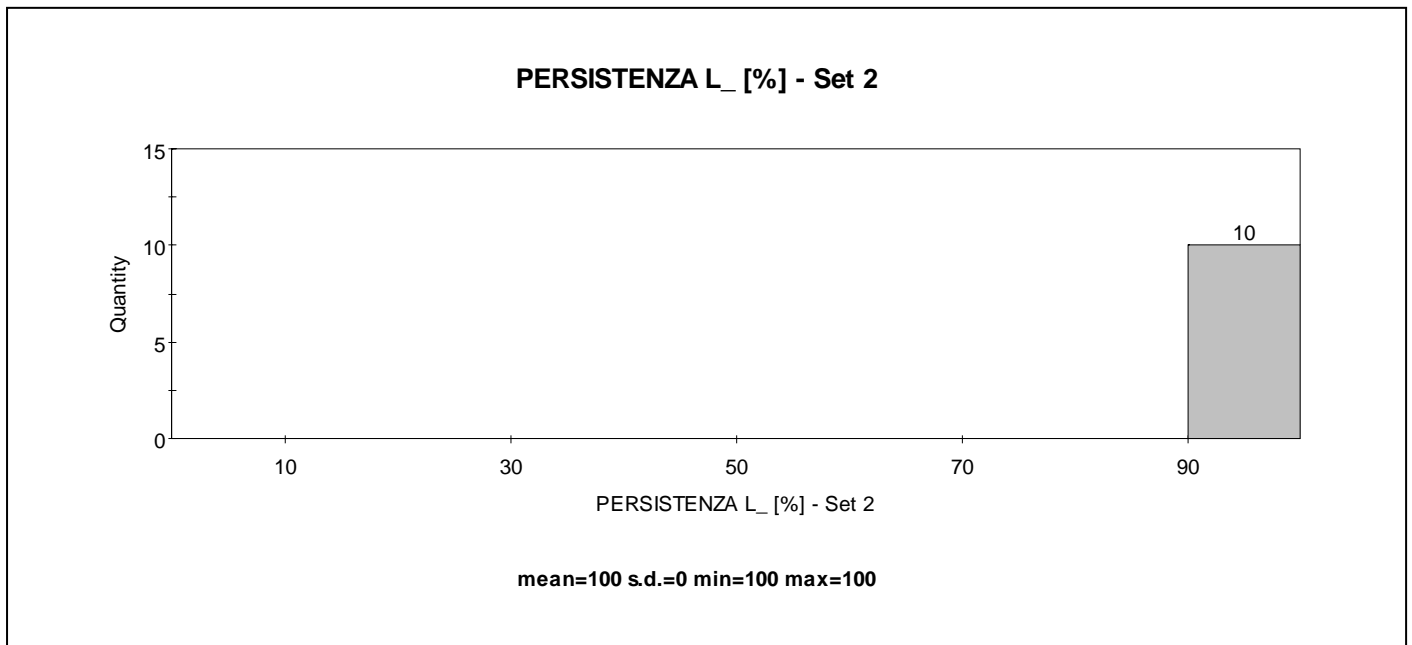
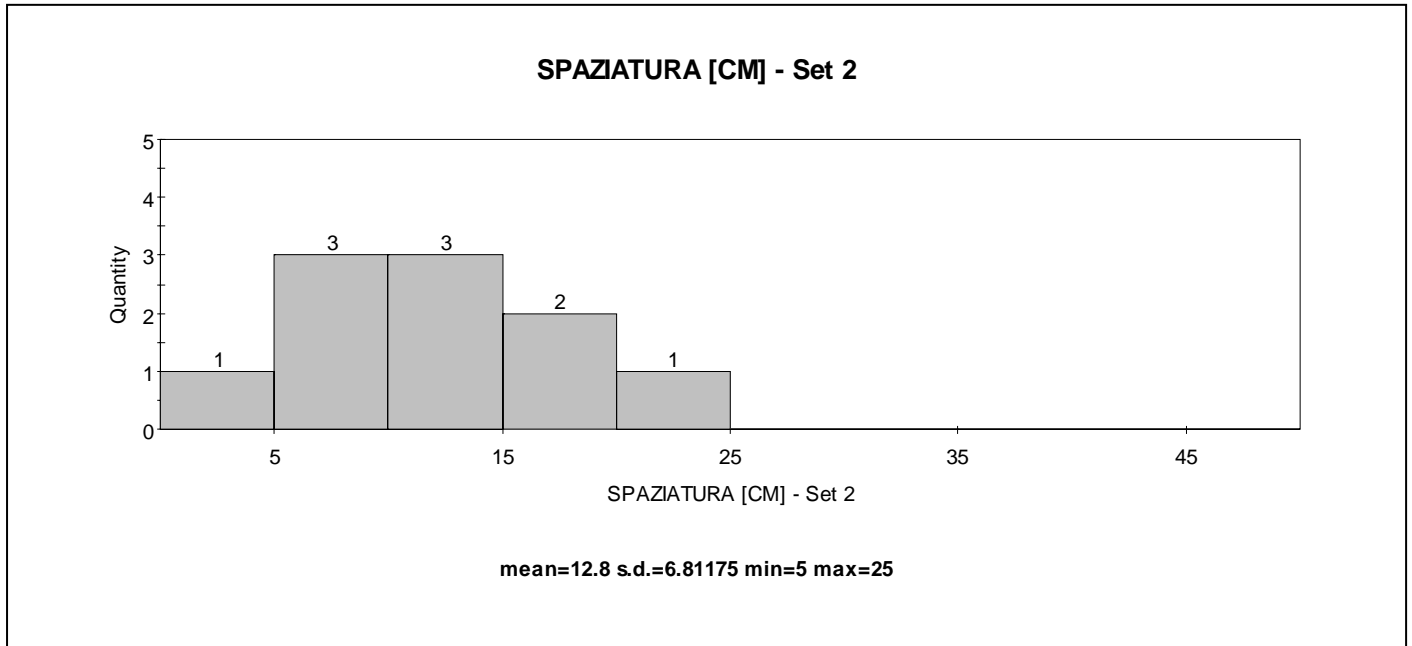


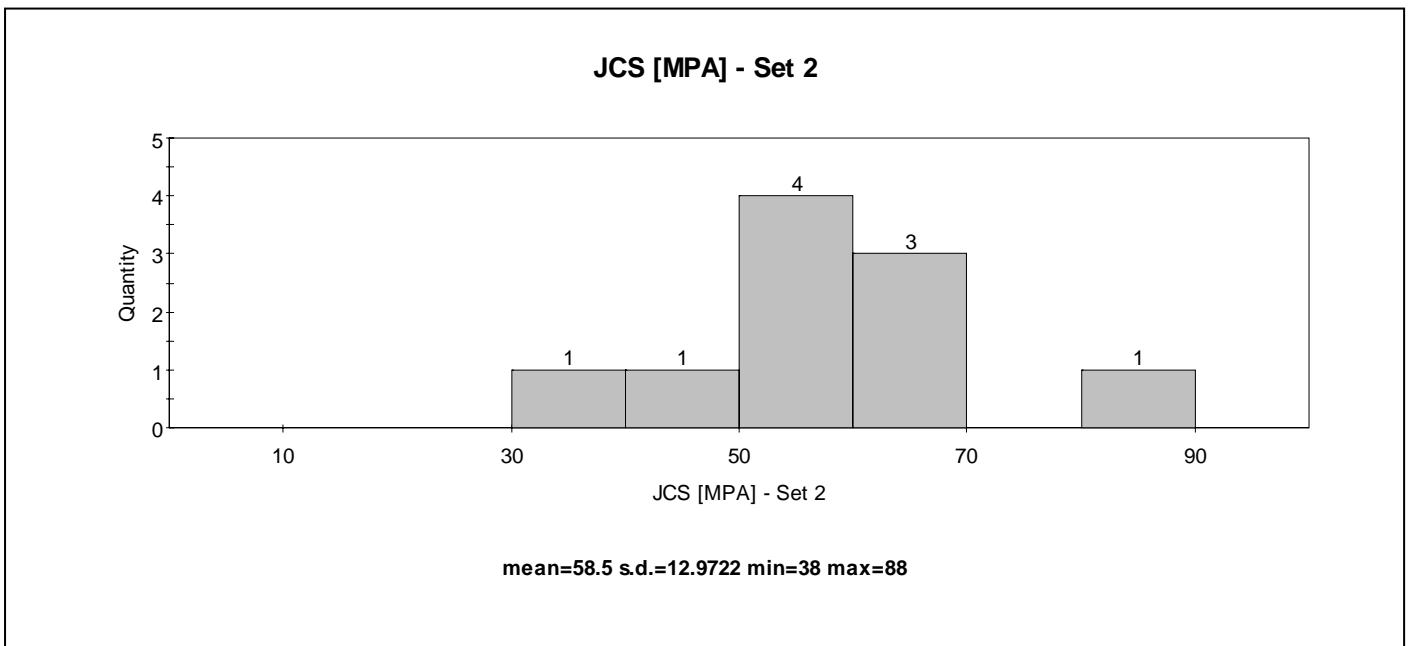
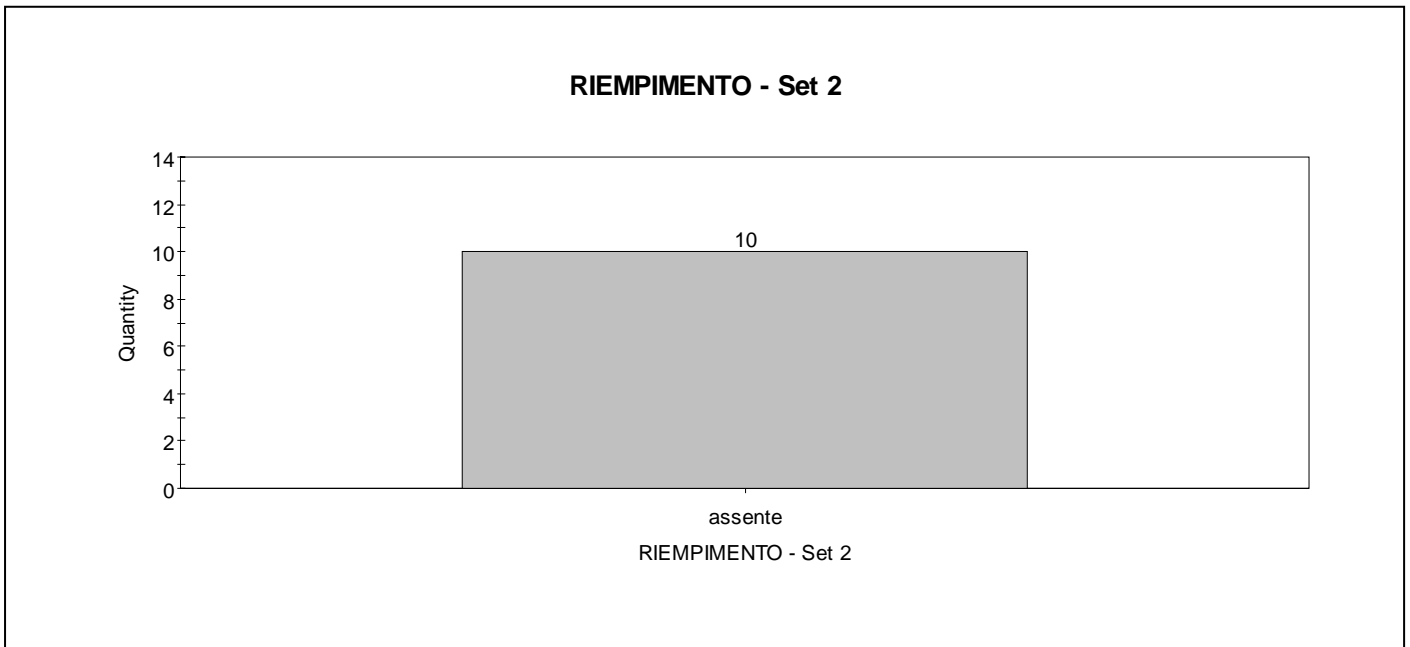
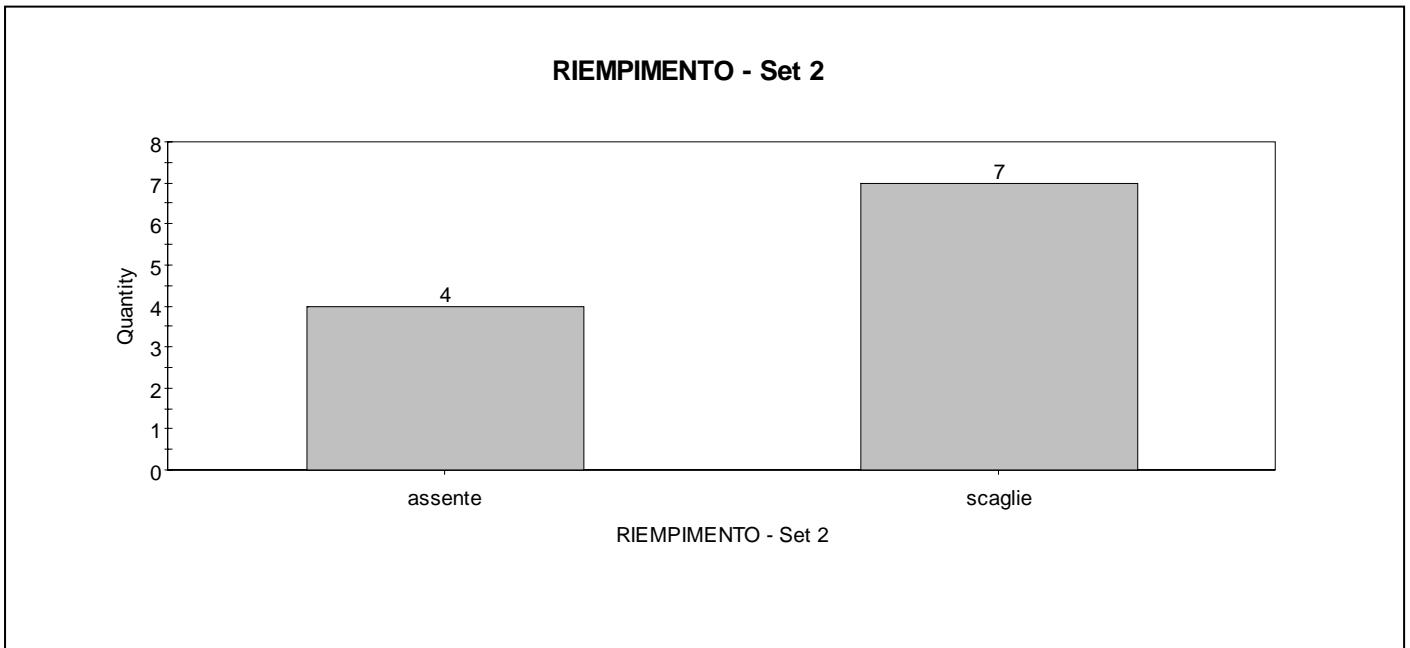


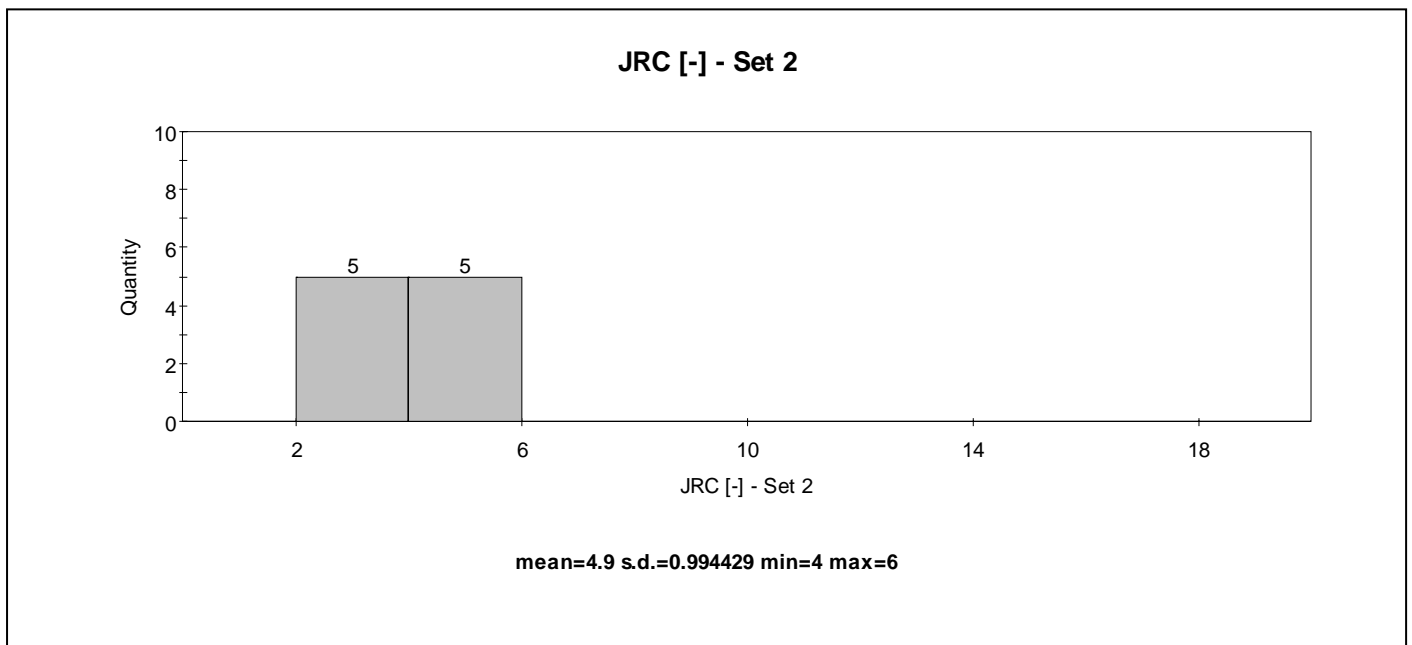
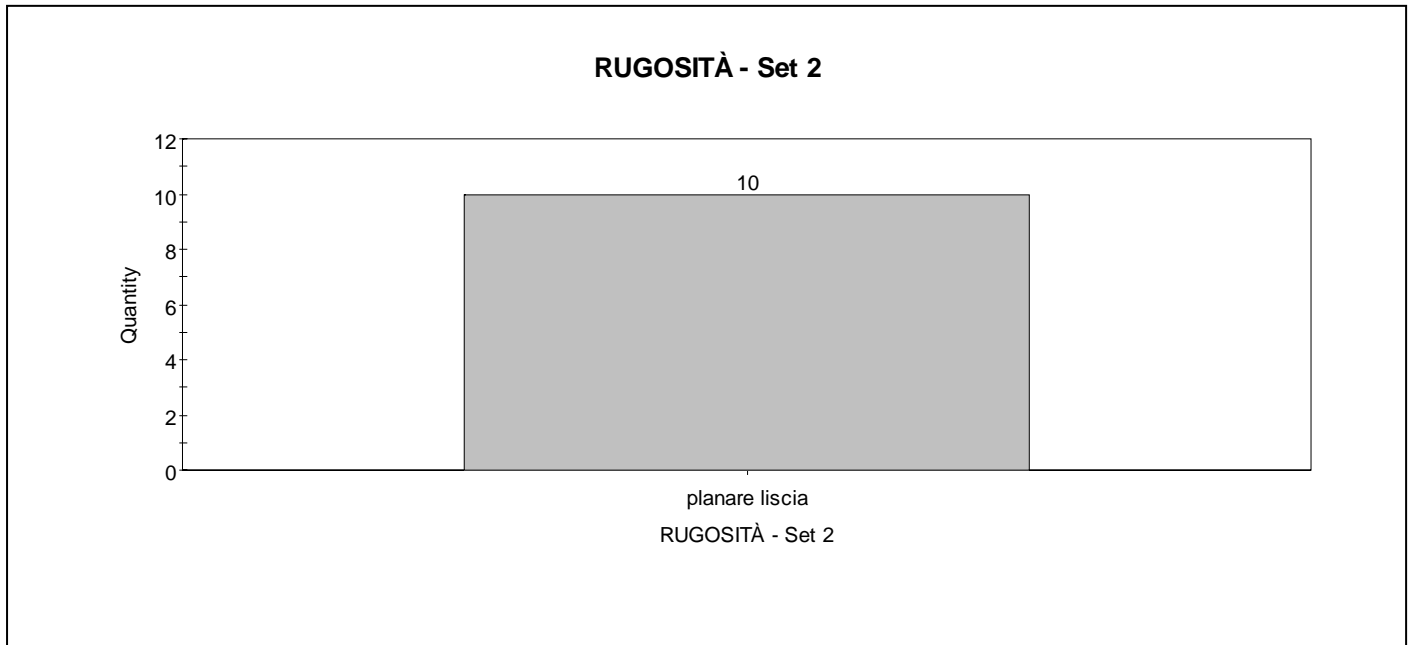


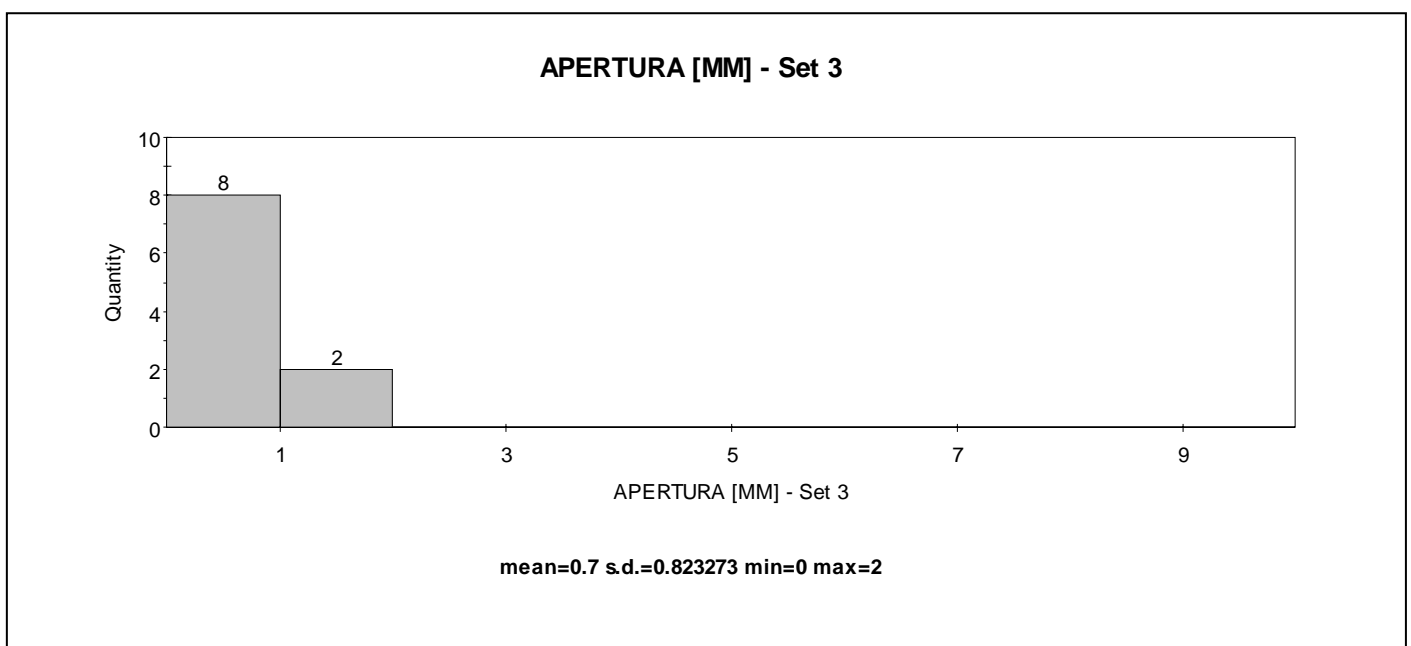
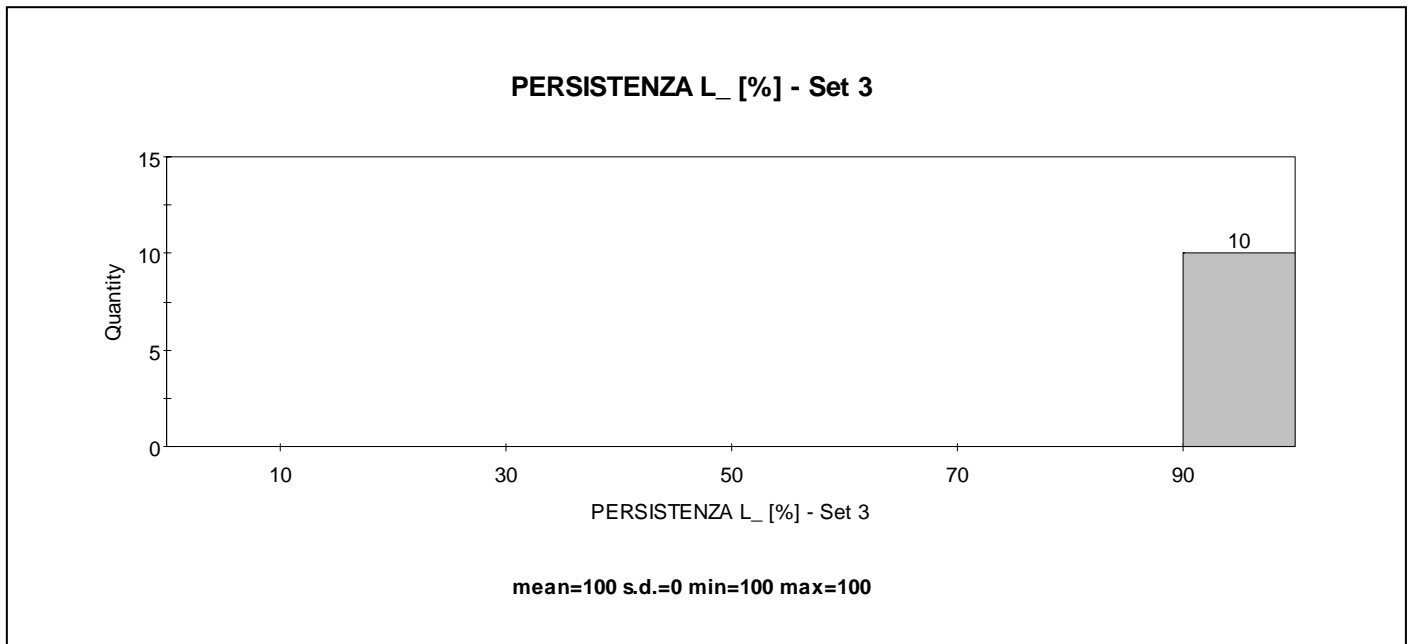
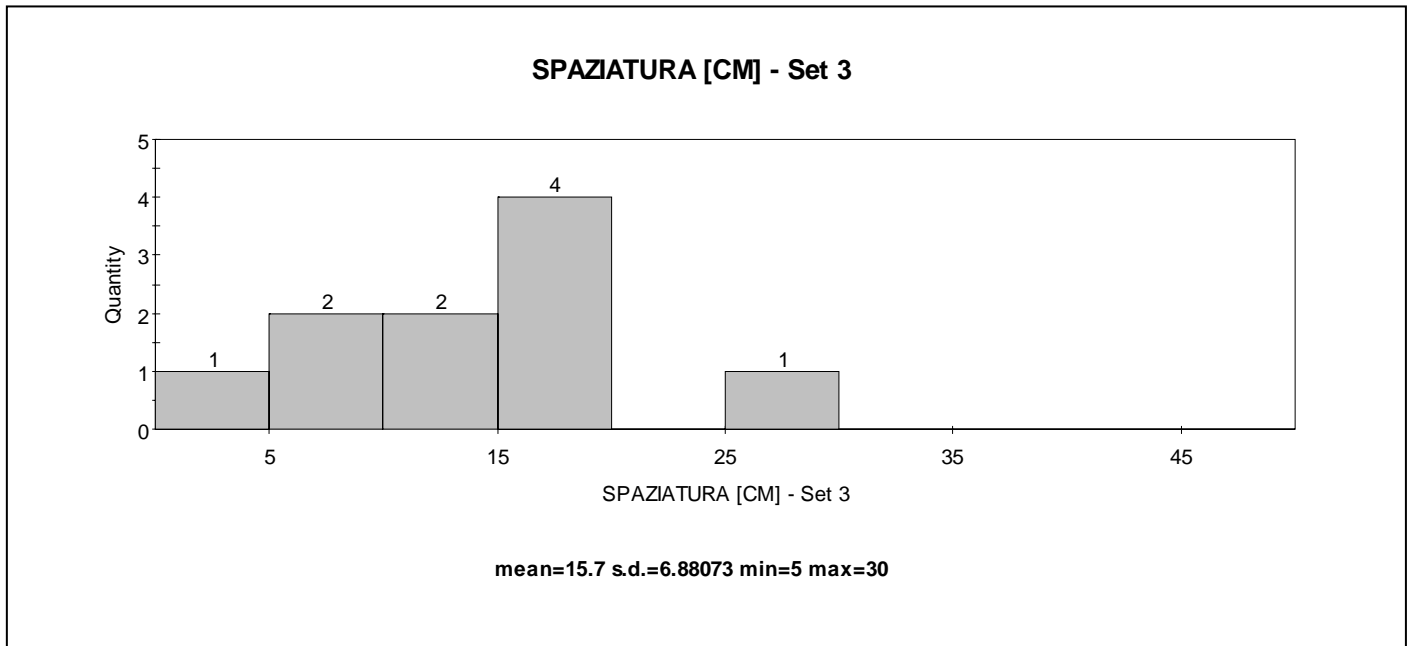


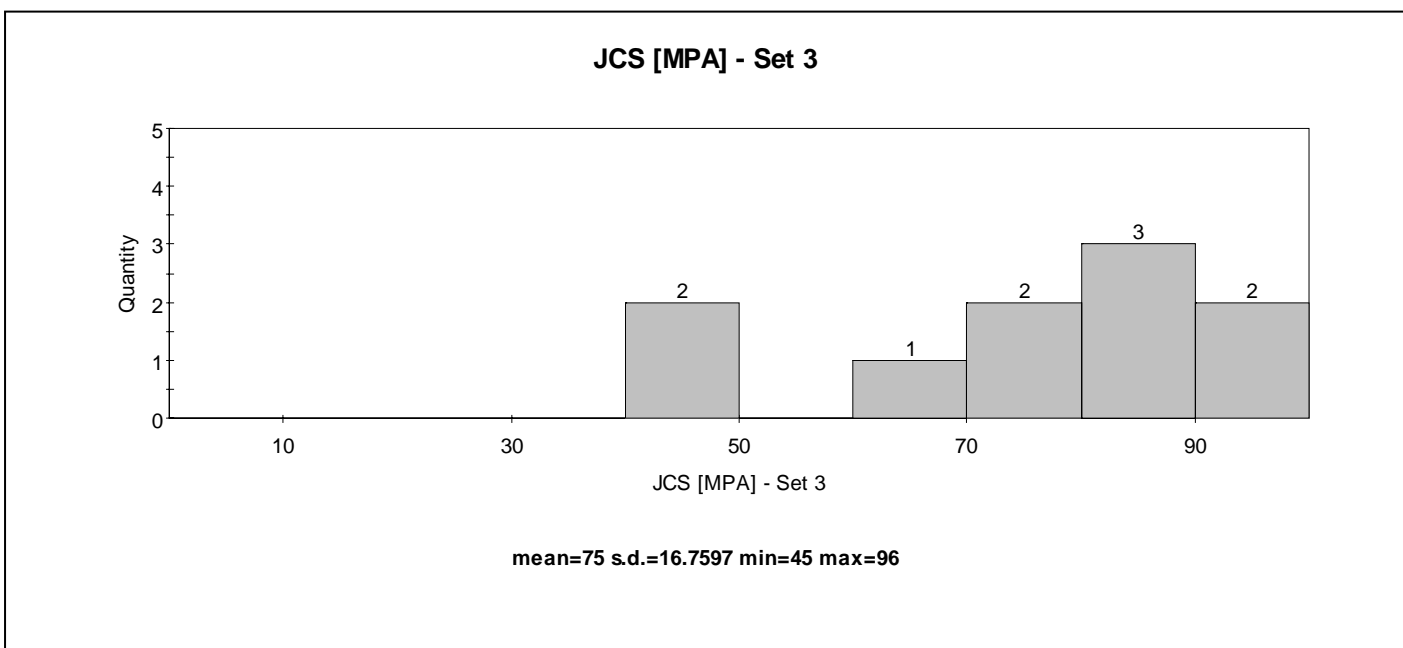
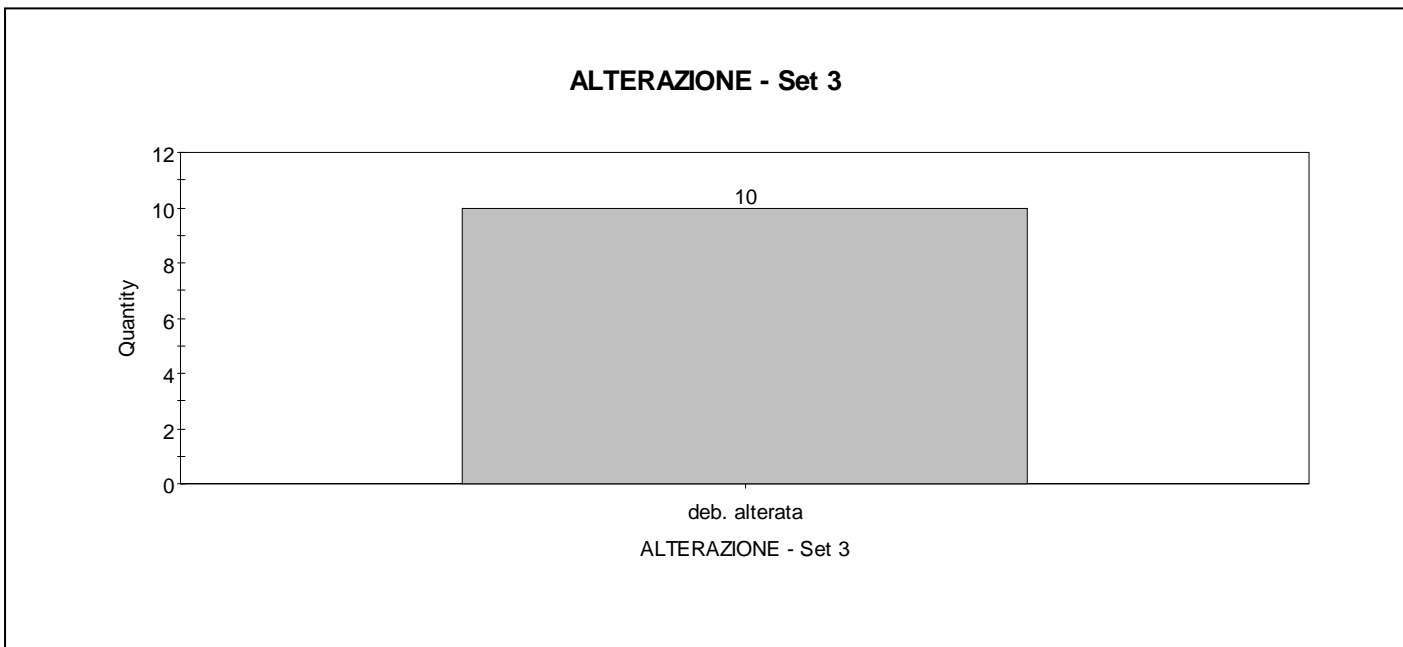
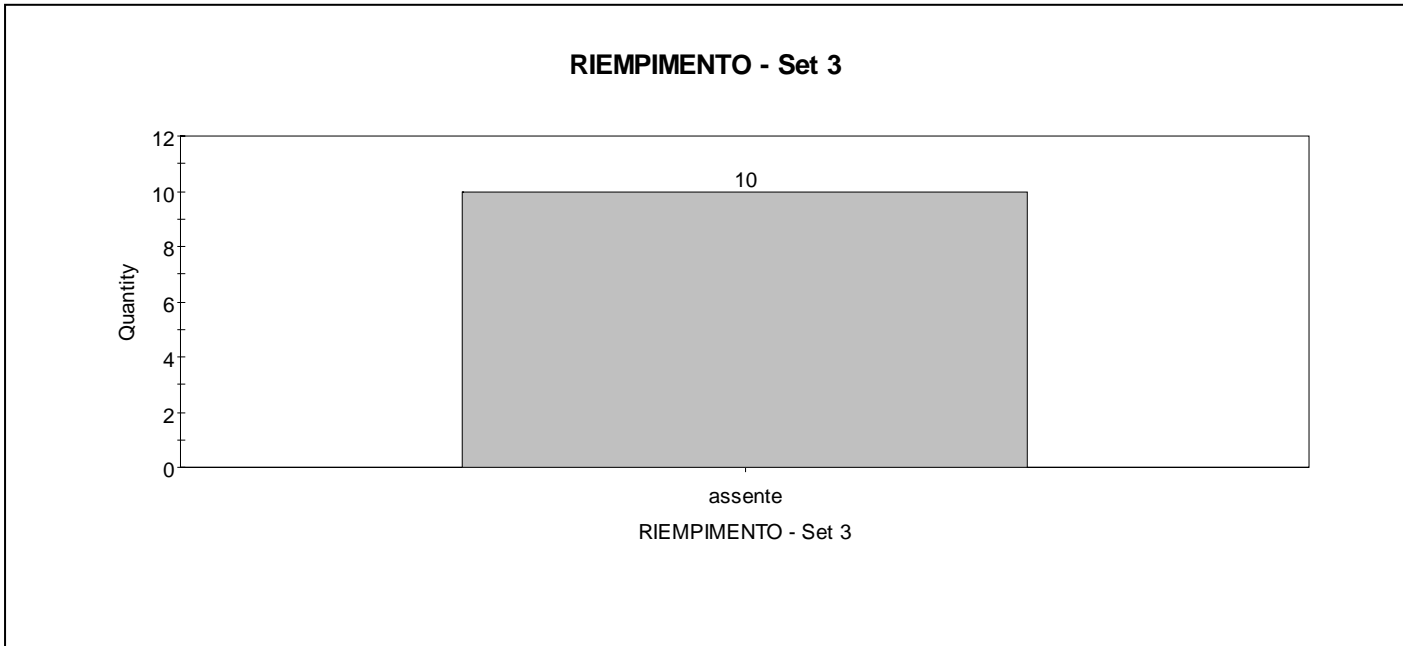


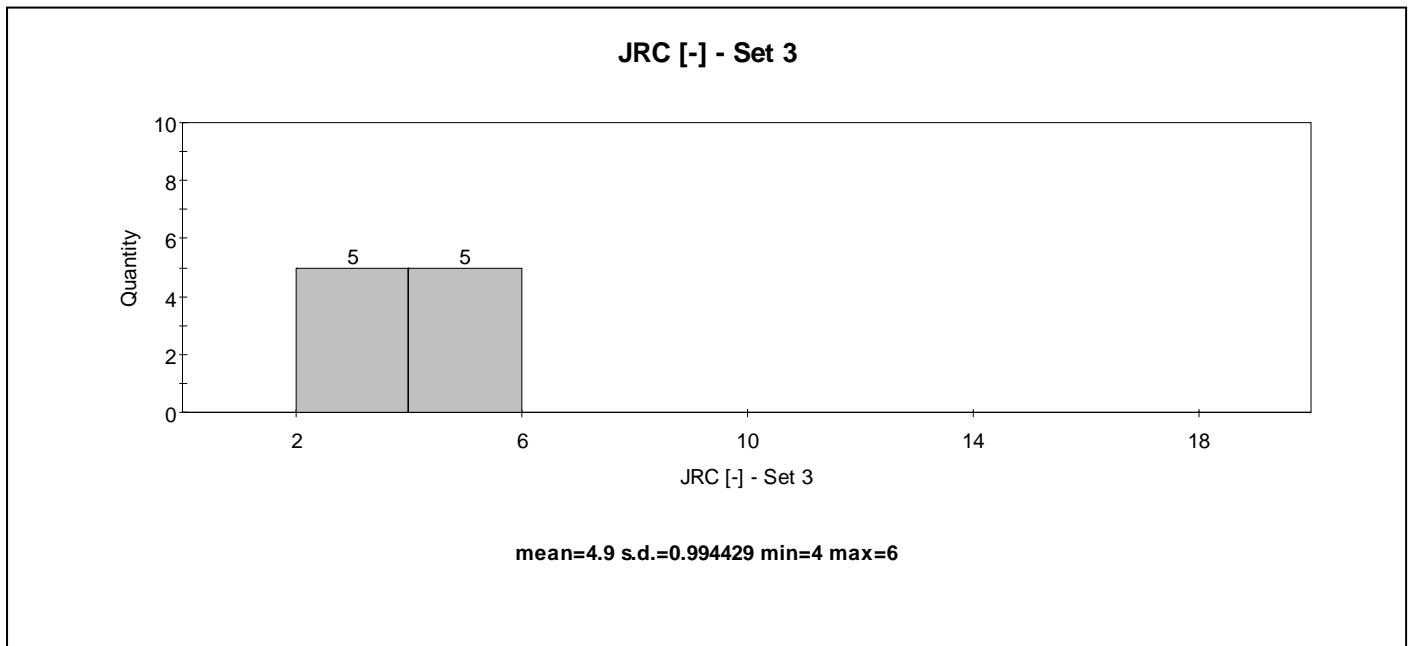
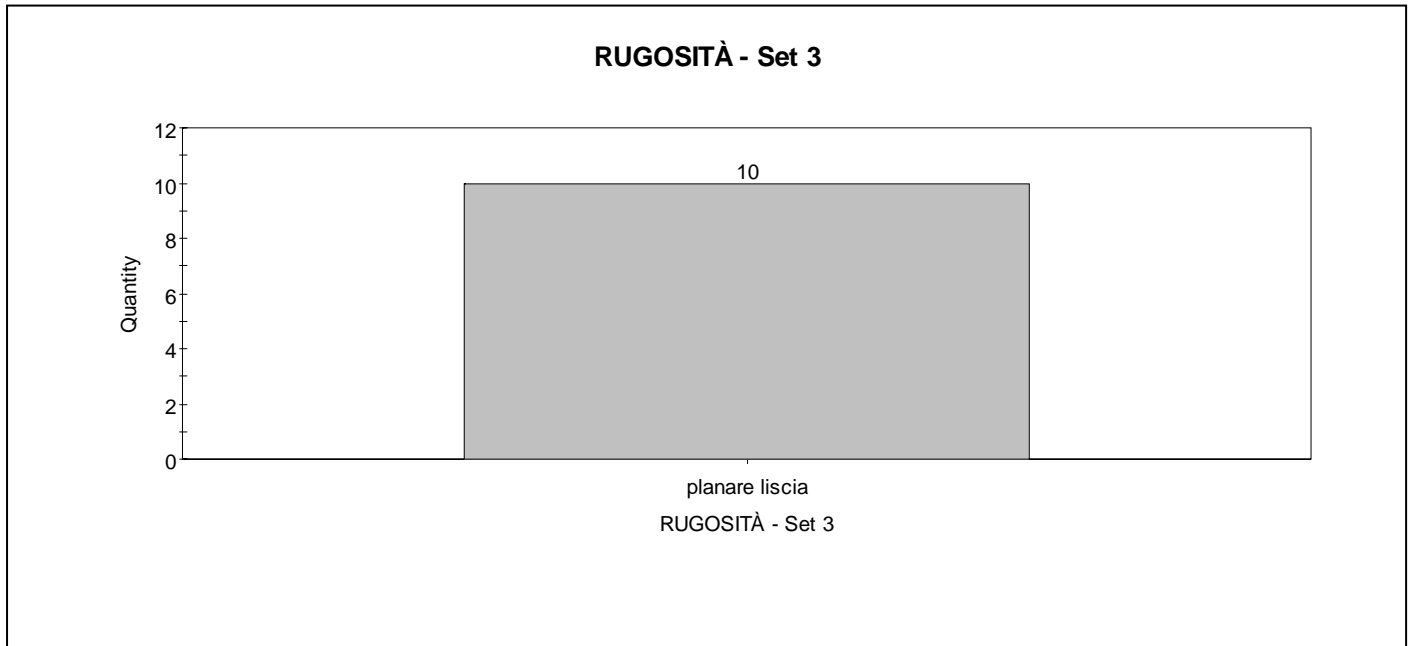










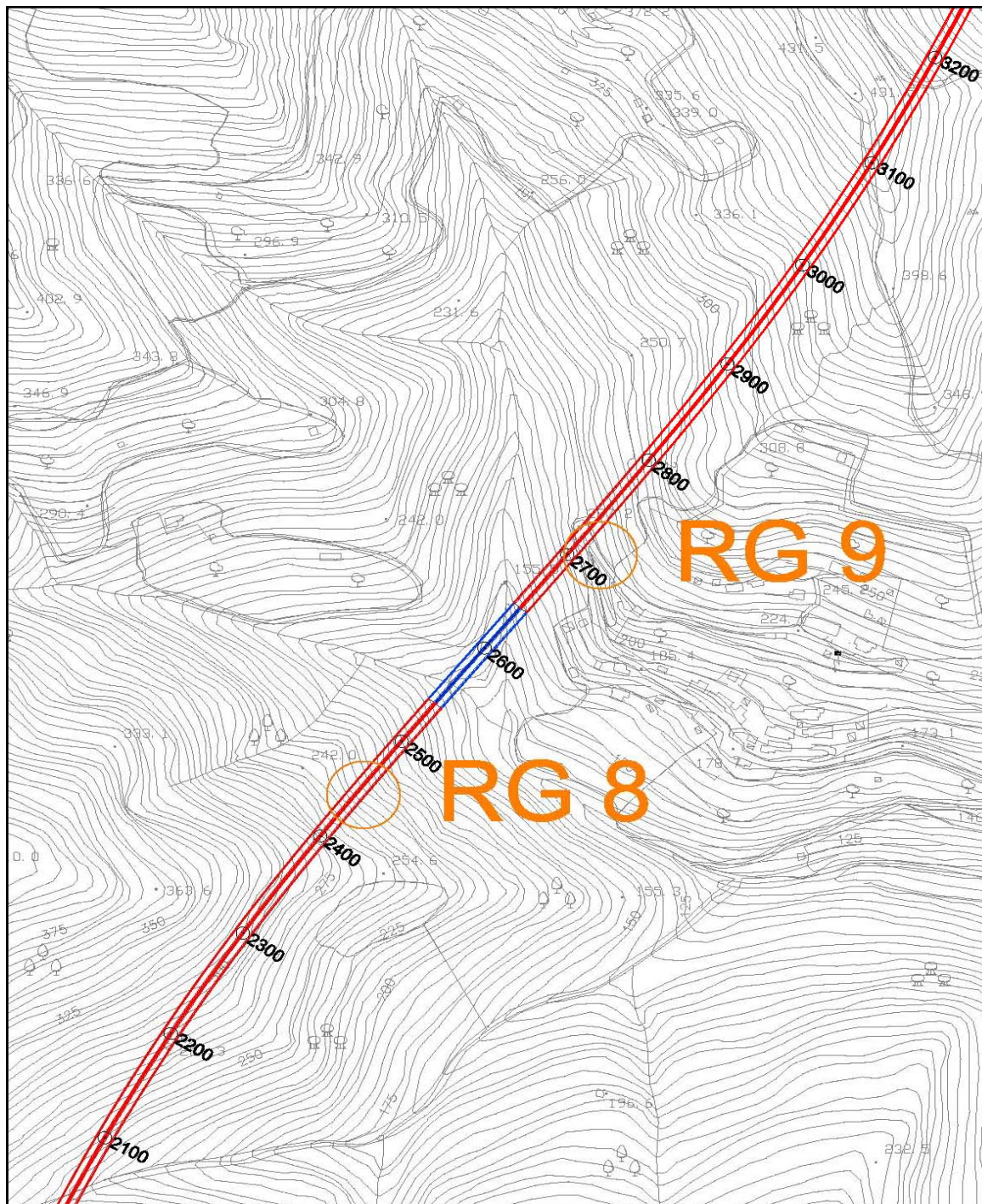


# RILIEVO GEOMECCANICO

## Ubicazione area di rilievo

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.			
<b>Commessa</b>	Fontanabuona			
<b>Località</b>	Arboccò			
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga	X: 1515179	Y: 4914500	Quota: 207
<b>Data</b>	20/08/11			
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 9			

## Stralcio planimetrico



Scala 1:5.000









**RILIEVO GEOMECCANICO**  
**Rilievi sclerometrici sul materiale roccia**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.					
<b>Commessa</b>	Fontanabuona					
<b>Località</b>	Arbocchè					
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga X: 1515179		Y: 4914500		Quota: 207	
<b>Data</b>	20/08/11					
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG9					

n°	litologia A					
	R	$\alpha$	corr.	R'	$\gamma$	$\sigma_{ci}$
	[-]	[°]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]
1	42	-90	0	42	26	93,53
2	42	-90	0	42	26	93,53
3	44	-90	0	44	26	103,92
4	42	-90	0	42	26	93,53
5	40	-90	0	40	26	84,18
6	40	-90	0	40	26	84,18
7	42	-90	0	42	26	93,53
8	40	-90	0	40	26	84,18
9	36	-90	0	36	26	68,18
10	40	-90	0	40	26	84,18
11	42	-90	0	42	26	93,53
12	40	-90	0	40	26	84,18
13	42	-90	0	42	26	93,53
14	38	-90	0	38	26	75,76
15	40	-90	0	40	26	84,18
16	40	-90	0	40	26	84,18
17	40	-90	0	40	26	84,18
18	38	-90	0	38	26	75,76
19	40	-90	0	40	26	84,18
20	40	-90	0	40	26	84,18

**Variabilità statistica**

$\sigma_{ci}$ [MPa]	
<b>media</b>	<b>dev. st.</b>
<b>86,33</b>	<b>8,01</b>

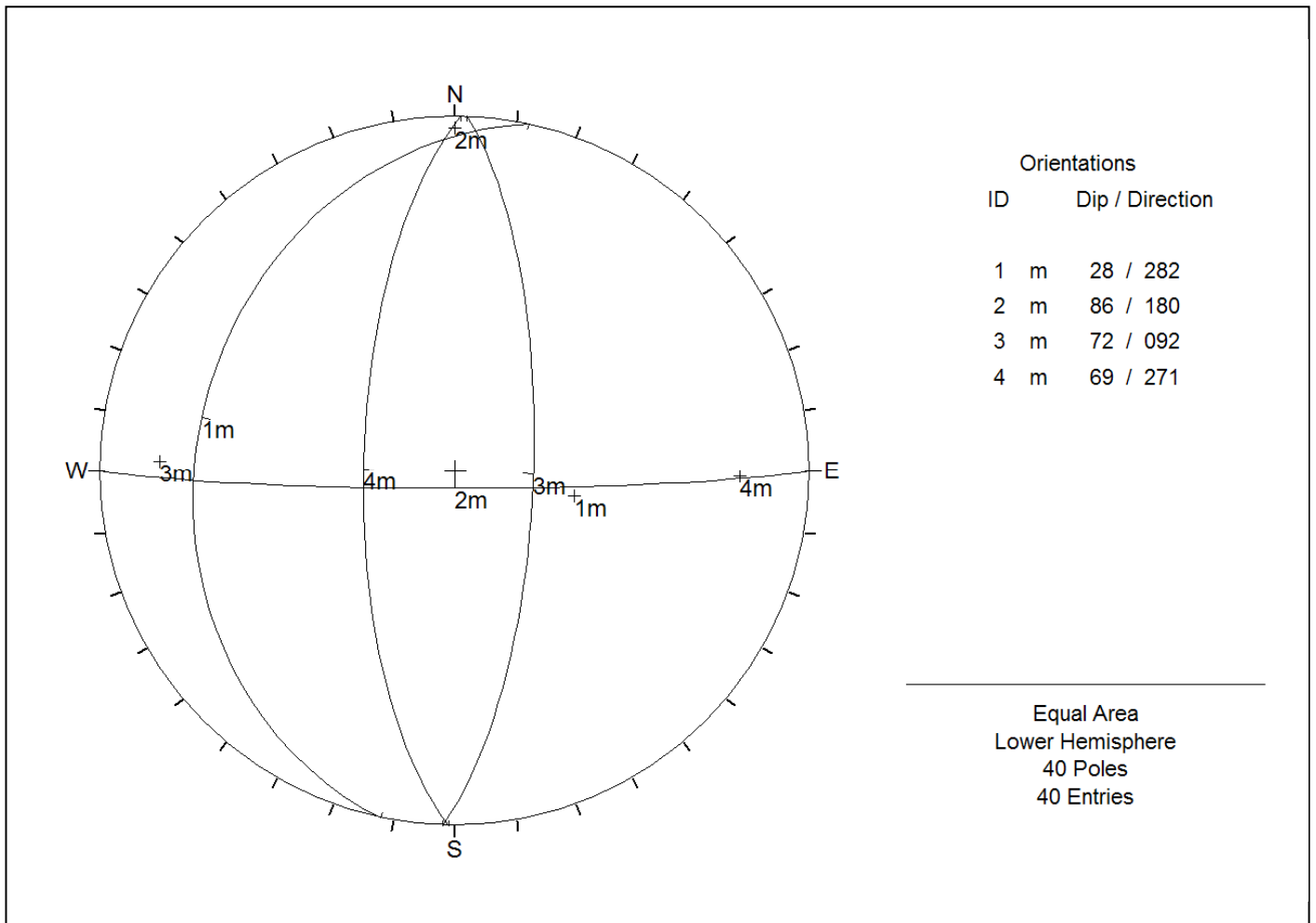
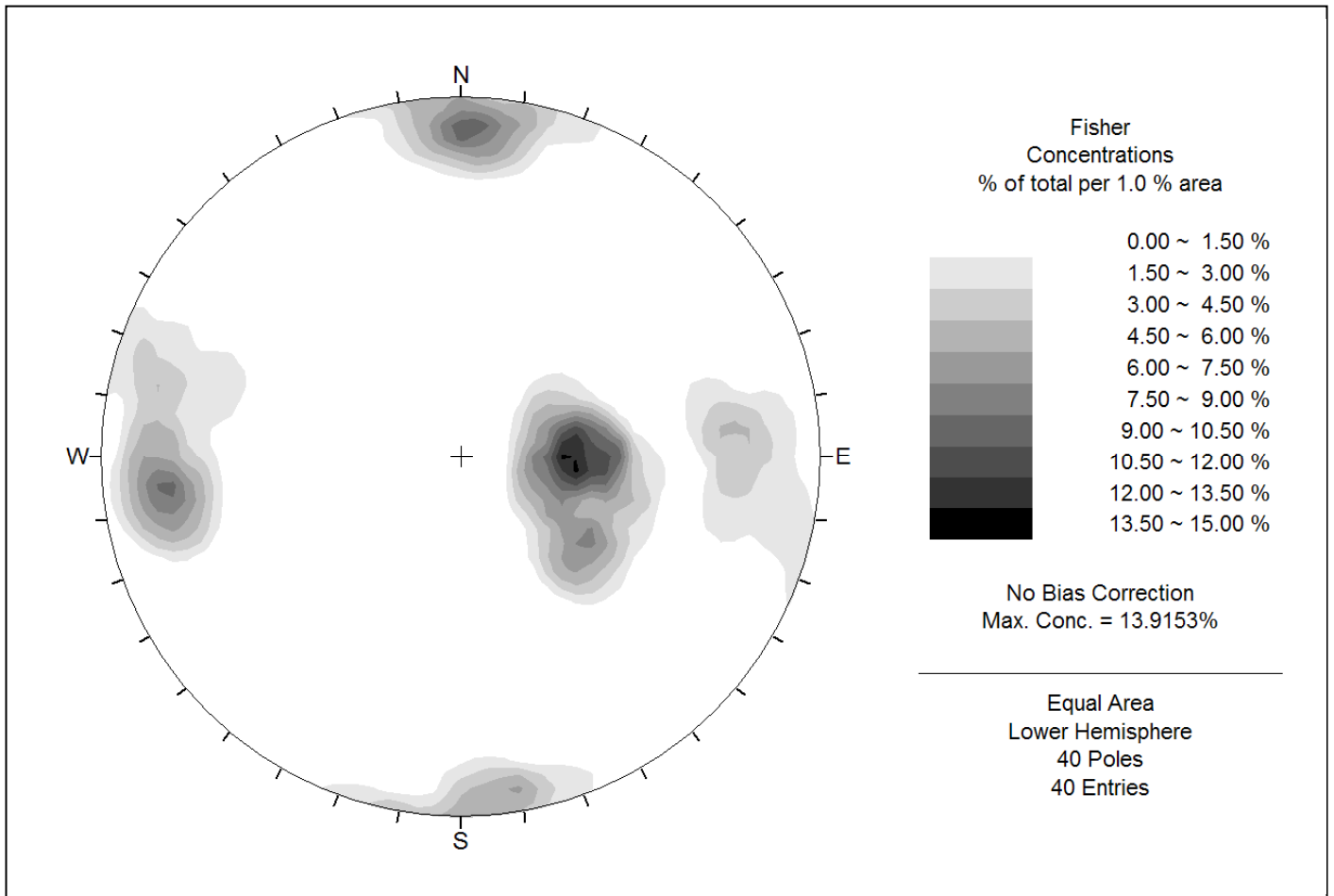
mediana	percentili	
	5°	95°
<b>84,18</b>	<b>75,38</b>	<b>94,05</b>

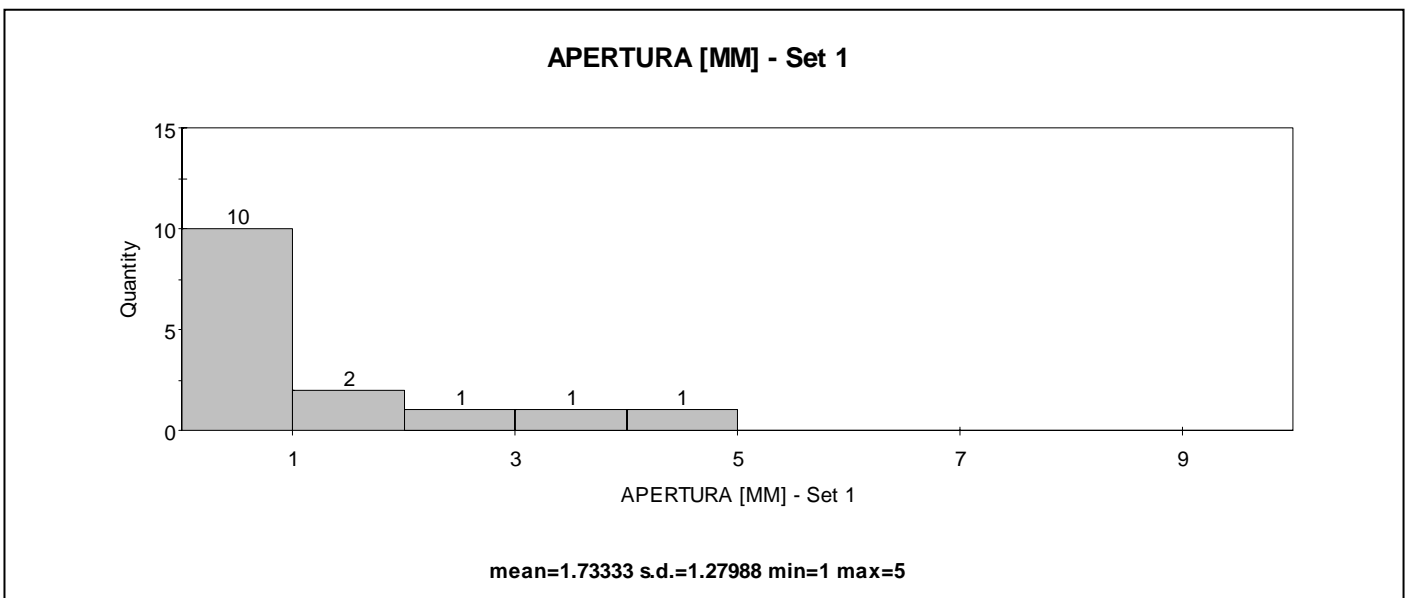
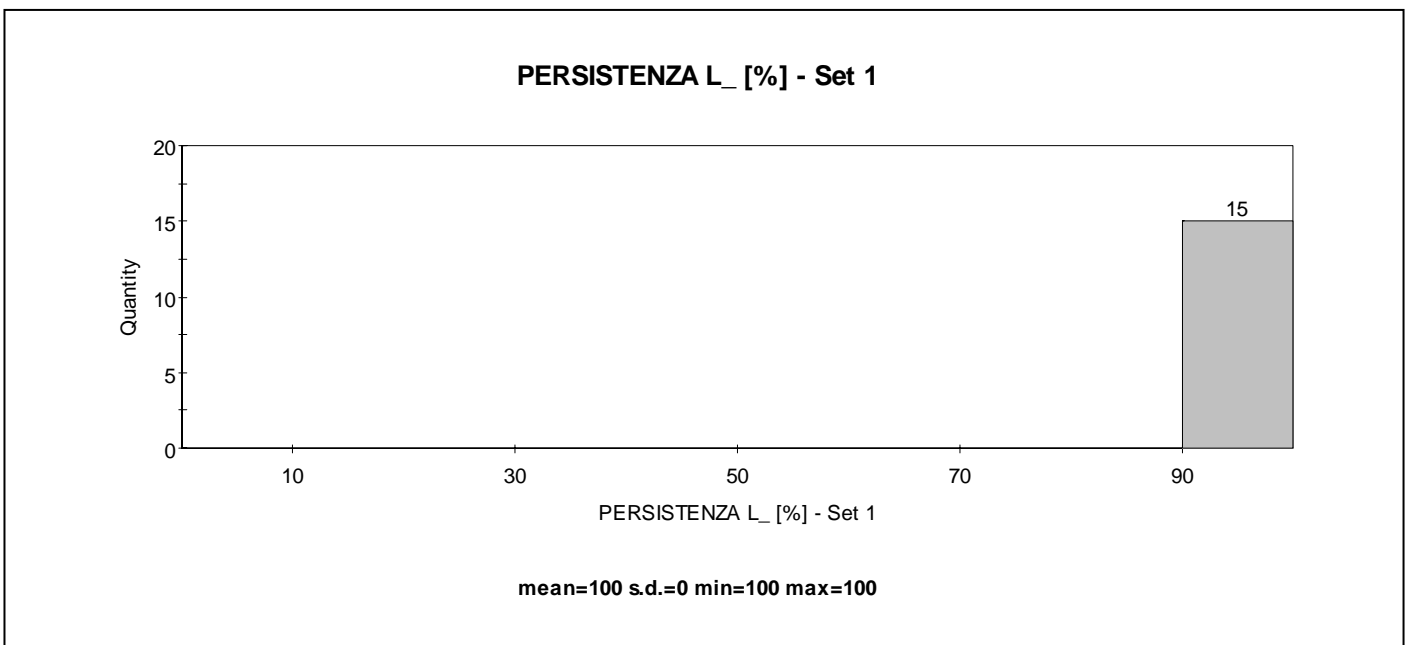
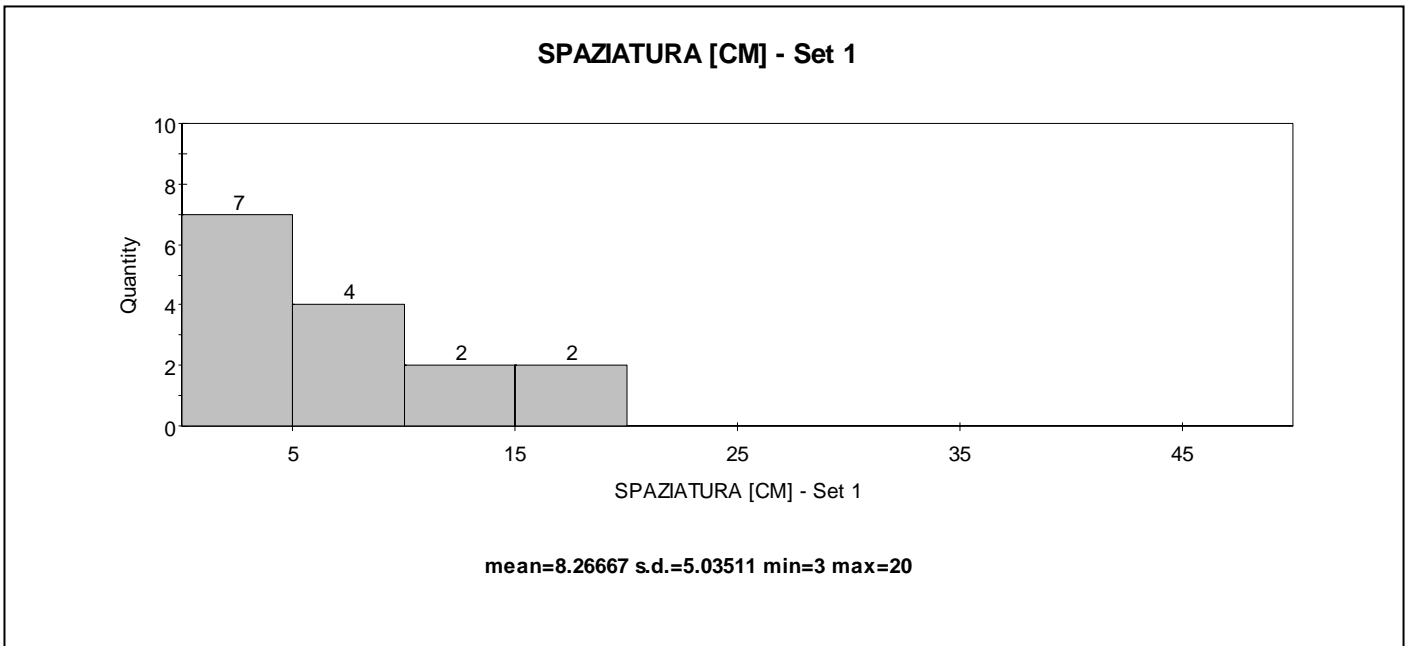
n°	litologia B					
	R	$\alpha$	corr.	R'	$\gamma$	$\sigma_{ci}$
	[-]	[°]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

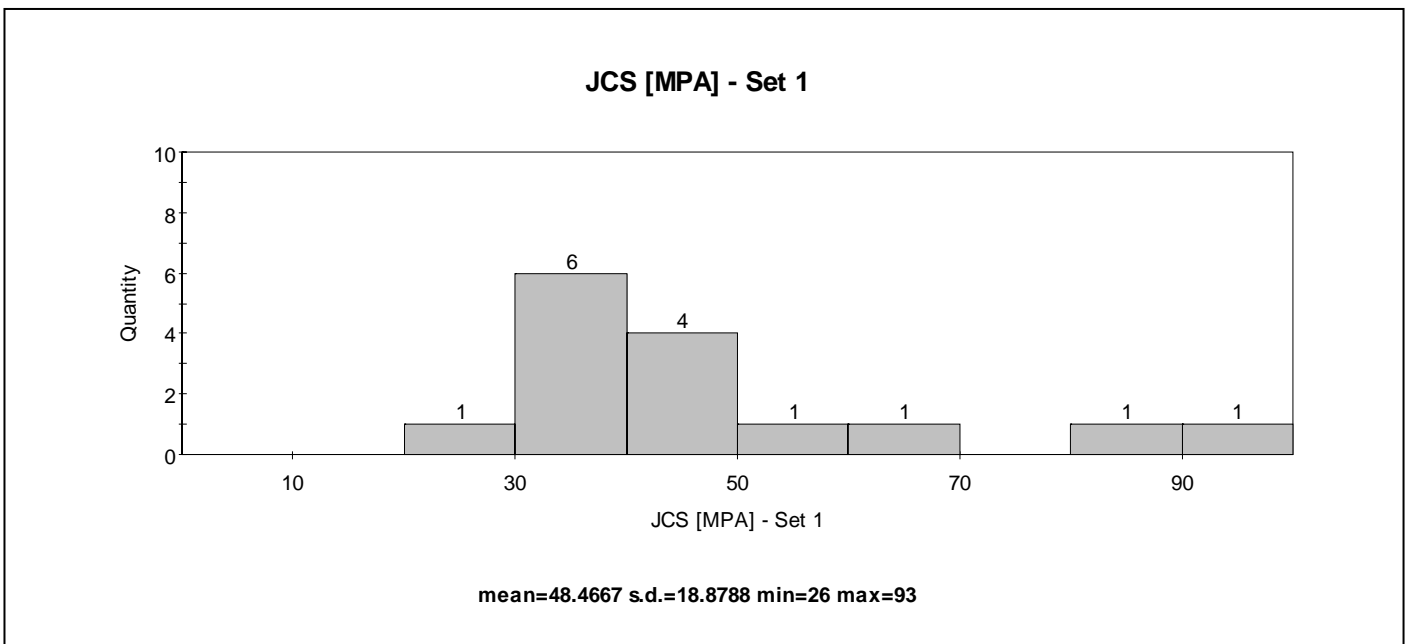
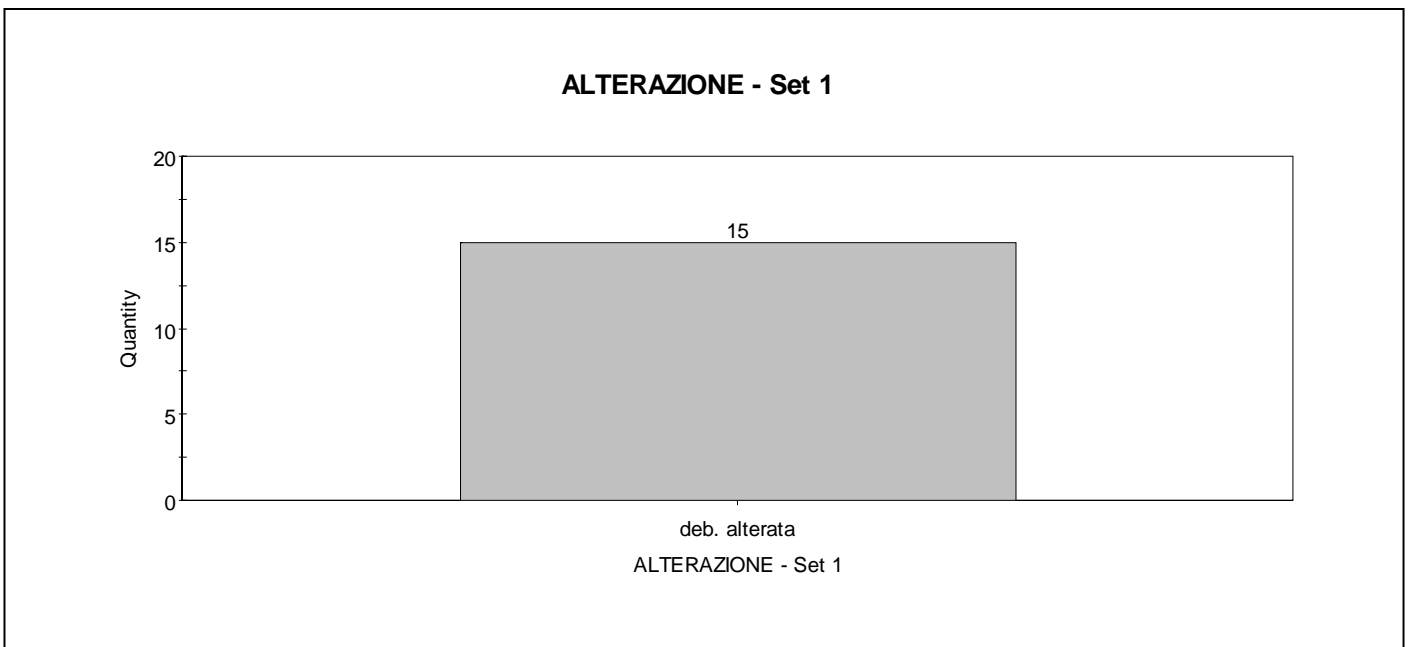
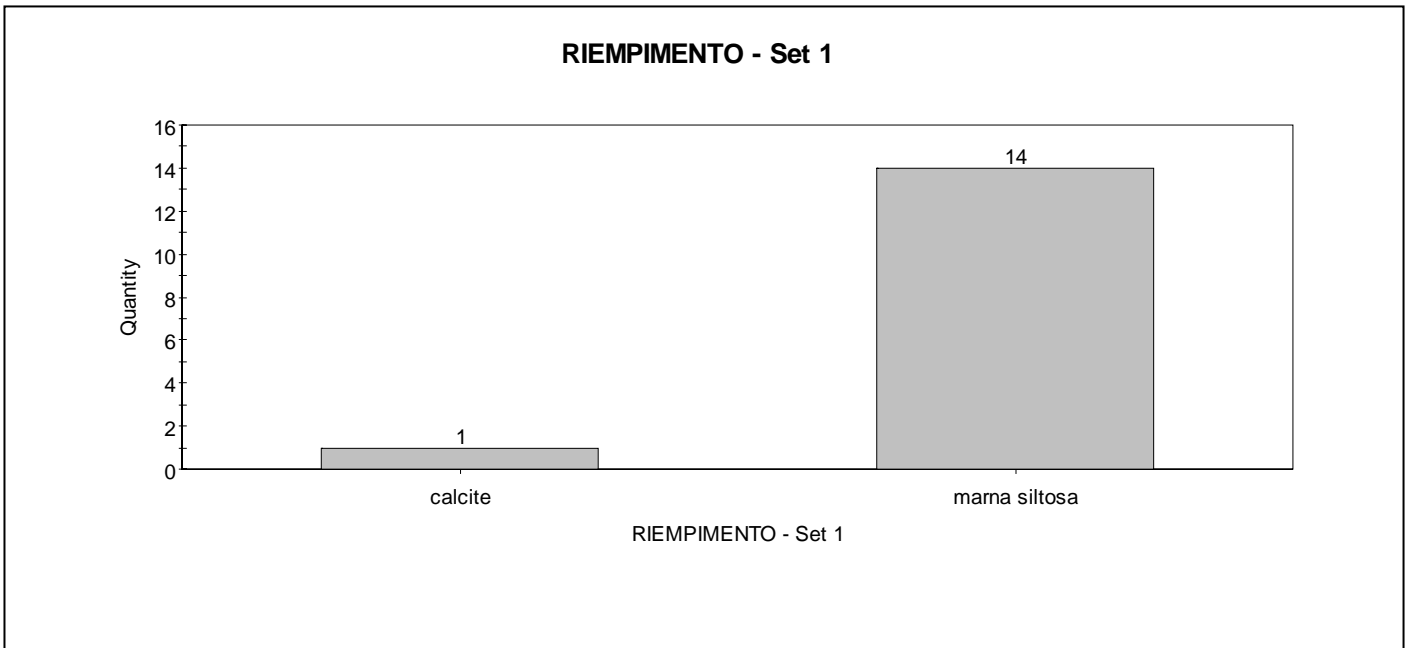
**Variabilità statistica**

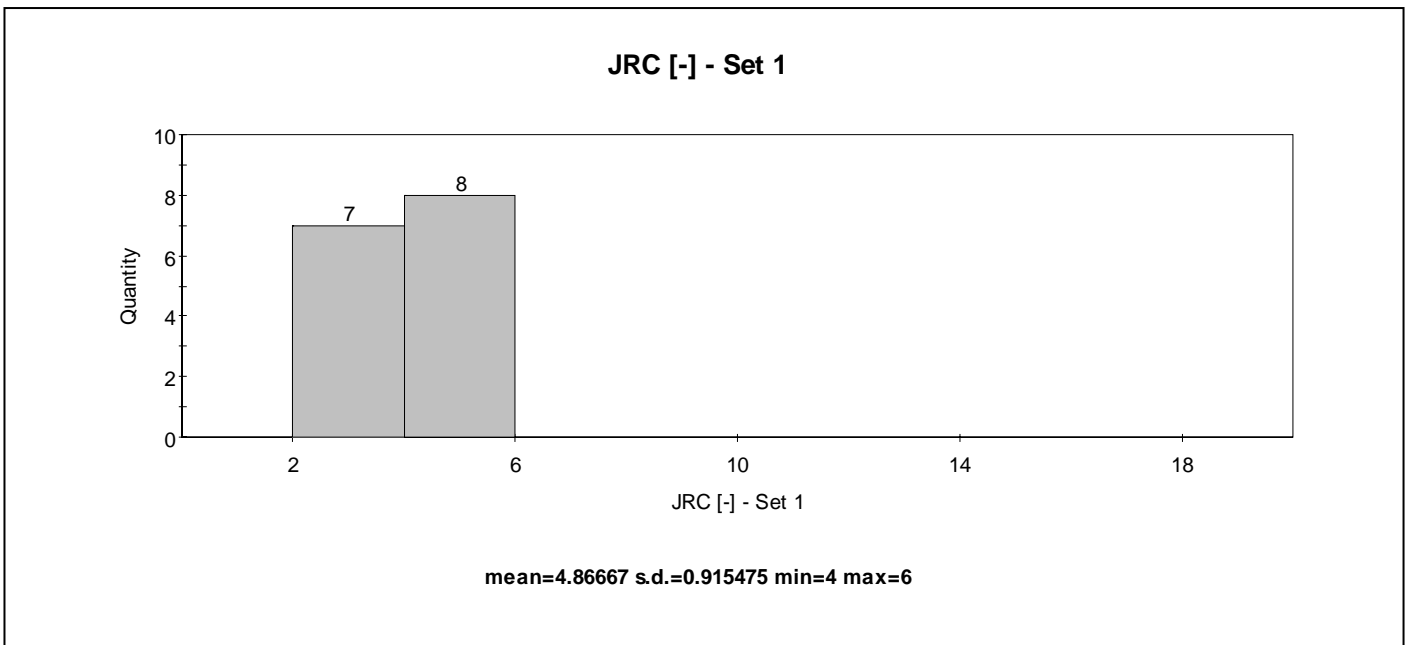
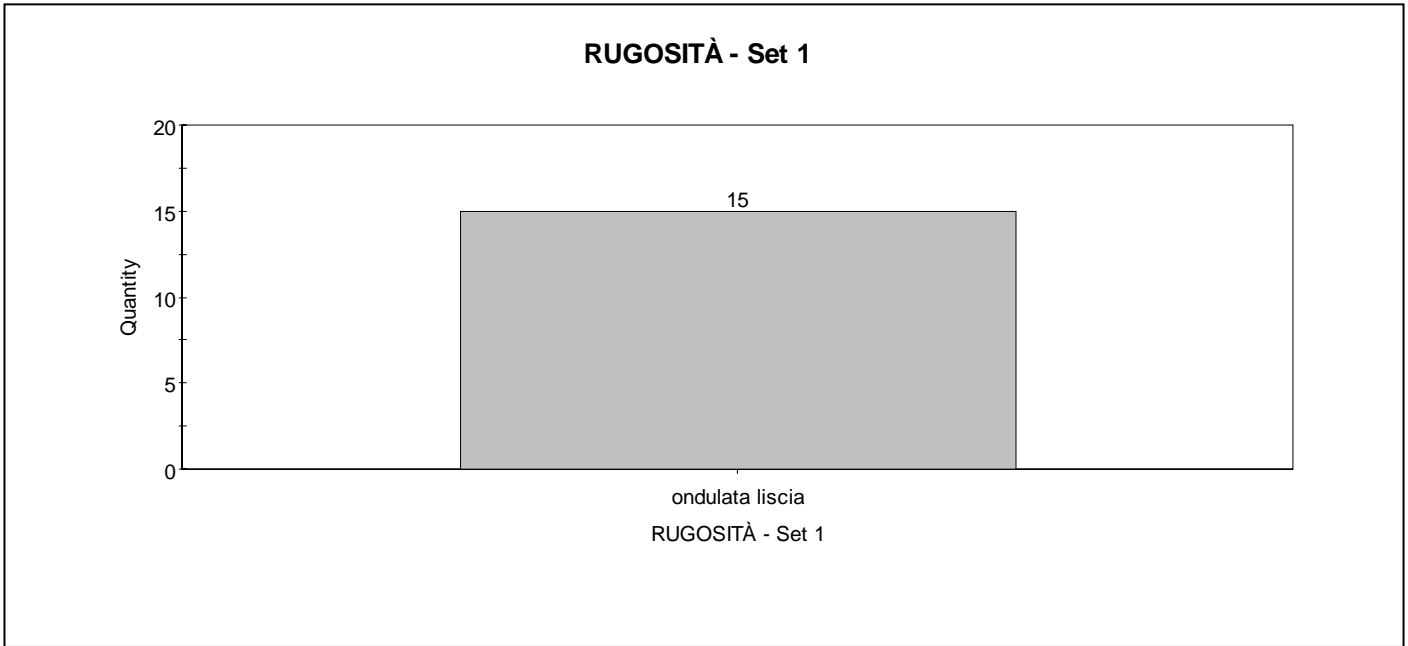
$\sigma_{ci}$ [MPa]	
<b>media</b>	<b>dev. st.</b>
<b>-</b>	<b>-</b>

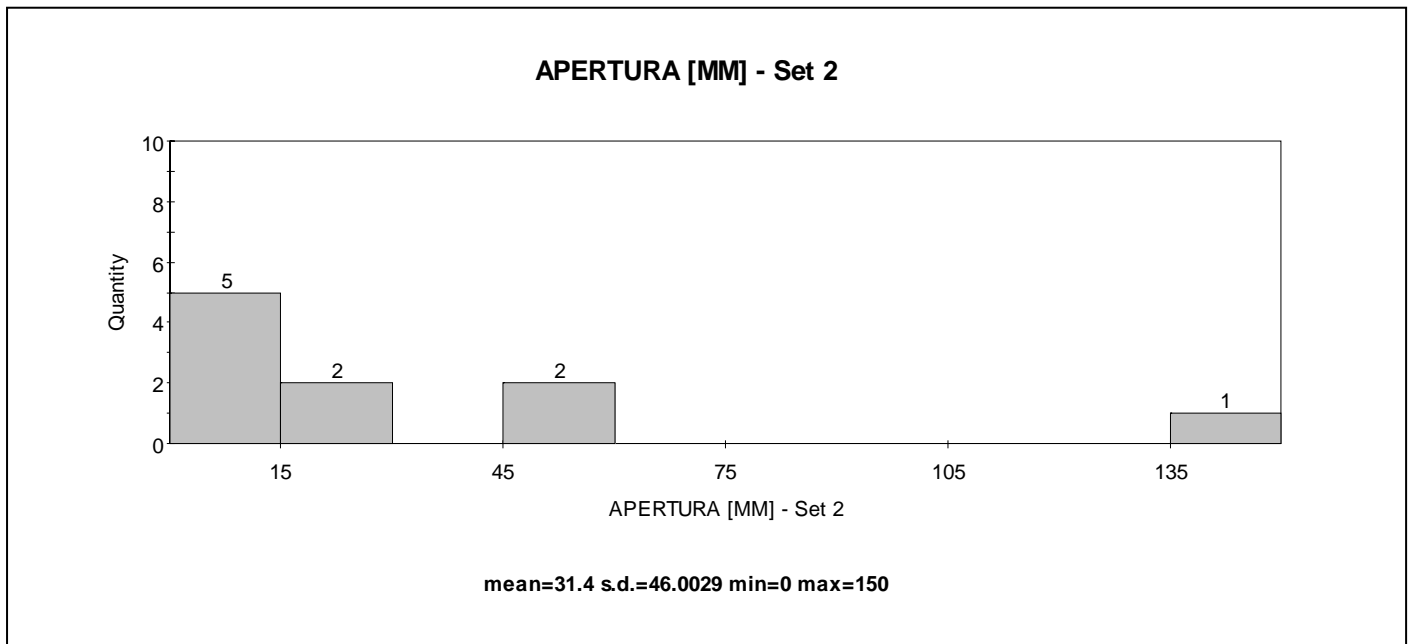
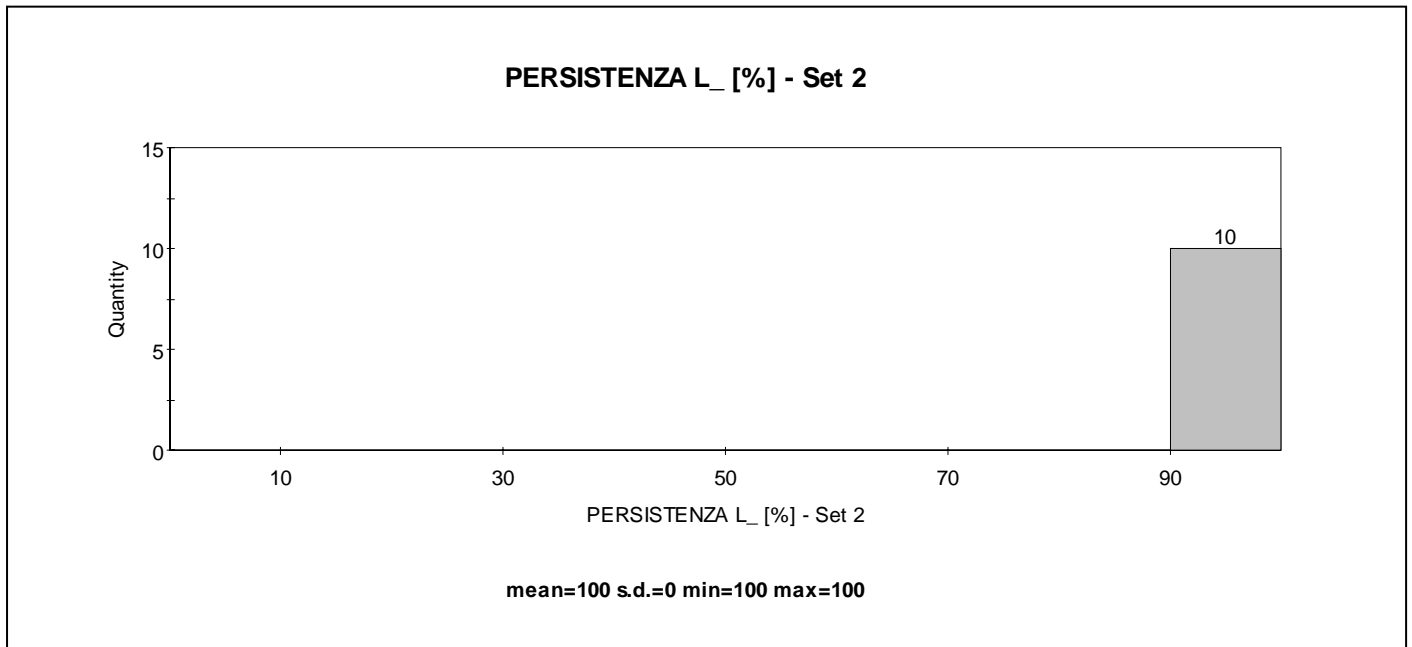
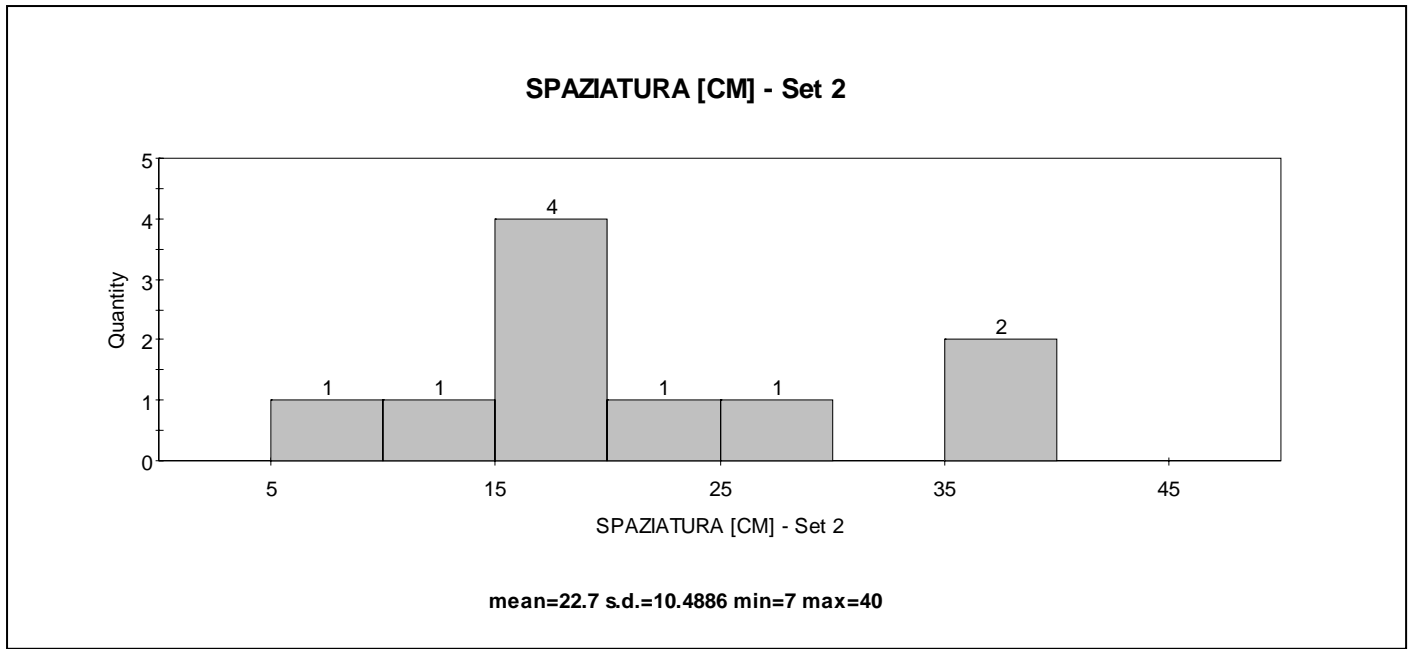
mediana	percentili	
	5°	95°
<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

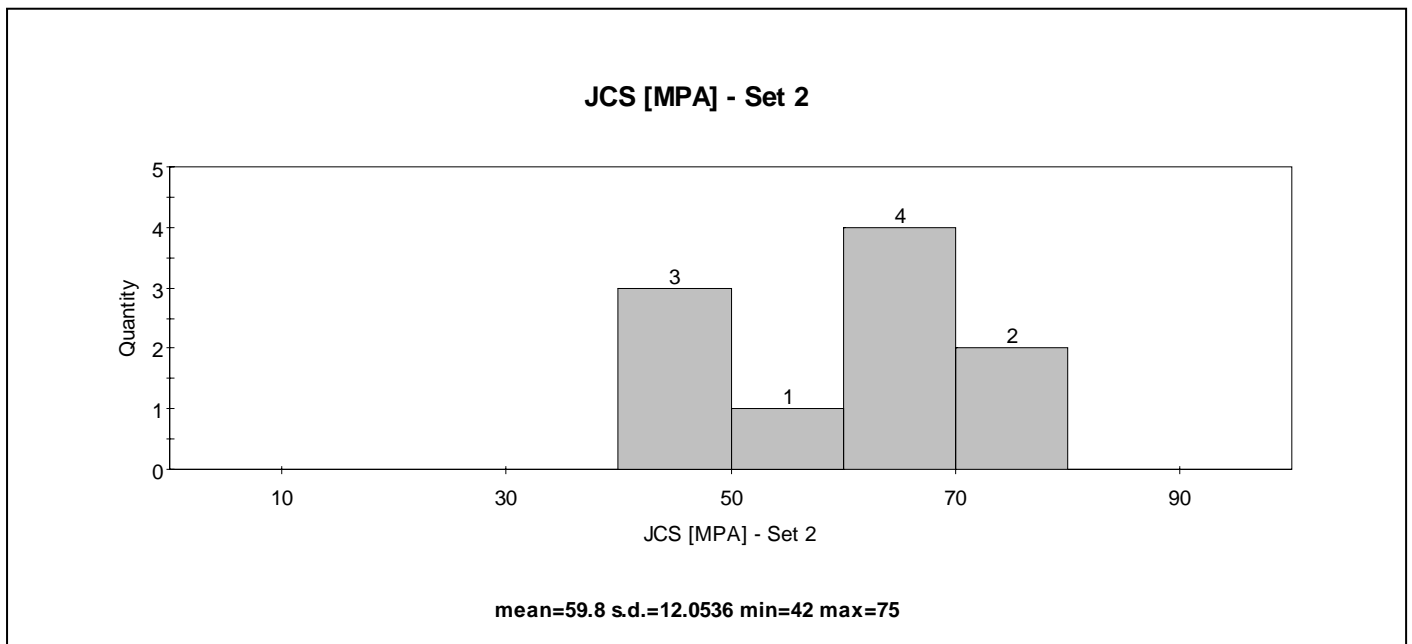
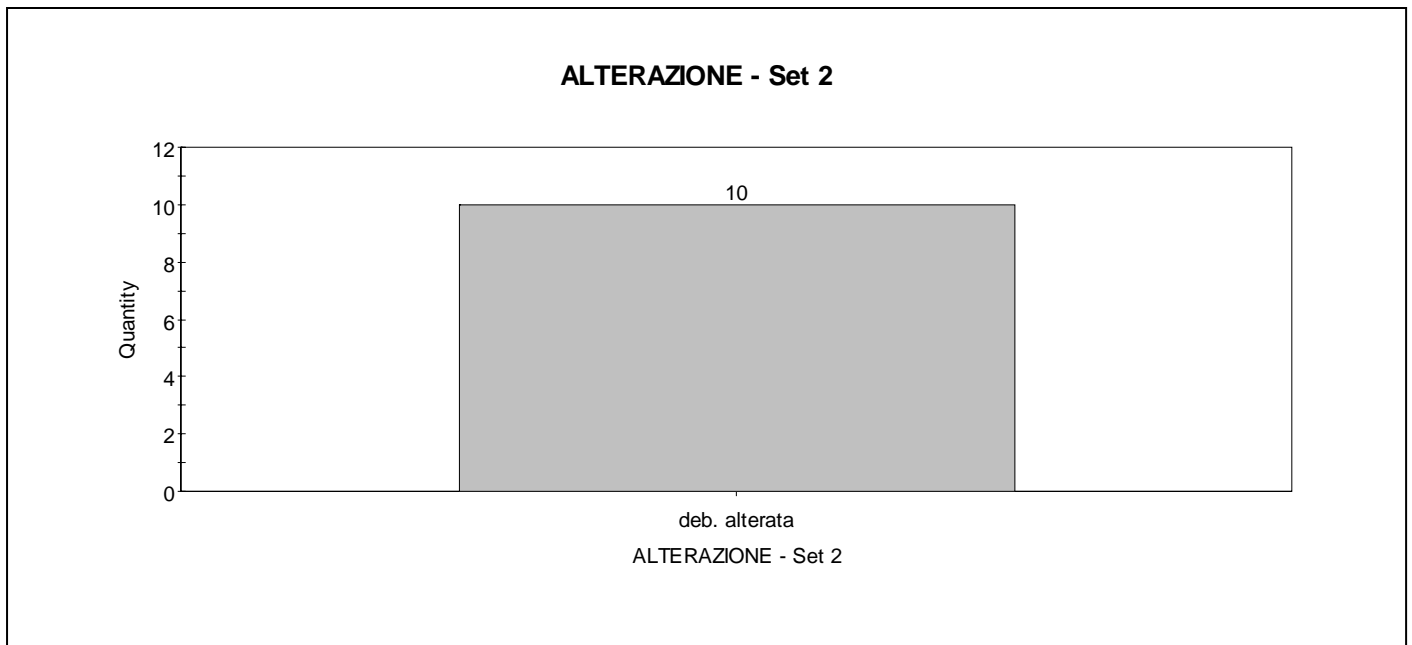
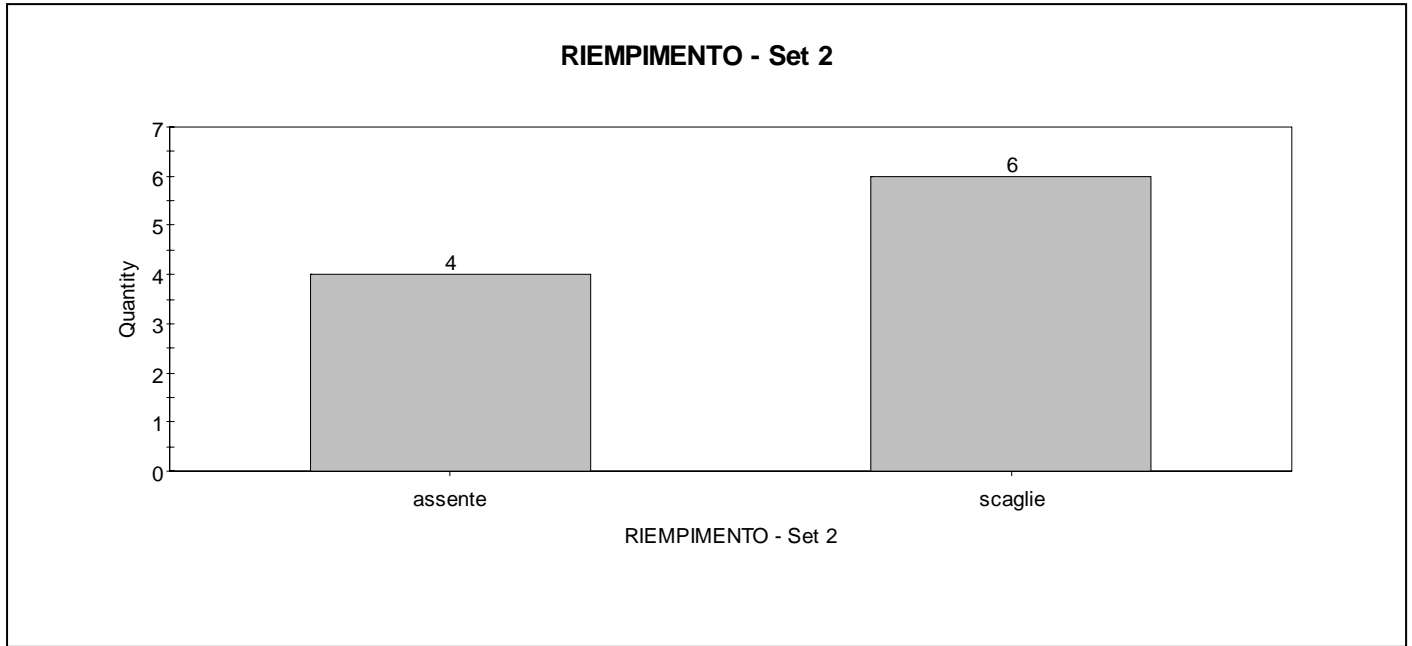




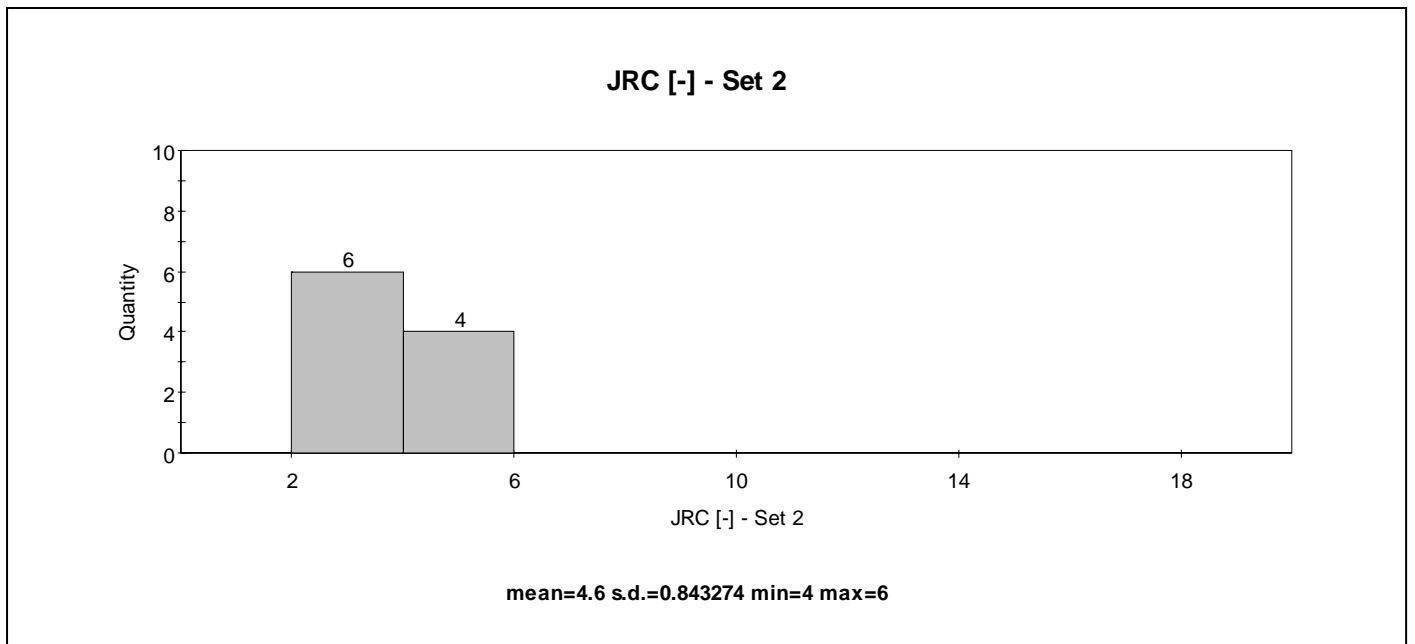
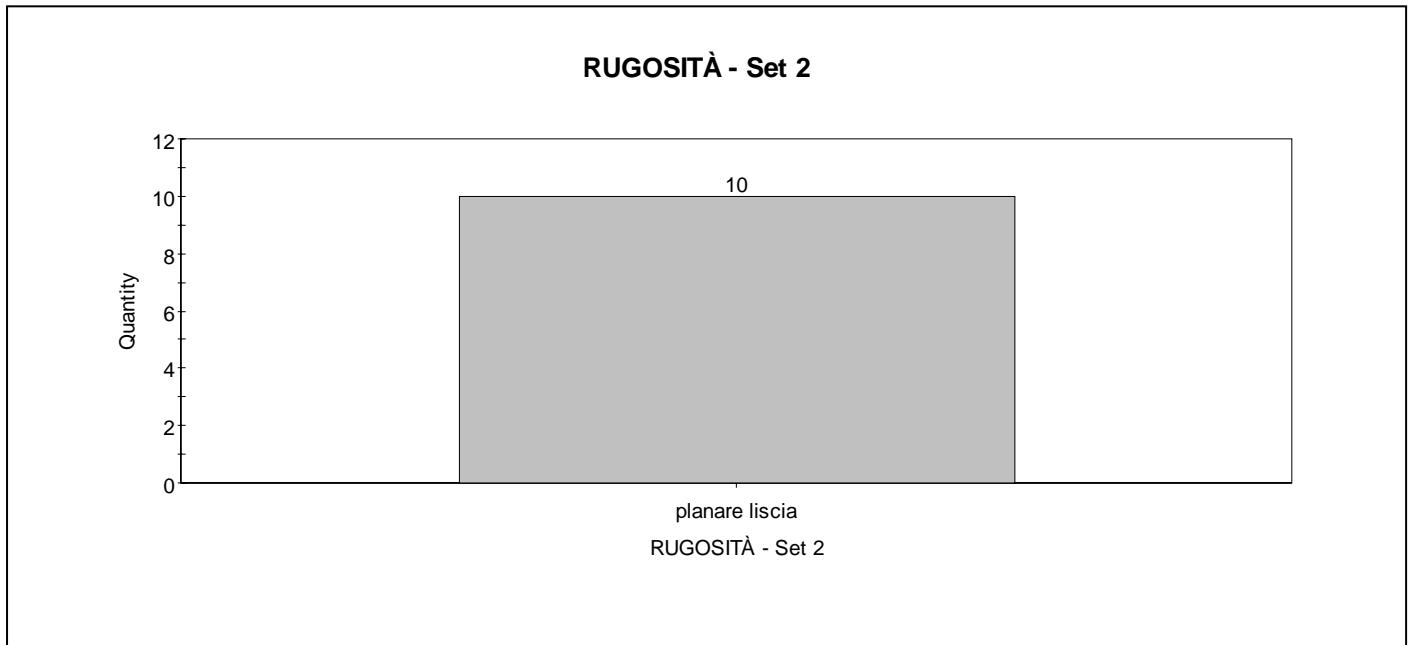


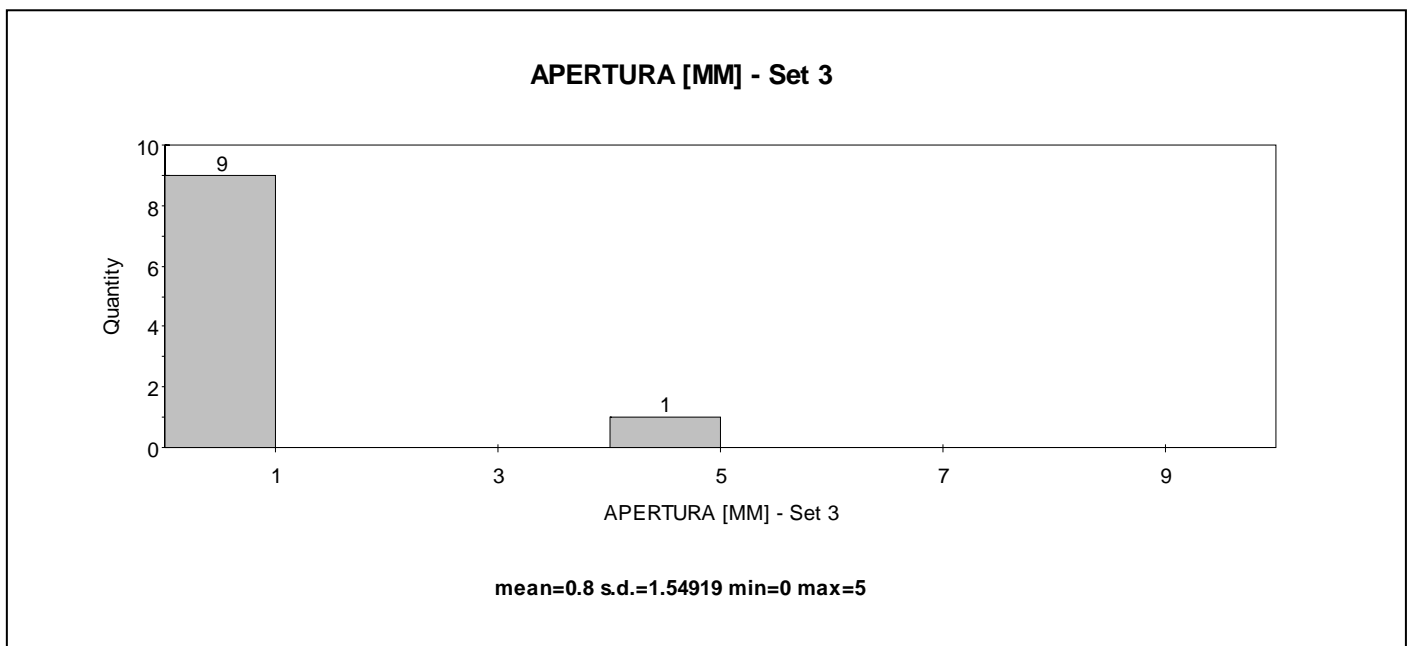
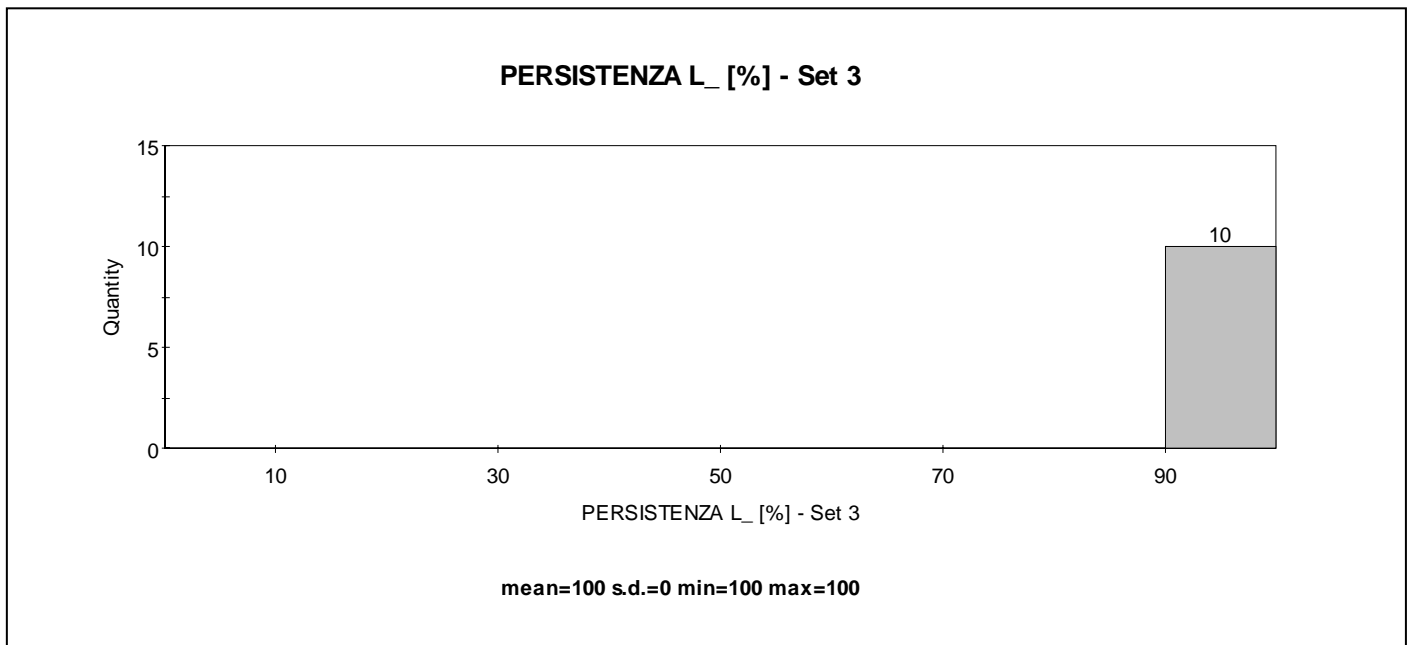
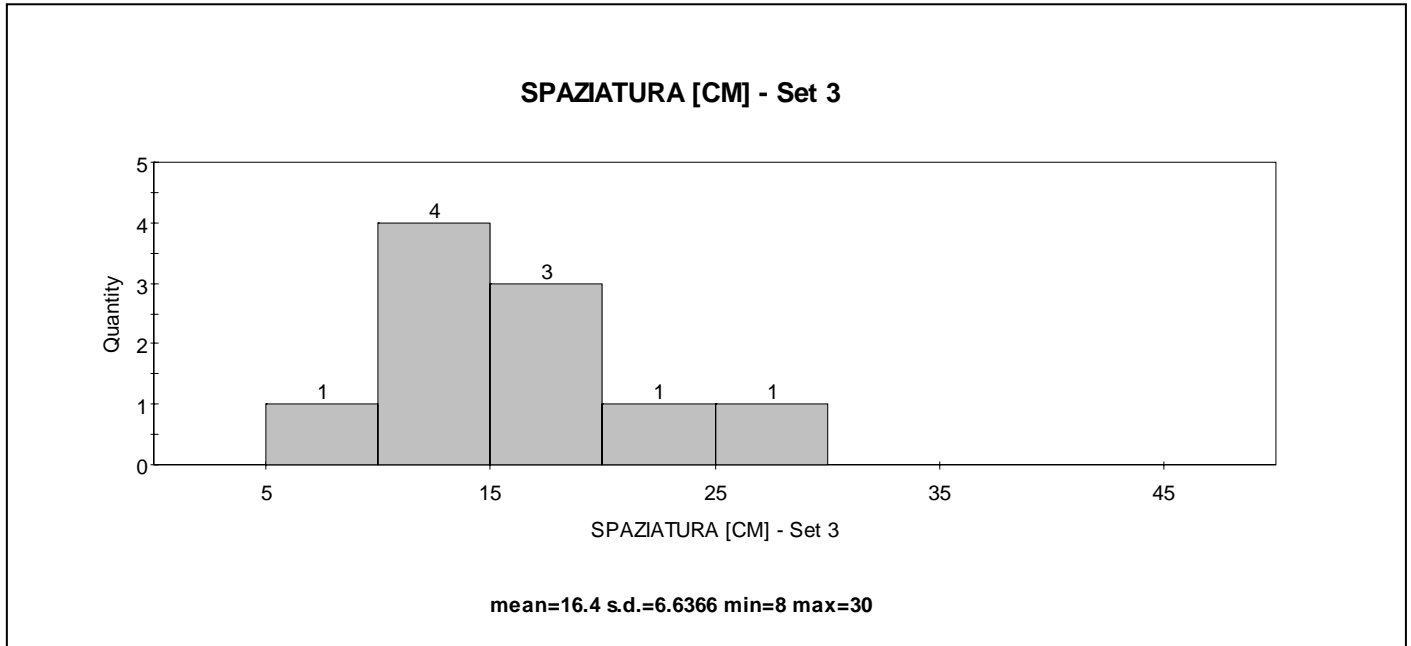




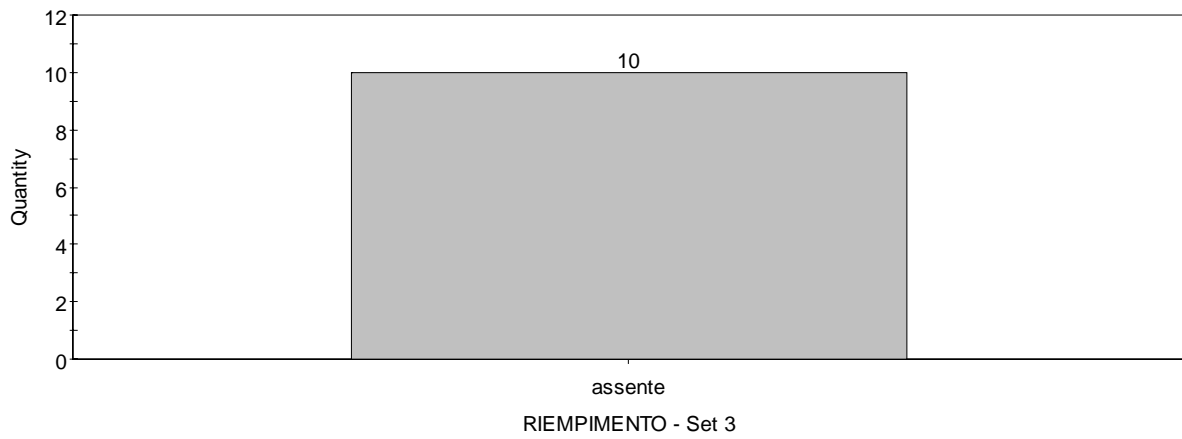




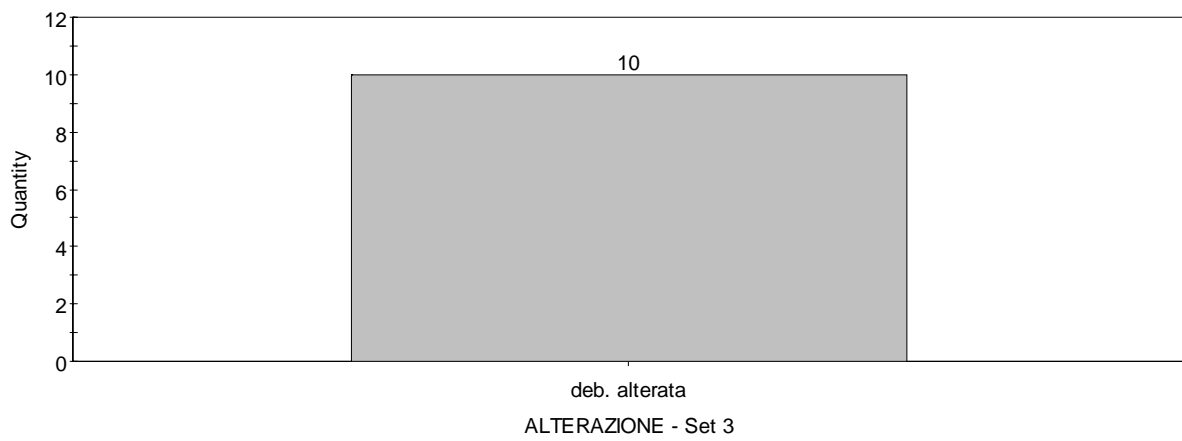




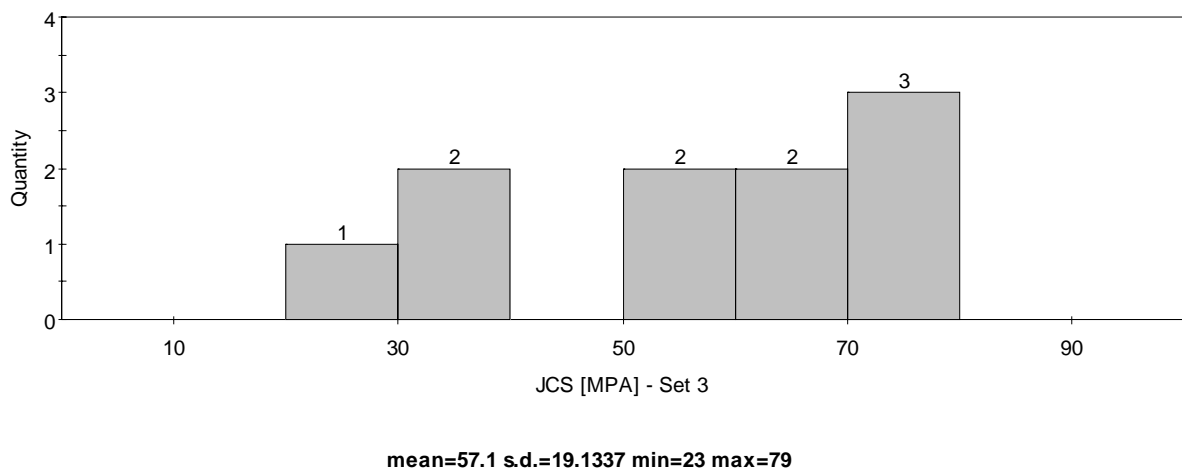
**RIEMPIMENTO - Set 3**

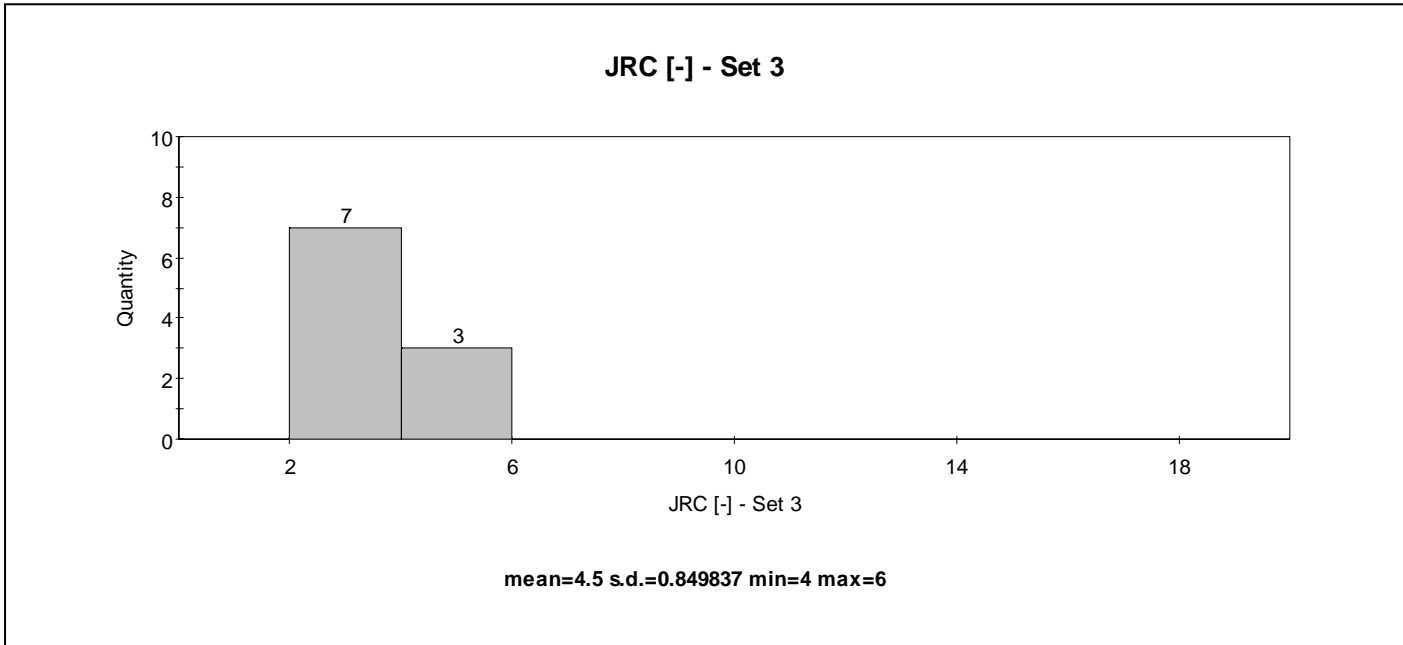
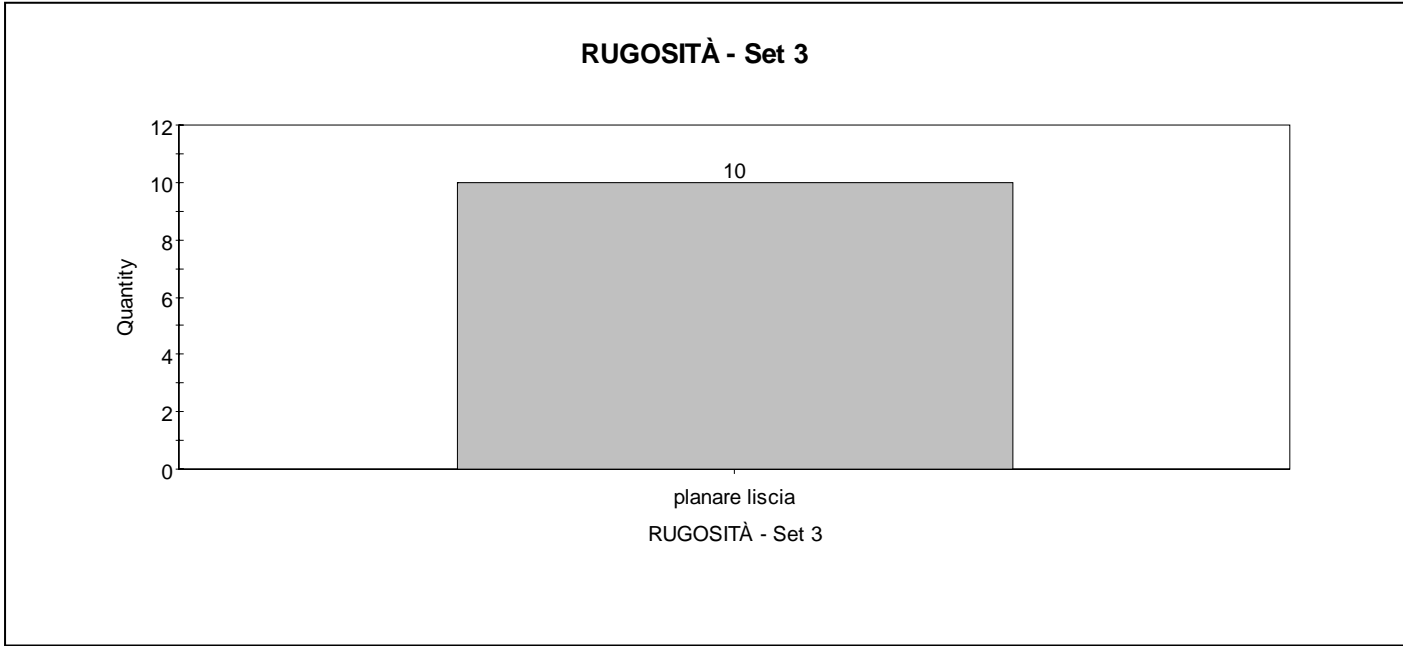


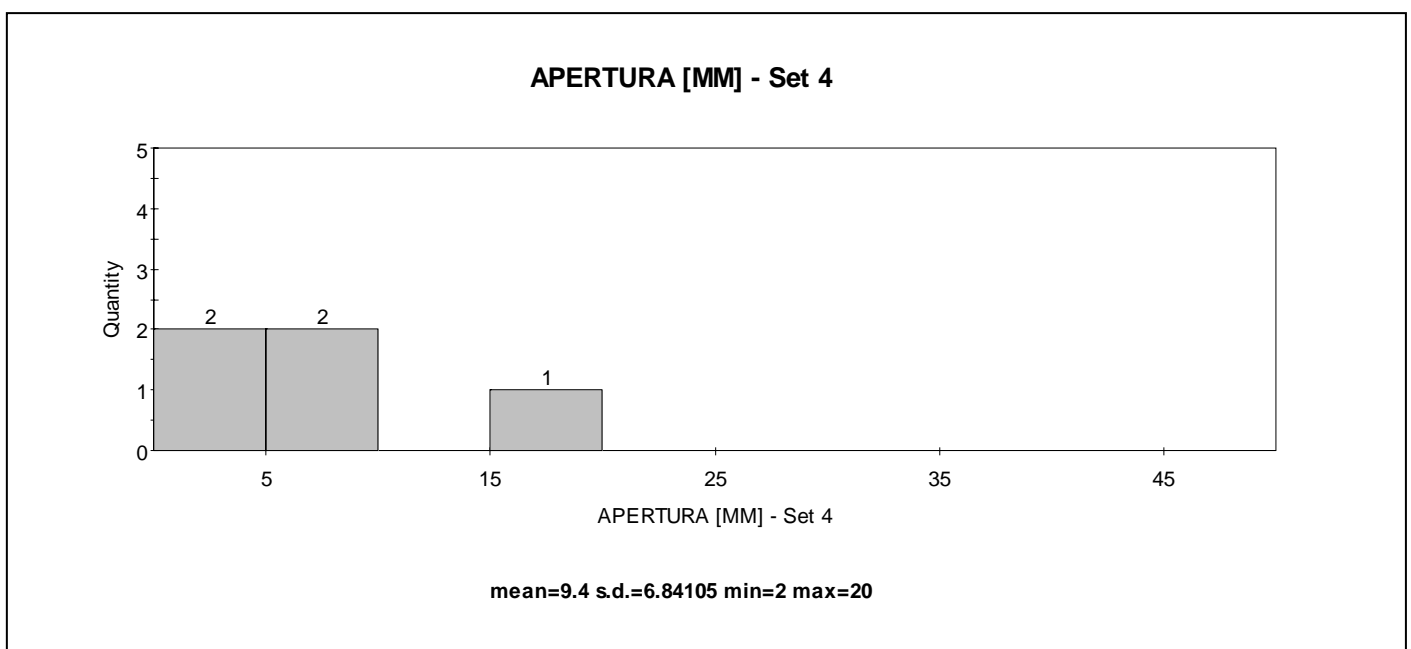
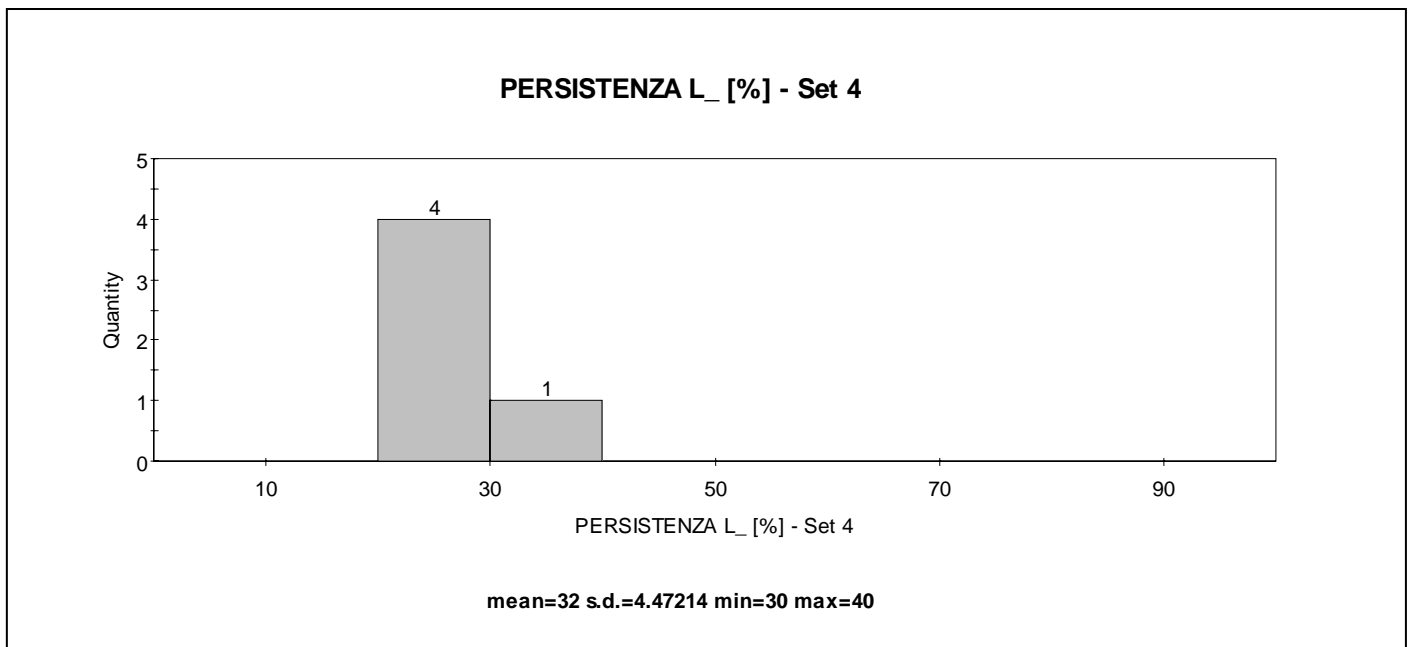
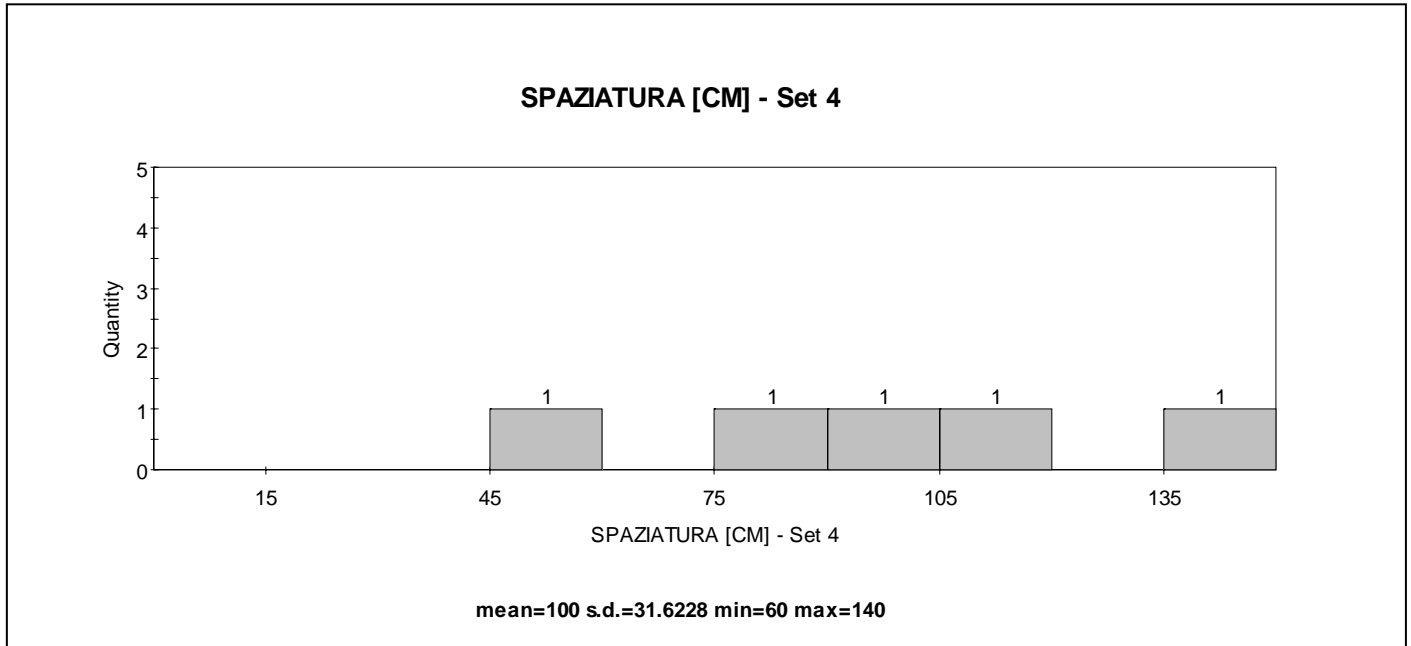
**ALTERAZIONE - Set 3**

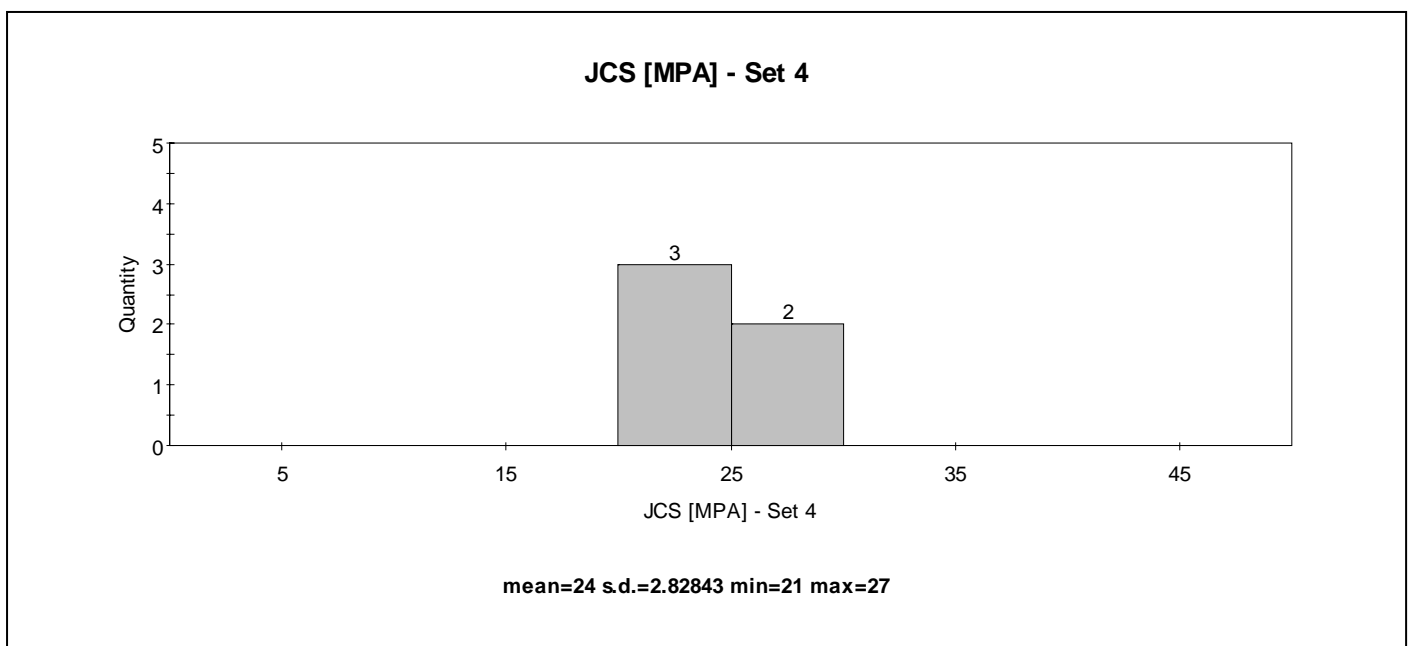
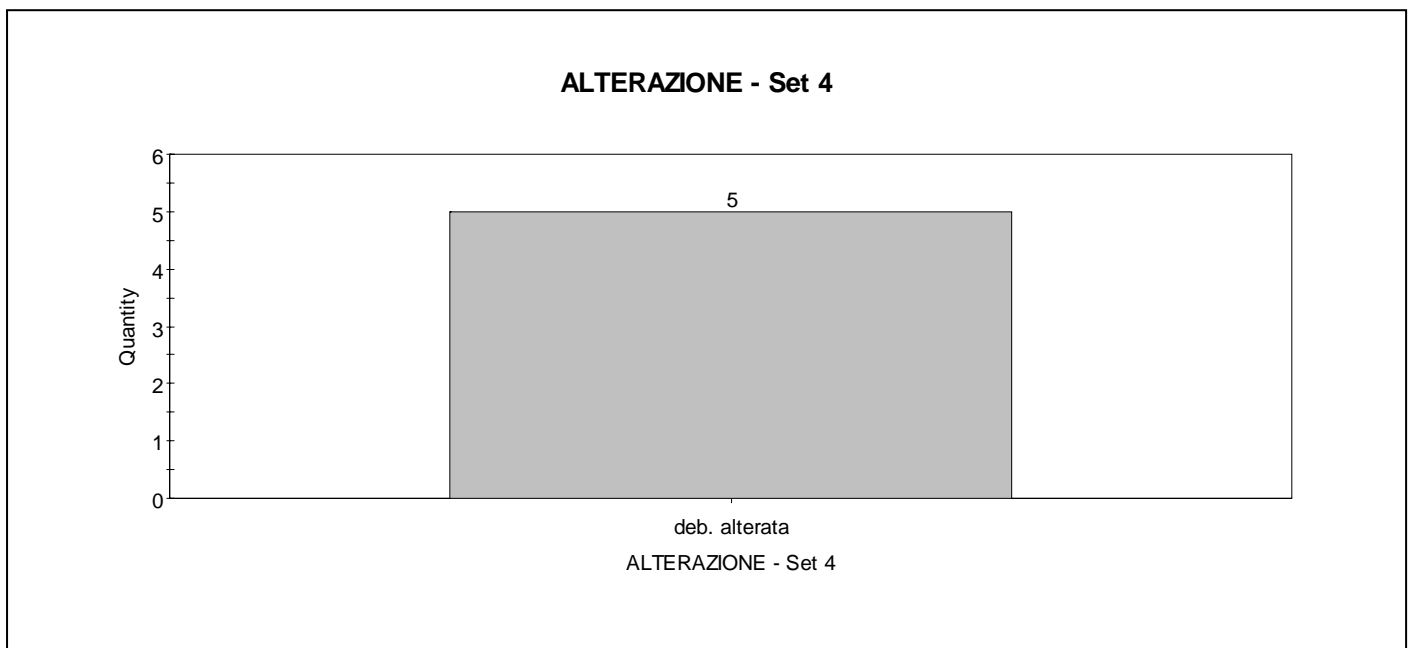
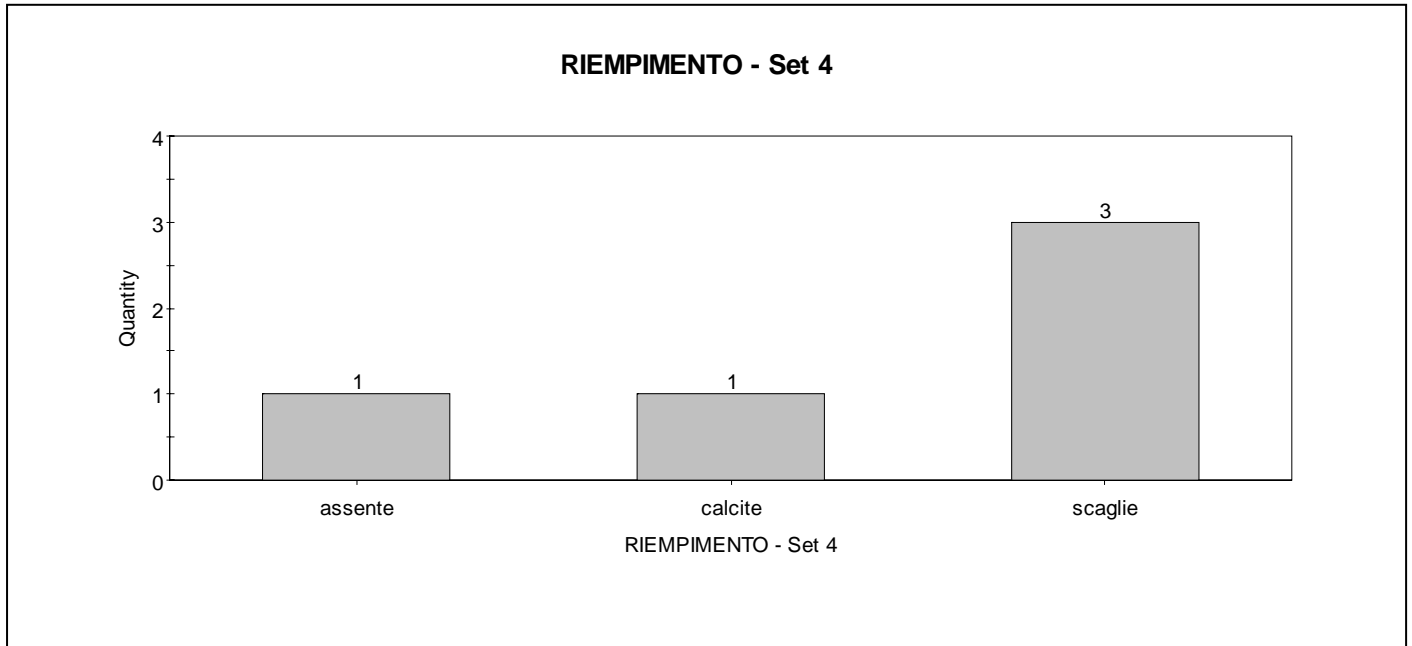


**JCS [MPa] - Set 3**

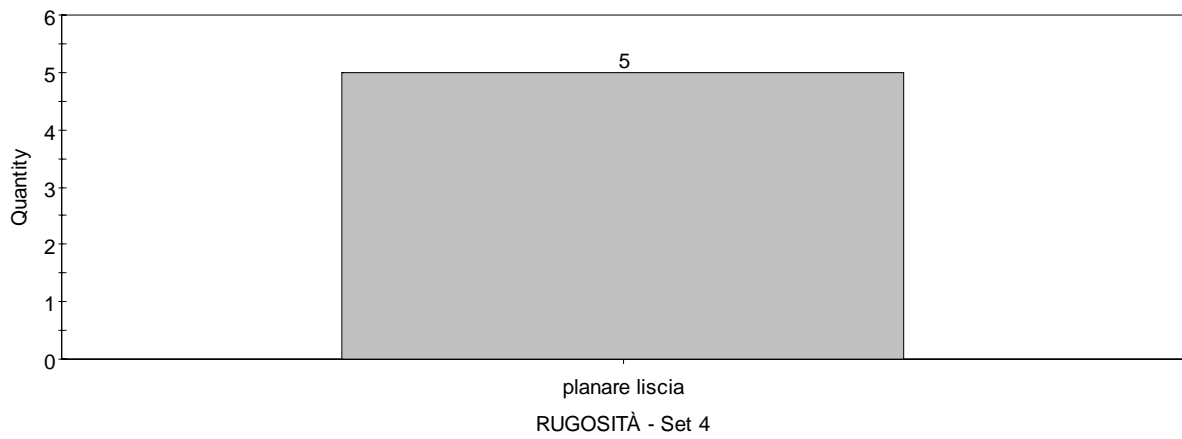




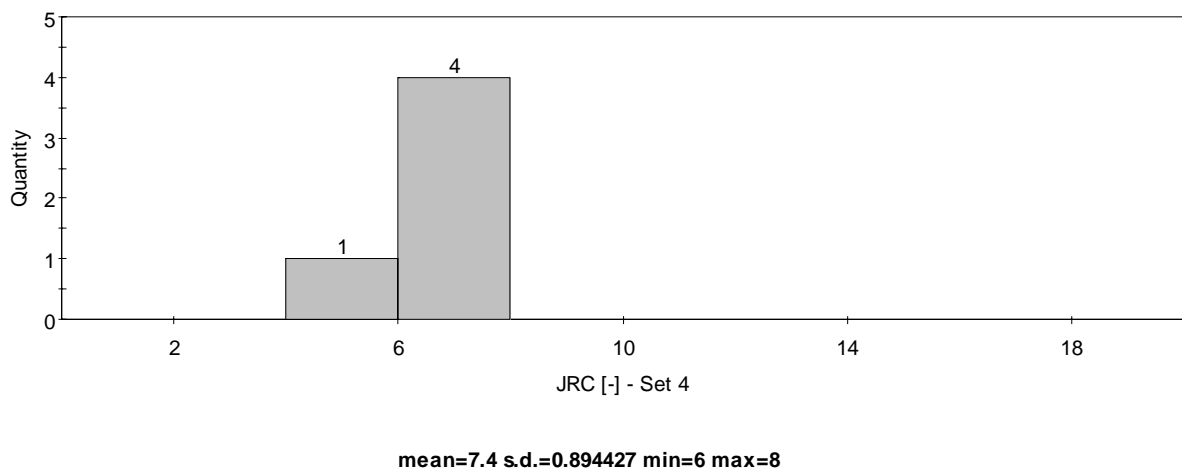




RUGOSITÀ - Set 4



JRC [-] - Set 4

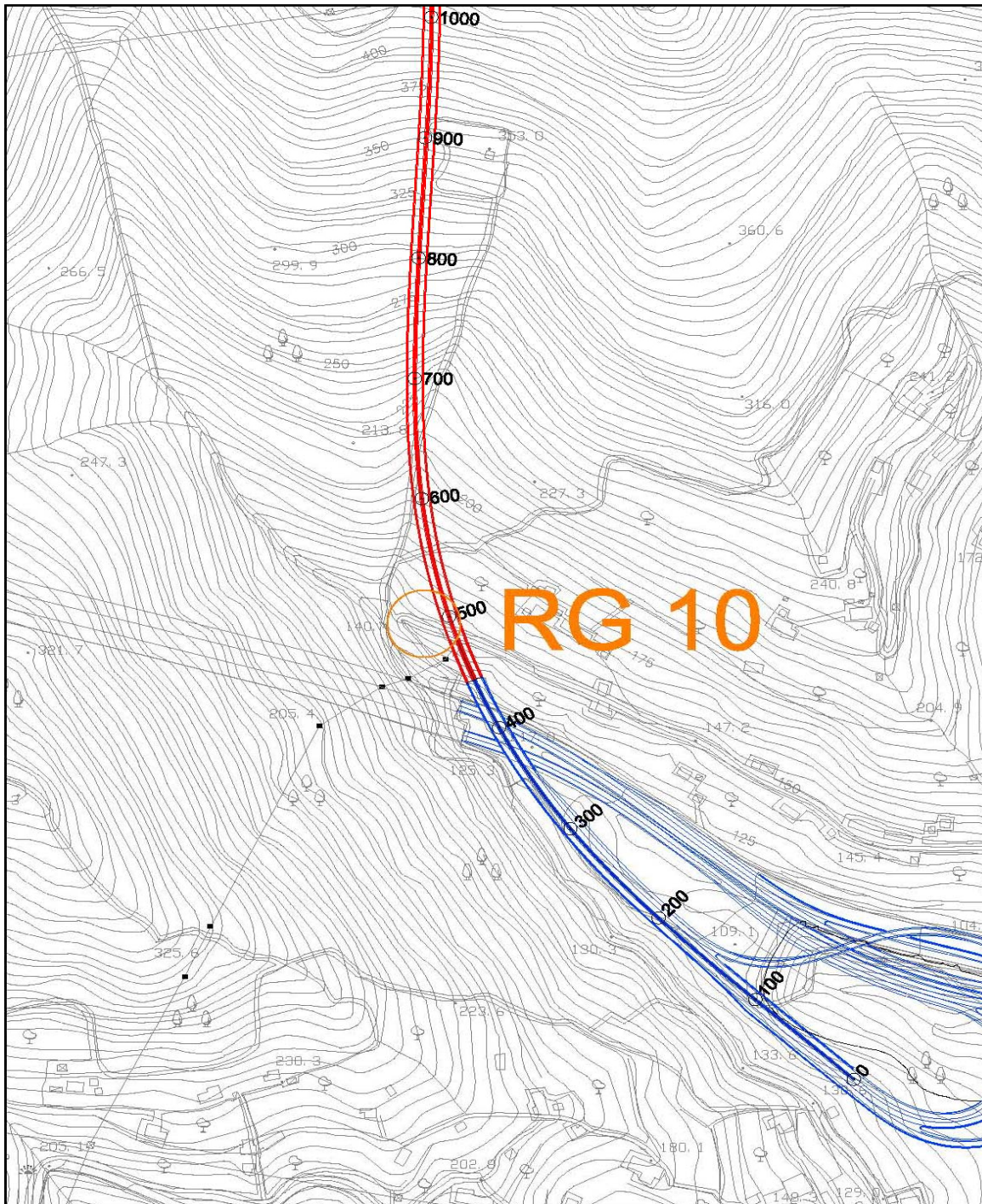


## RILIEVO GEOMECCANICO

Ubicazione area di rilievo

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.			
<b>Commessa</b>	Fontanabuona			
<b>Località</b>	Rapallo			
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga	X: 1514568	Y: 4912450	Quota: 140
<b>Data</b>	20/08/11			
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 10			

### Stralcio planimetrico



Scala 1:5.000



**RILIEVO GEOMECCANICO**  
**Scheda di sintesi**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.		
<b>Commessa</b>	Fontanabuona		
<b>Località</b>	Rapallo		
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga X: 1514568	Y: 4912450	Quota: 140
<b>Data</b>	20/08/11		
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG10		

**Condizioni generali dell'ammasso roccioso**

Giacitura del fronte di misura	[°/°]	200 / 80
Giacitura generale del pendio	[°/°]	200 / 45
Dimensioni dell'area di rilievo geomeccanico	[m x m]	3 x 20
Volume roccioso unitario medio [dimensioni]	[cm x cm x cm]	30 x 20 x 10
	[forma]	prismatica
Resistenza a compressione monoassiale del materiale roccia:	litologia	A   B
	moda [MPa]	68
	variabilità [MPa]	38-93
Percentuale relativa	[%]	>95
Intercetta delle discontinuità	[cm]	3,8
Numero di discontinuità per metro cubo d'ammasso - J <sub>v</sub>	[n°/m <sup>3</sup> ]	26,0

Grado di alterazione dell'ammasso

non alterato	debolm. alterato	moder. alterato	molto alterato	decomposto
asciutto	umido	bagnato	stillicidio	flusso

Condizioni di umidità dell'ammasso

**Geological Strength Index**

Struttura in ammassi complessi	A	B	C	D	E	F	G	H
Struttura in ammassi omogenei	I	B	VB	B / D / S	D	L / S		
Condizioni delle discontinuità	VG	G	F	P	VP			
	GSI							40 ÷ 48

**Litologia e descrizione geologica generale**

Calcarei marnosi grigio scuro, nocciola in alterazione, in strati decimetrici con sottili interstrati marnosi di spessore millimetrico.

**Condizioni generali delle discontinuità**

set	giacitura [°]	spaziatura [cm]		persistenza [%]		apertura [mm]		ondulazione e rugosità	JRC [-]	Jr [-]	JCS [MPa]		Ja [-]	alterazione	pellicole		riempimento								
		moda	variabilità	moda	variabilità	moda	variabilità				moda	variabilità			sabbia	limo	argilla	materiale prevalente			durezza	spessore [mm]			
																		marna siltosa	vene minerali	sabbia			limo	argilla	scaglie e argilla materiale rigonfiante
1-S	165/26	5	5-25	100	-	1	1-3	a scalini   ondulata   planare molto rug.   rugosa   deb. rug.   liscia   lisciata	4	4-6	2	-	39	29-76	2	-	non alt.   deb. alt.   mod. alt. molto alt.   decomposta								
2-k1	231/83	30	10-80	100	-	1	0-2	a scalini   ondulata   planare molto rug.   rugosa   deb. rug.   liscia   lisciata	4	4-6	1	-	55	39-60	2	1-2	non alt.   deb. alt.   mod. alt. molto alt.   decomposta								
3-k2	338/75	37	8-60	100	-	1	1-2	a scalini   ondulata   planare molto rug.   rugosa   deb. rug.   liscia   lisciata	4	4-6	1	-	66	36-99	2	-	non alt.   deb. alt.   mod. alt. molto alt.   decomposta								
								a scalini   ondulata   planare molto rug.   rugosa   deb. rug.   liscia   lisciata									non alt.   deb. alt.   mod. alt. molto alt.   decomposta								
								a scalini   ondulata   planare molto rug.   rugosa   deb. rug.   liscia   lisciata									non alt.   deb. alt.   mod. alt. molto alt.   decomposta								





**RILIEVO GEOMECCANICO**  
**Rilievi sclerometrici sul materiale roccia**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.		
<b>Commessa</b>	Fontanabuona		
<b>Località</b>	Rapallo		
<b>Coordinate</b>	Gauss-Boaga	X: 1514568	Y: 4912450 Quota: 140
<b>Data</b>	20/08/11		
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG10		

n°	litologia A					
	R	$\alpha$	corr.	R'	$\gamma$	$\sigma_{ci}$
	[-]	[°]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]
1	42	-90	0	42	26	93,53
2	38	-90	0	38	26	75,76
3	38	-90	0	38	26	75,76
4	42	-90	0	42	26	93,53
5	42	-90	0	42	26	93,53
6	42	-90	0	42	26	93,53
7	46	-90	0	46	26	115,47
8	44	-90	0	44	26	103,92
9	40	-90	0	40	26	84,18
10	46	-90	0	46	26	115,47
11	40	-90	0	40	26	84,18
12	46	-90	0	46	26	115,47
13	42	-90	0	42	26	93,53
14	44	-90	0	44	26	103,92
15	42	-90	0	42	26	93,53
16	42	-90	0	42	26	93,53
17	44	-90	0	44	26	103,92
18	40	-90	0	40	26	84,18
19	44	-90	0	44	26	103,92
20	48	-90	0	48	26	128,30

**Variabilità statistica**

$\sigma_{ci}$ [MPa]	
<b>media</b>	<b>dev. st.</b>
<b>97,46</b>	<b>13,90</b>

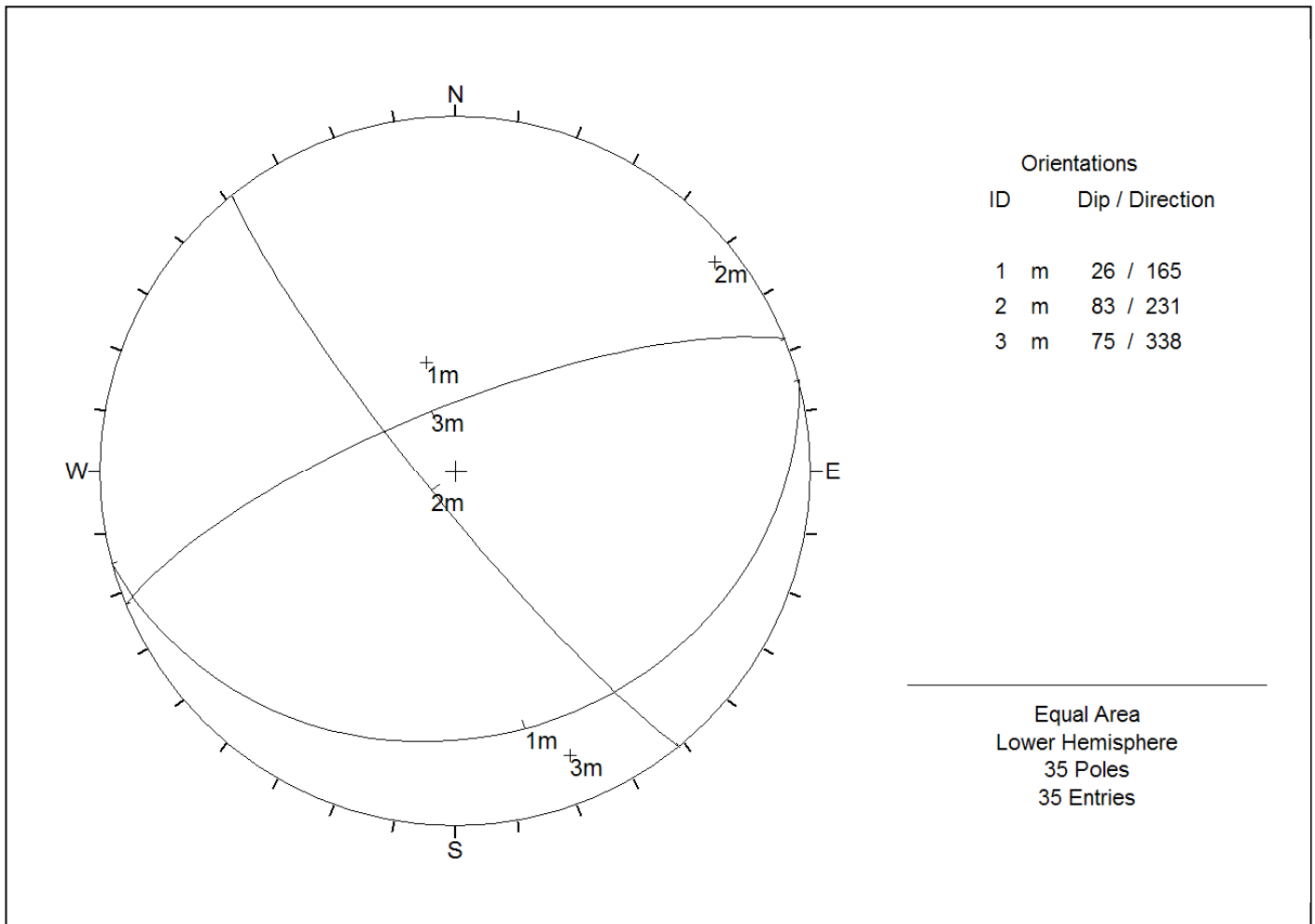
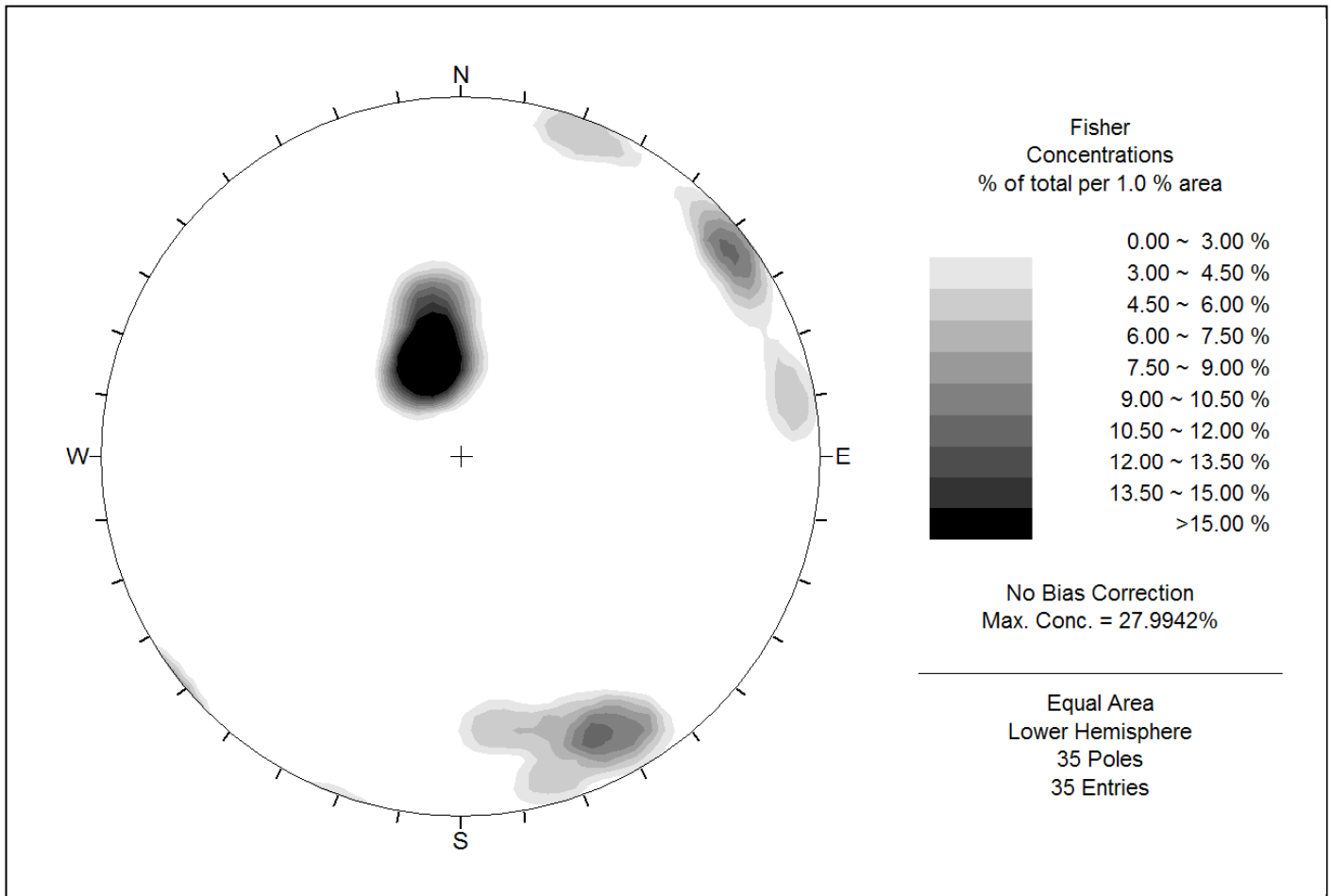
mediana	percentili	
	5°	95°
<b>93,53</b>	<b>75,76</b>	<b>116,11</b>

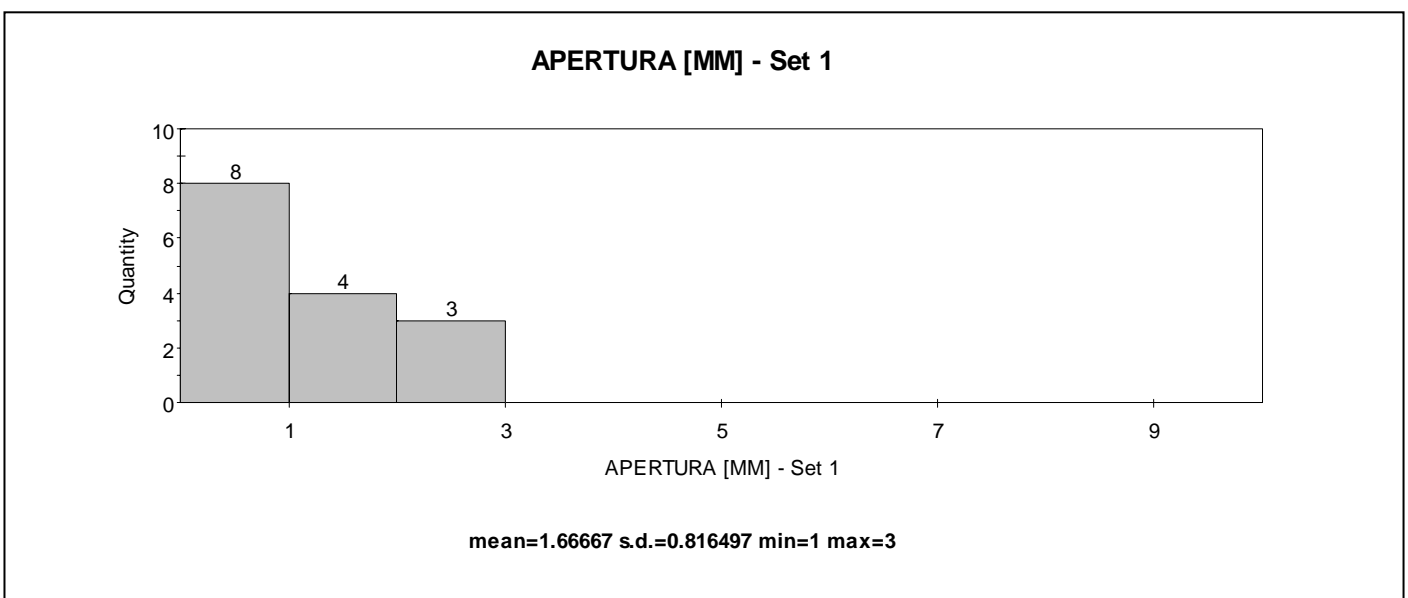
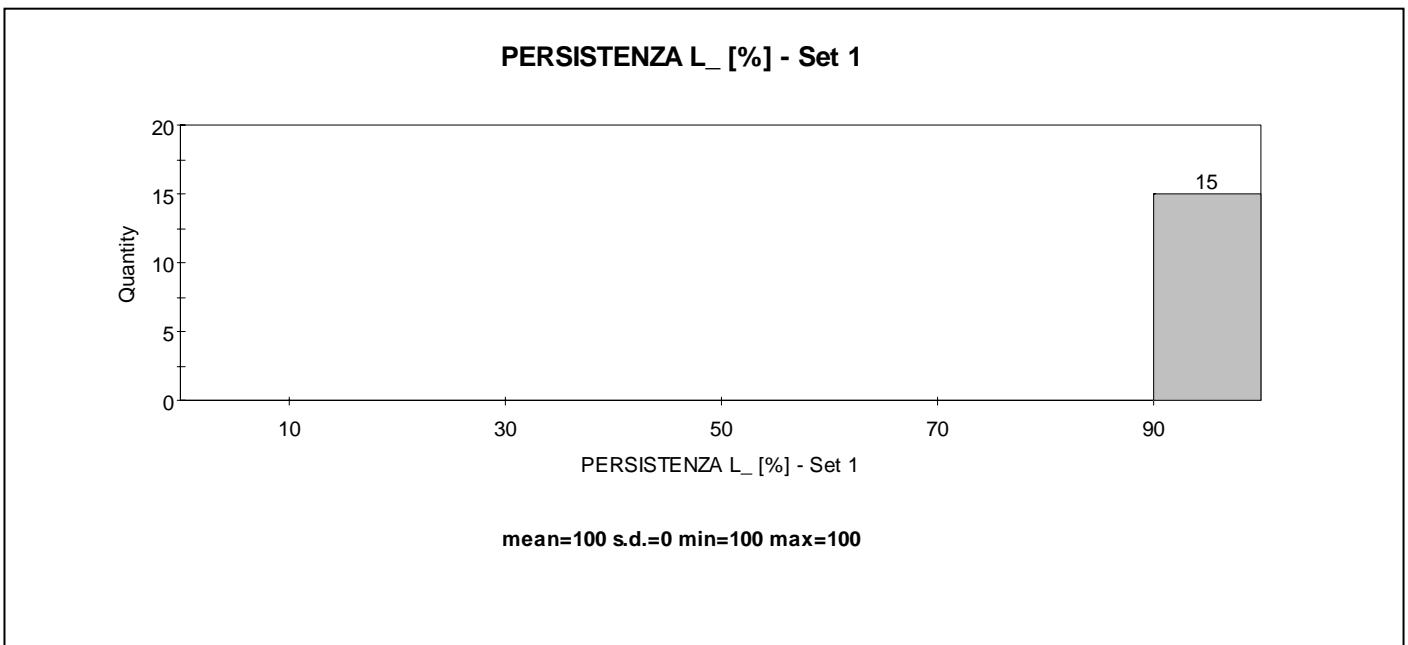
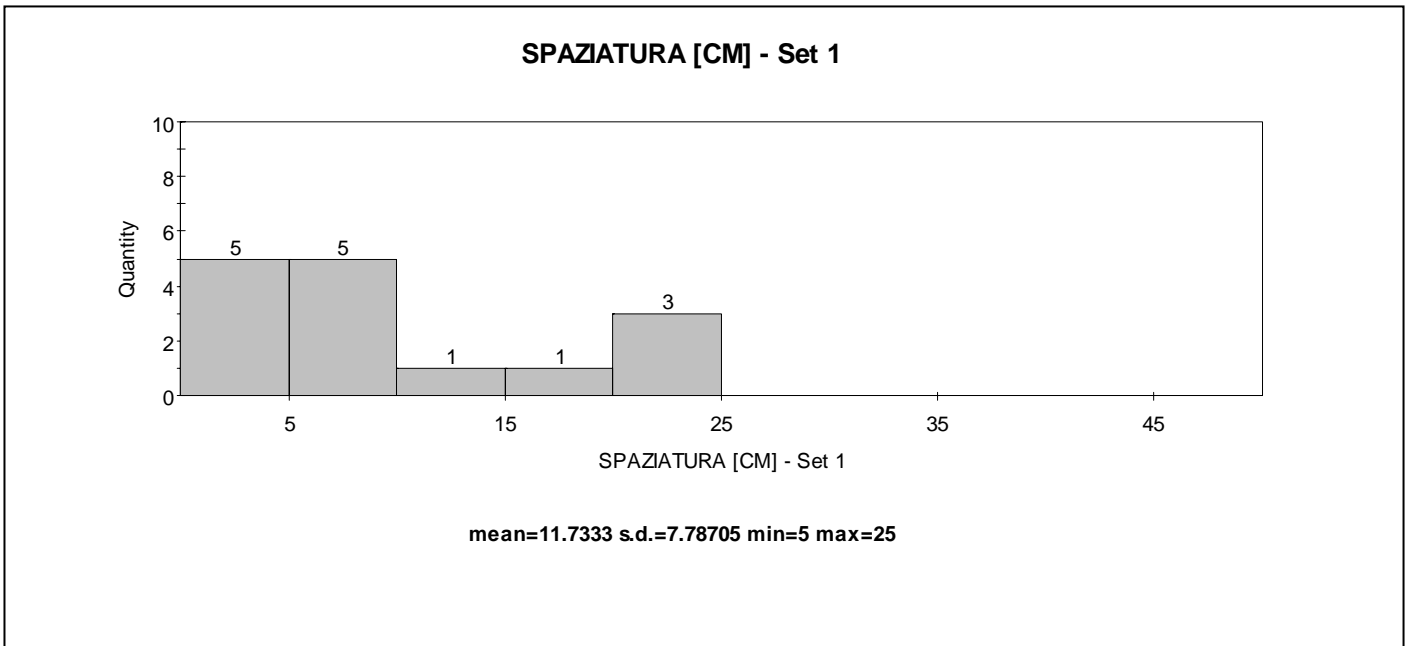
n°	litologia B					
	R	$\alpha$	corr.	R'	$\gamma$	$\sigma_{ci}$
	[-]	[°]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

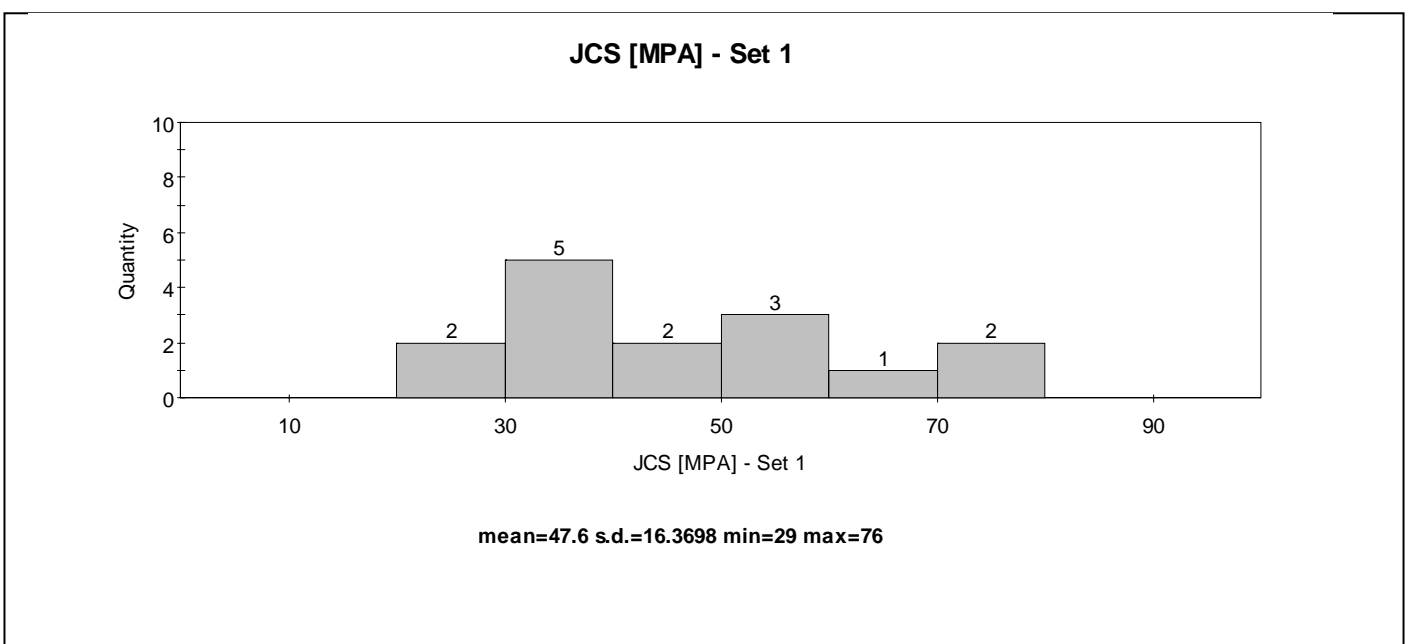
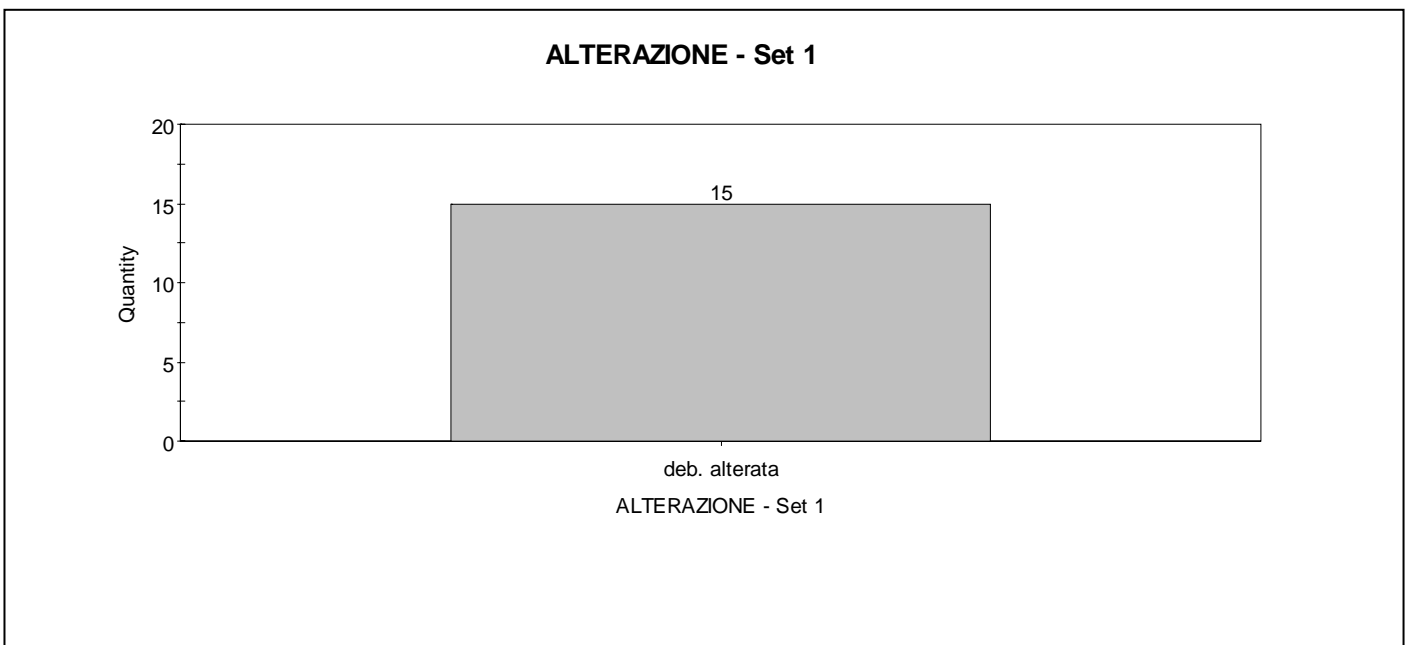
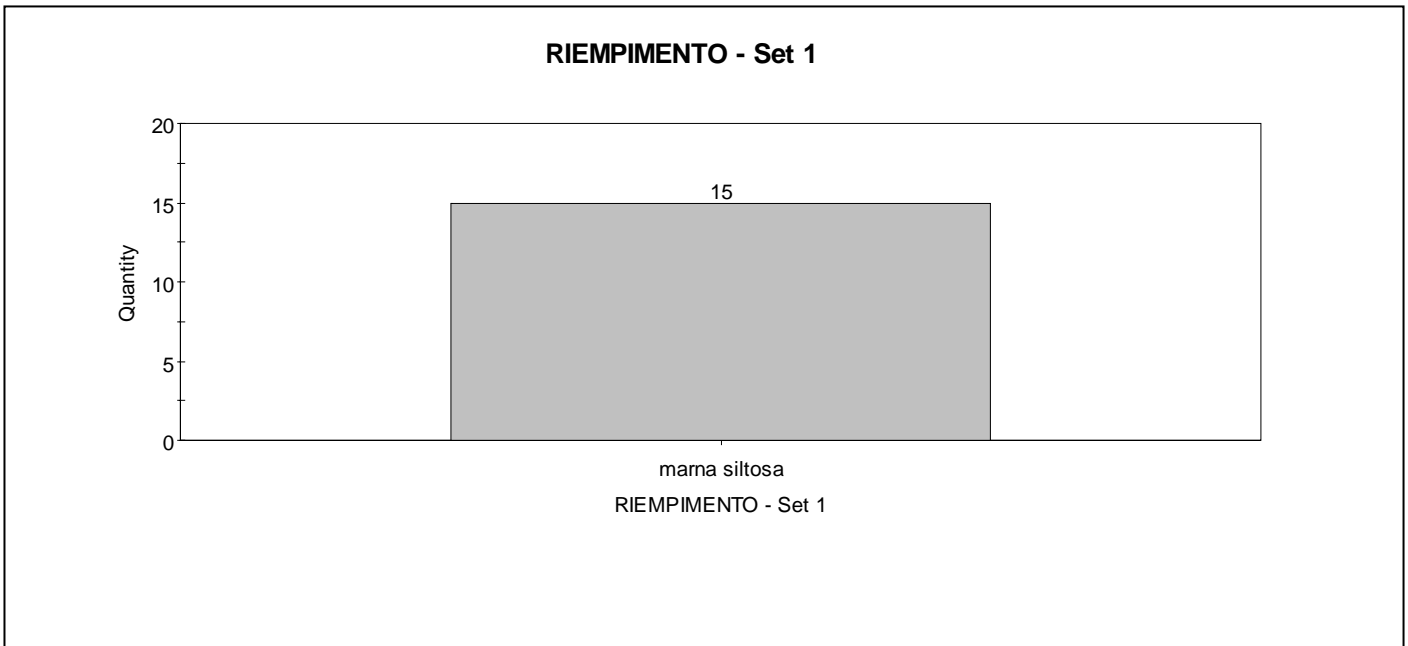
**Variabilità statistica**

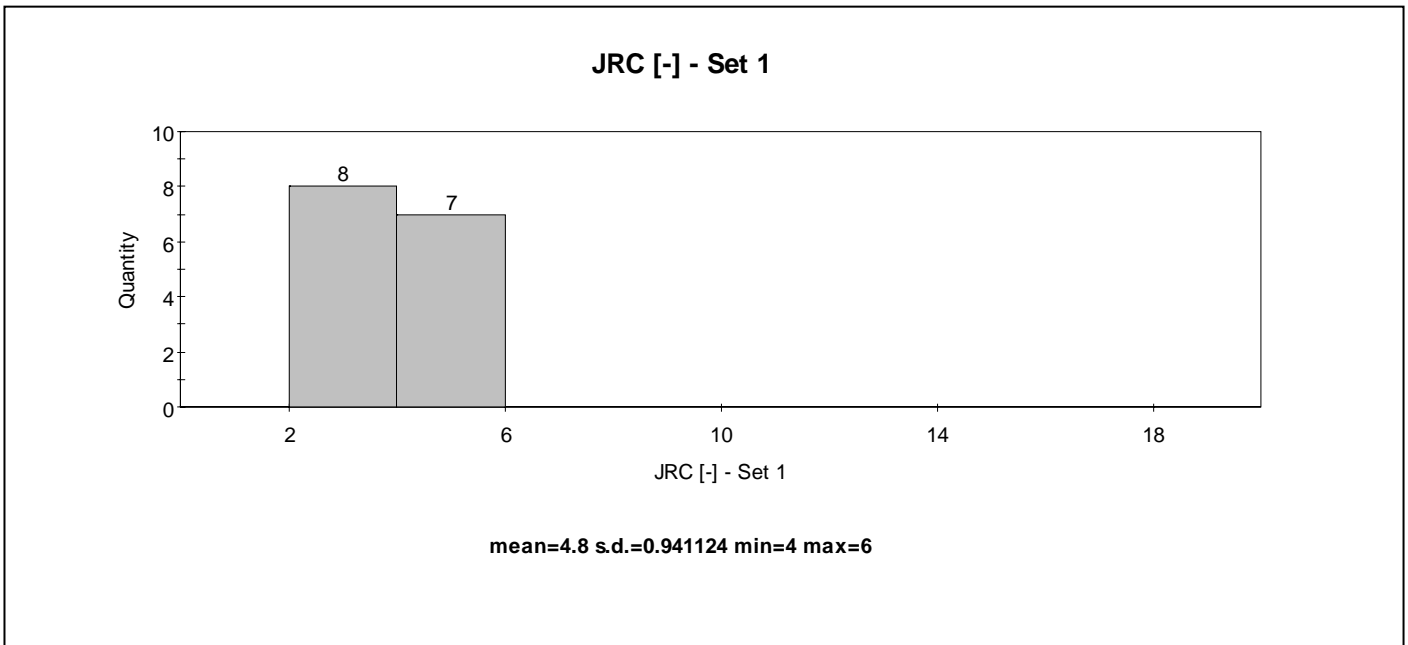
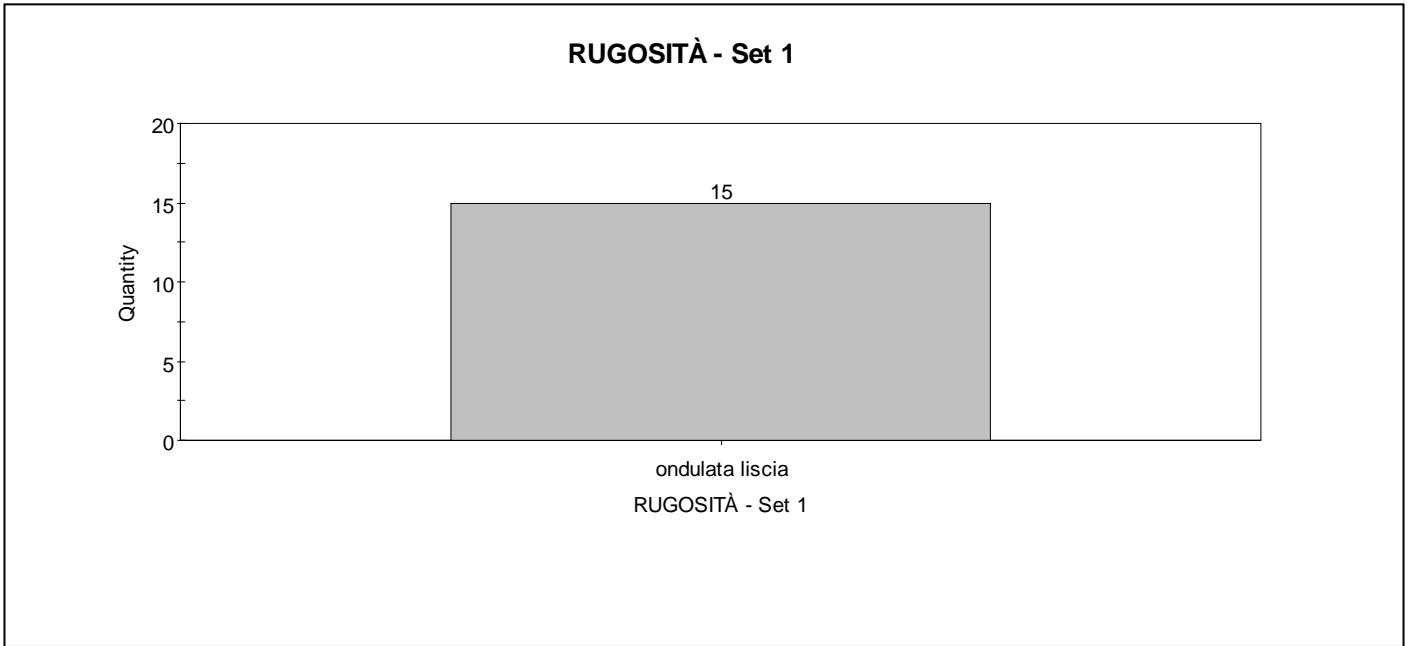
$\sigma_{ci}$ [MPa]	
<b>media</b>	<b>dev. st.</b>
<b>-</b>	<b>-</b>

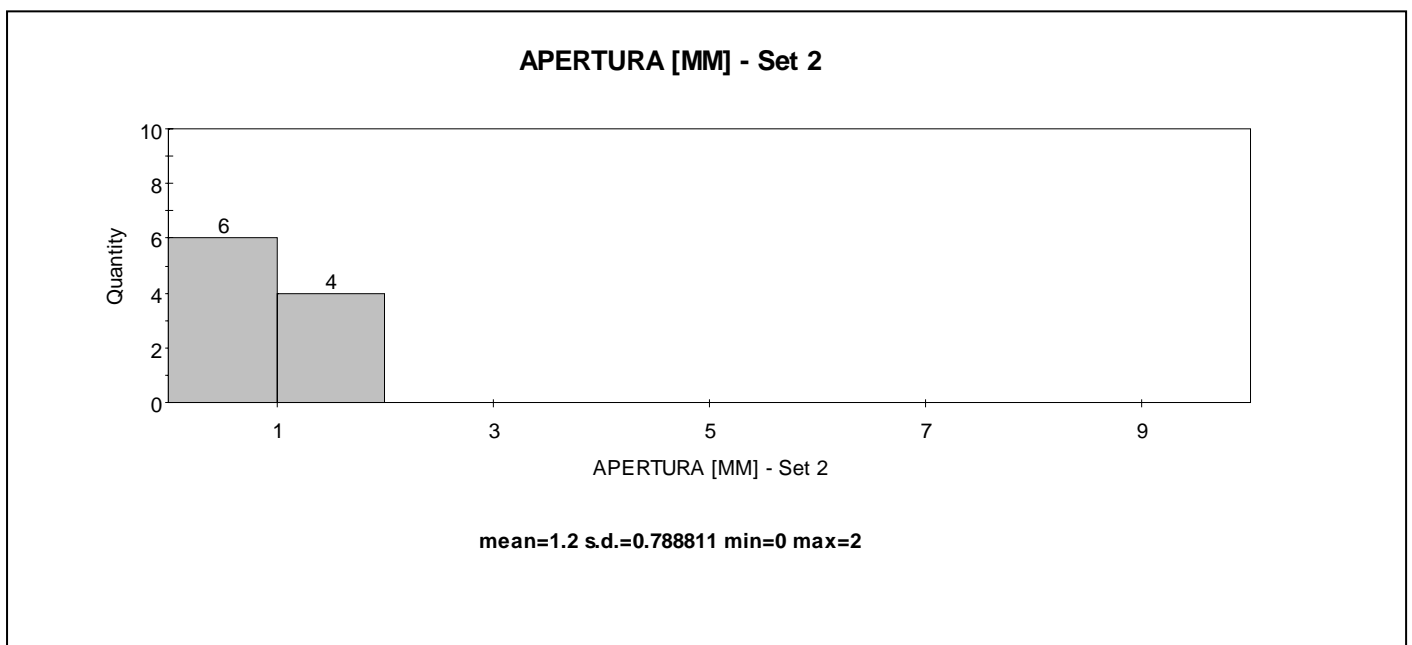
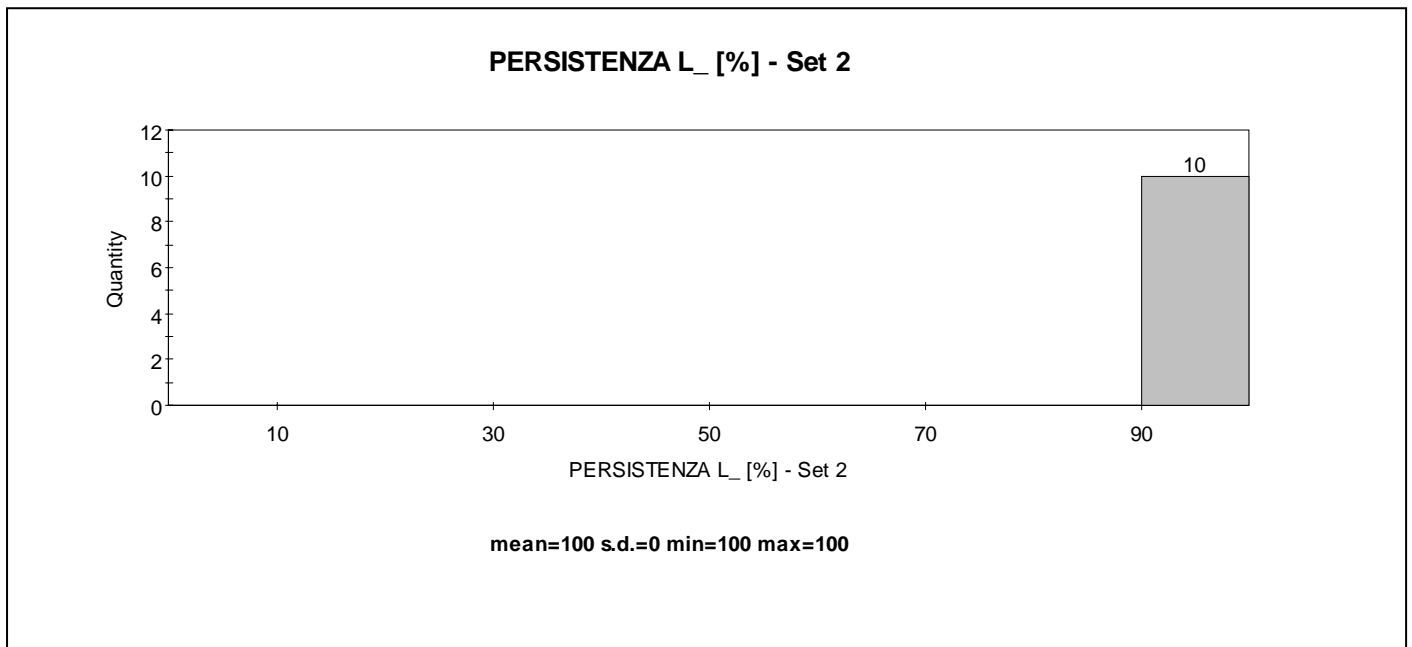
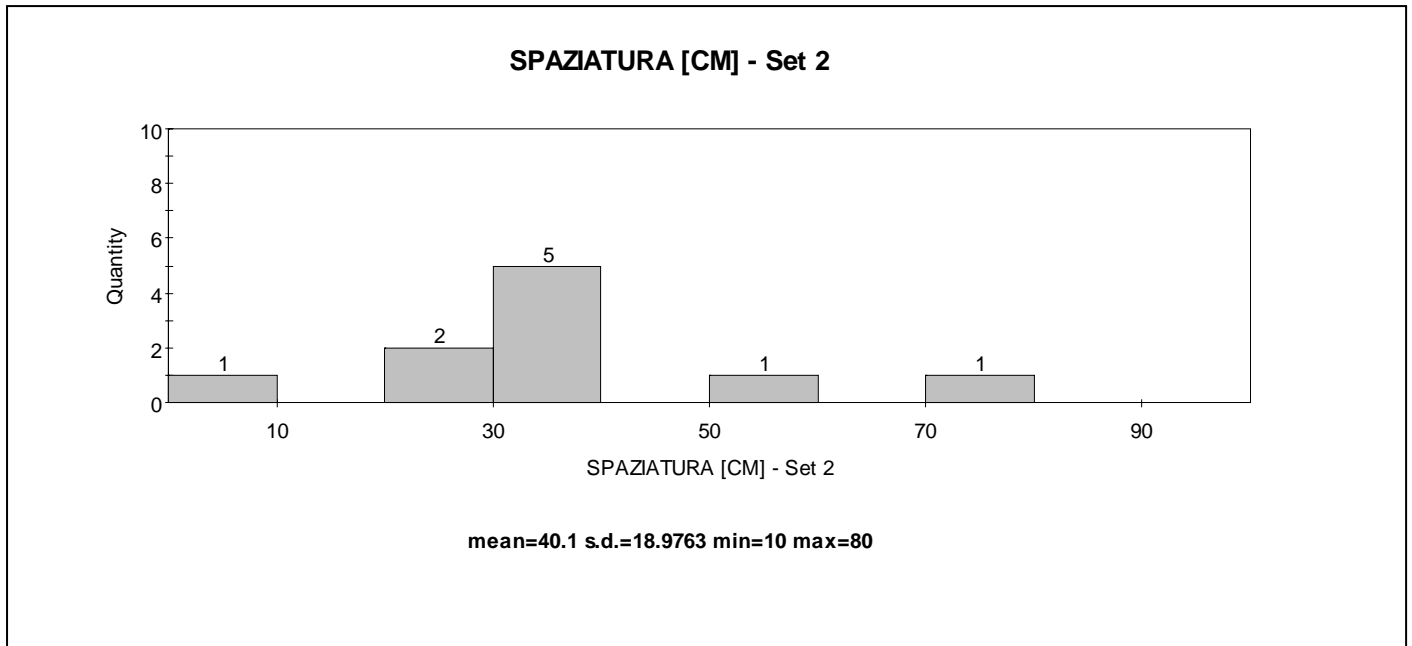
mediana	percentili	
	5°	95°
<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>



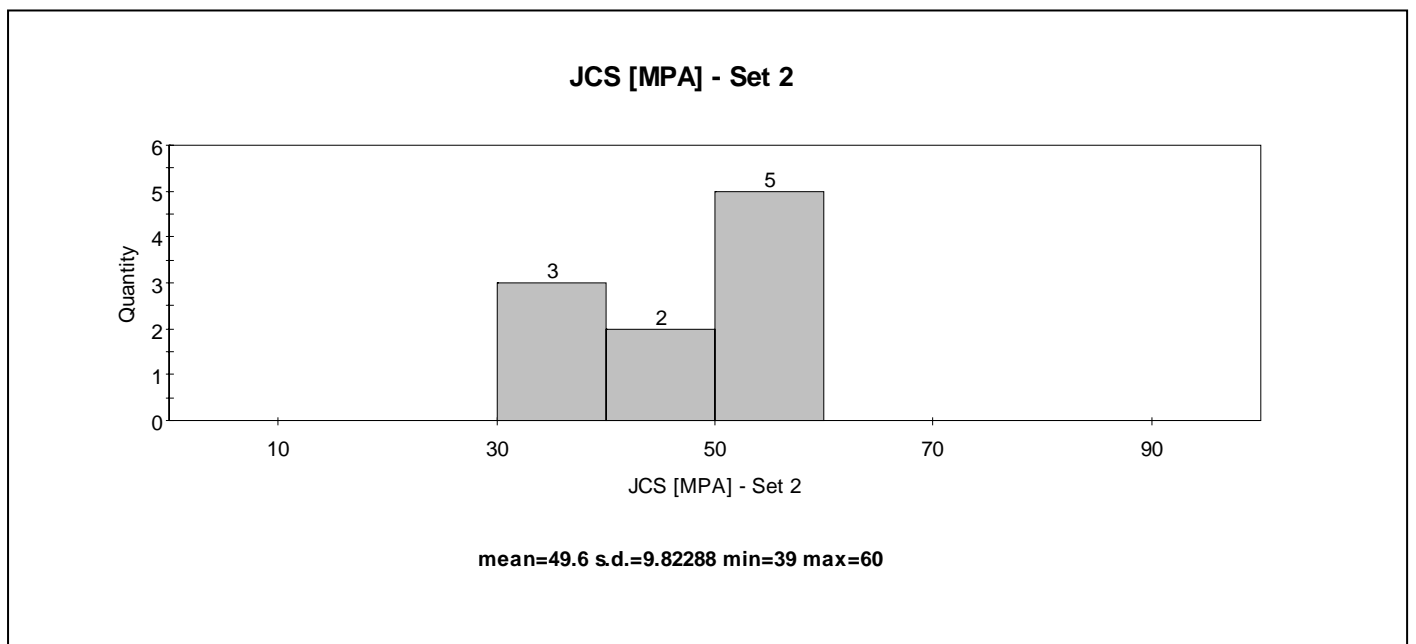
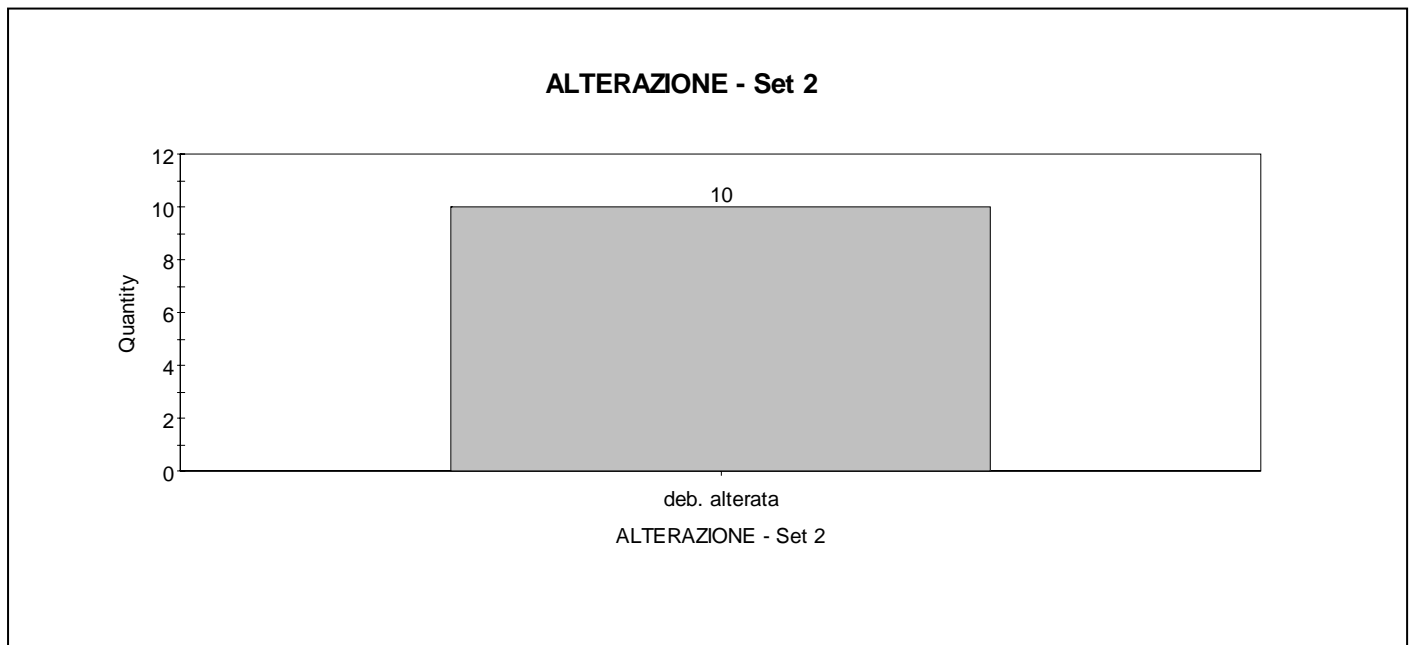
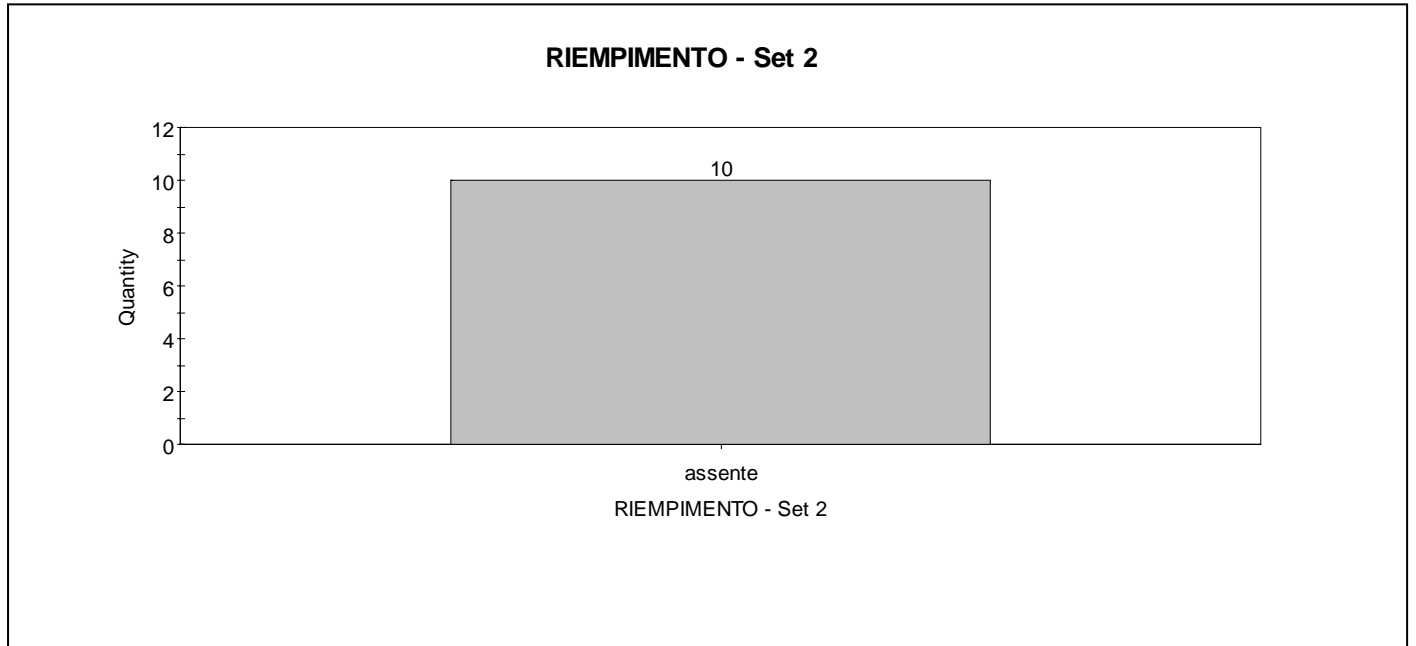




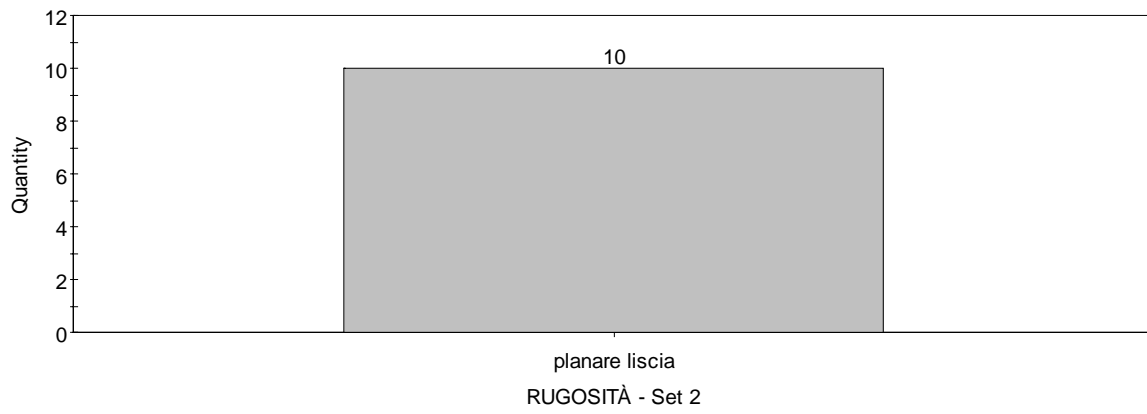




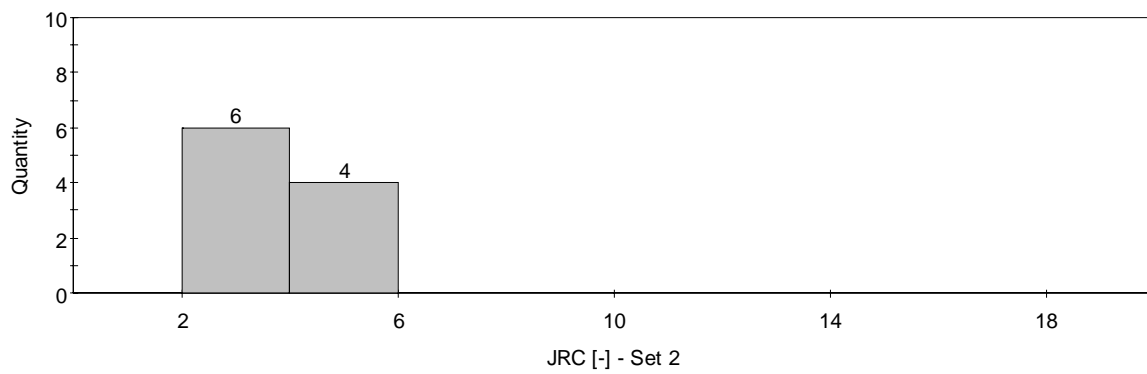




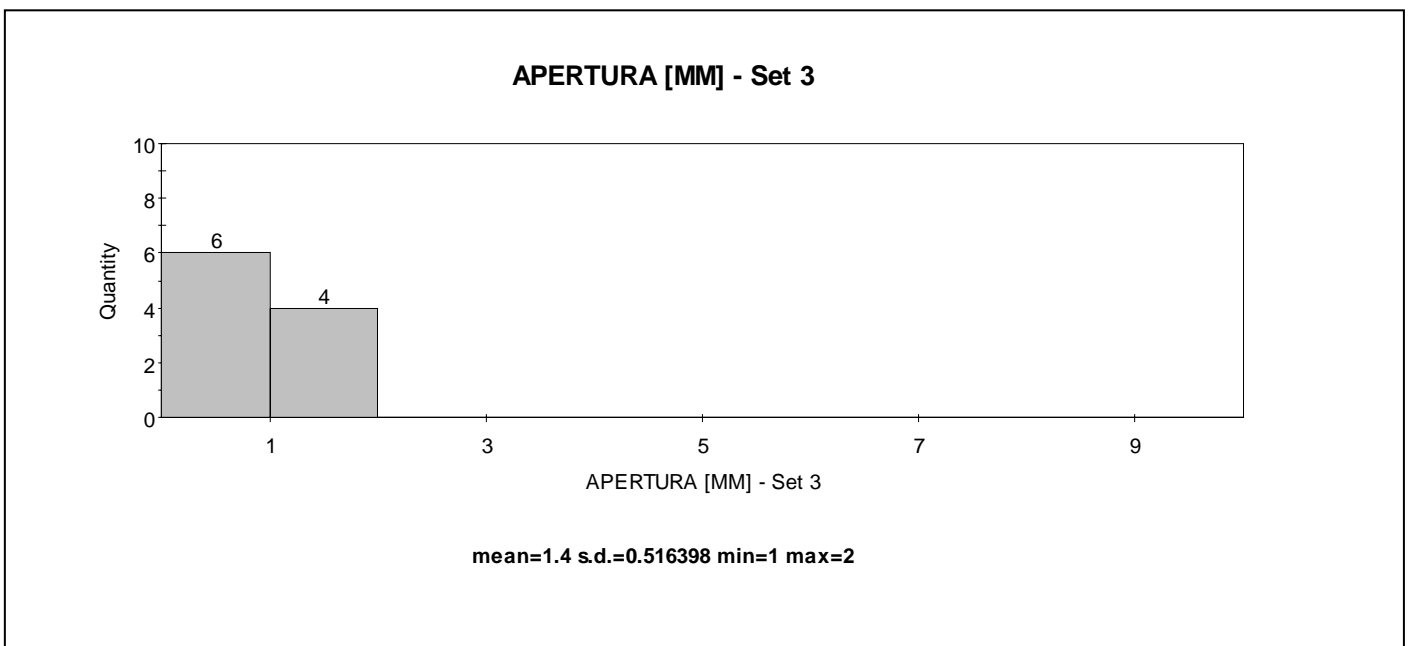
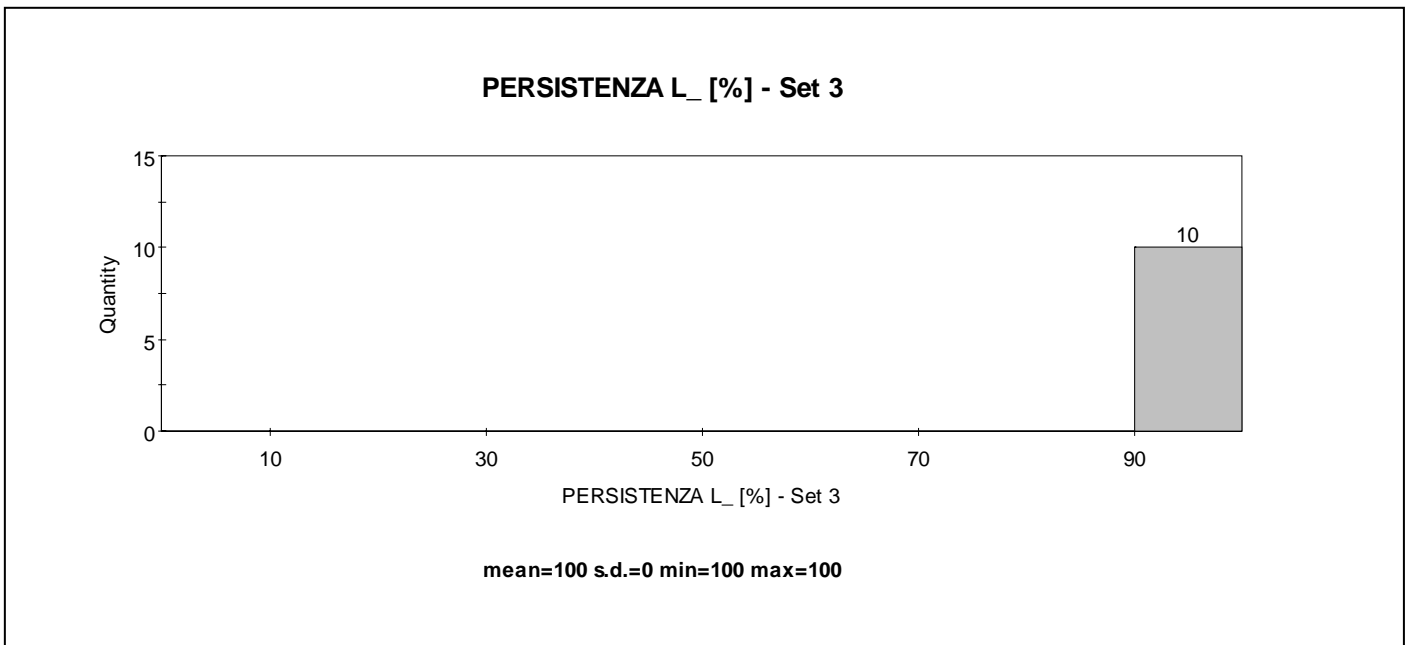
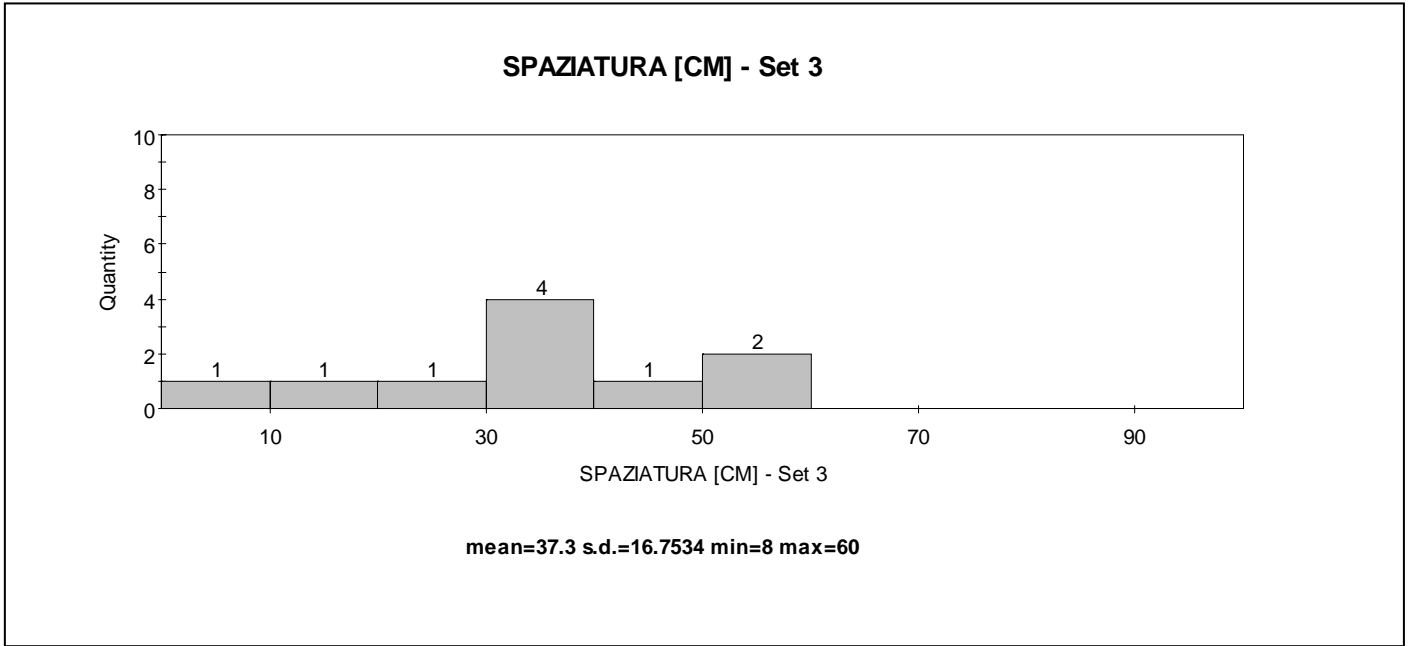
### RUGOSITÀ - Set 2

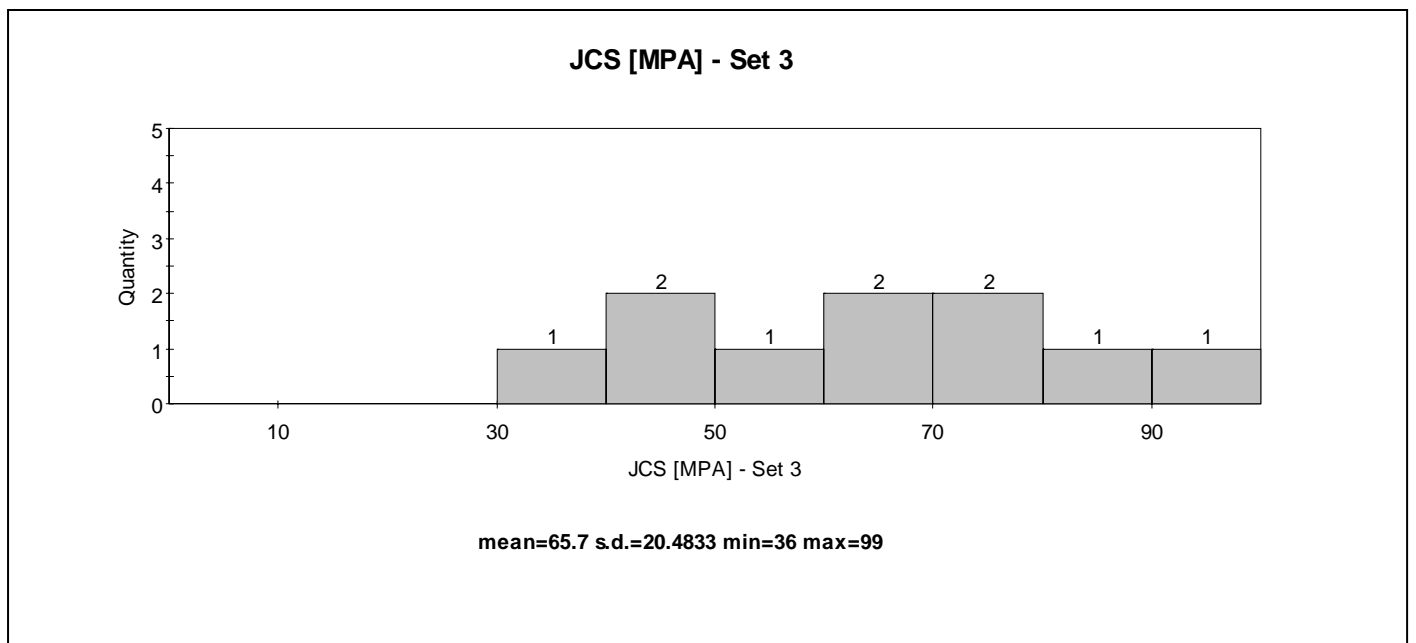
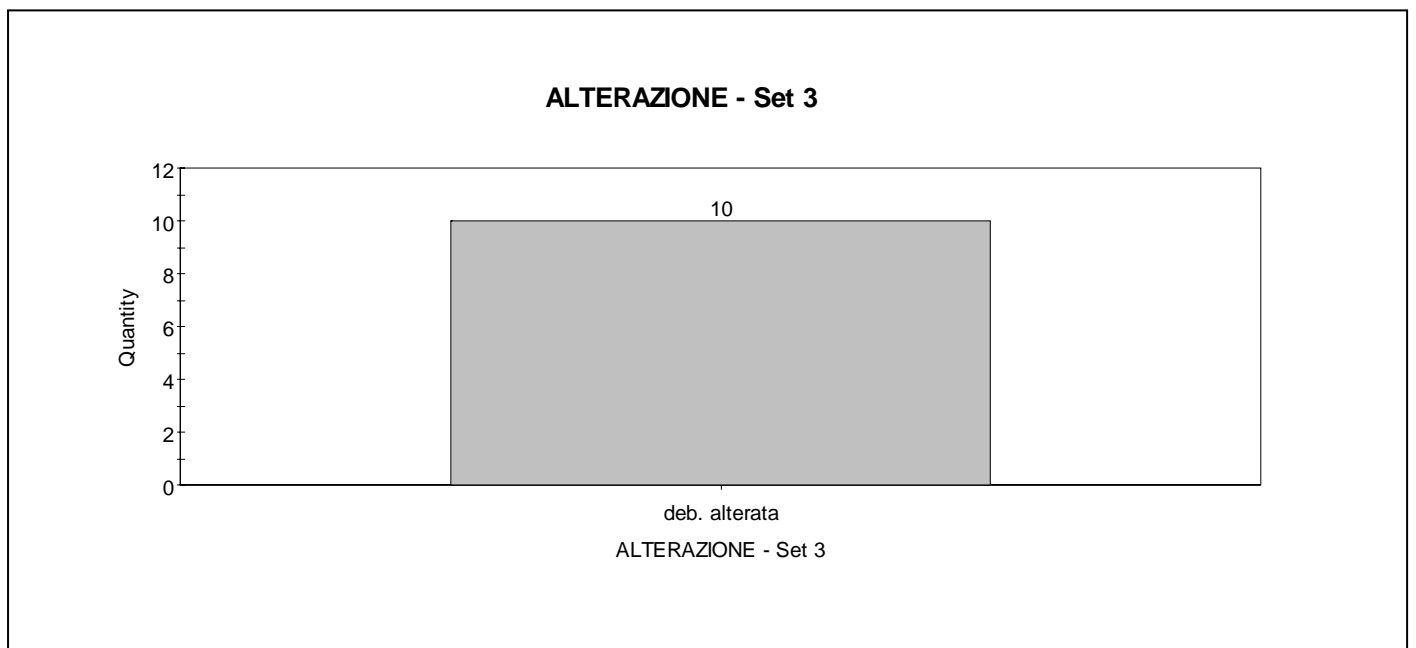
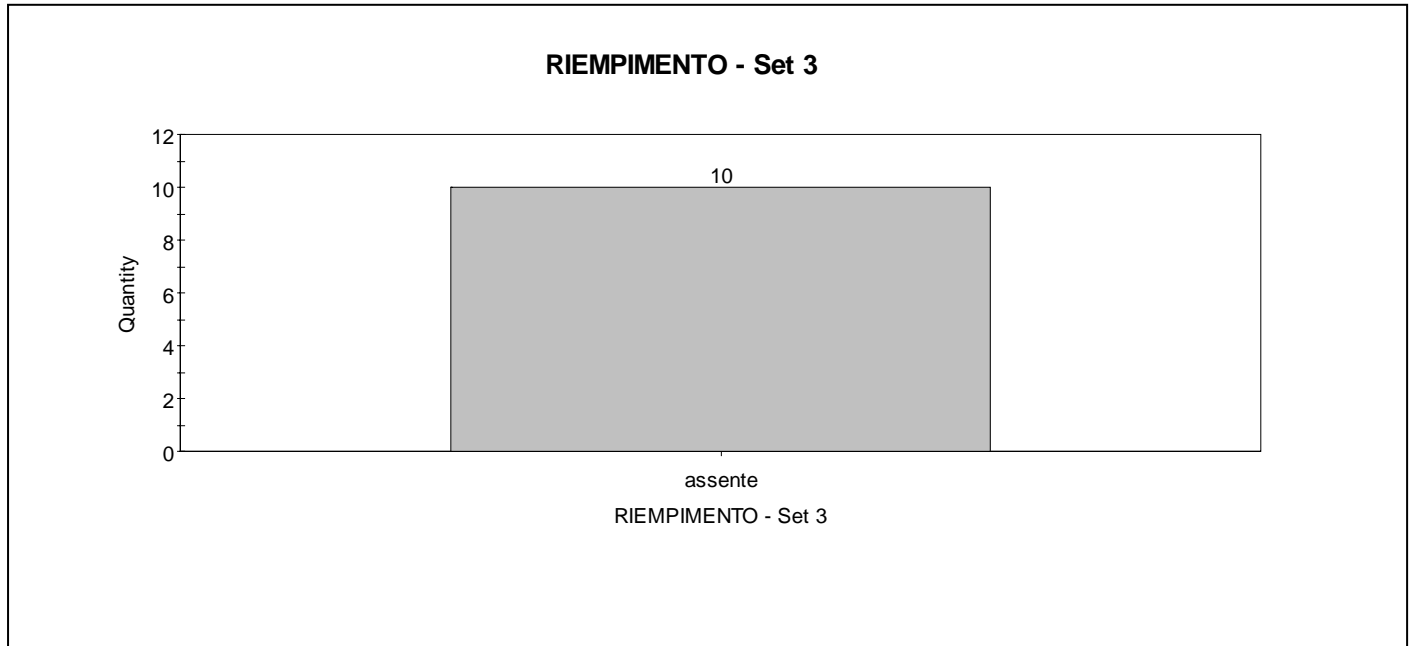


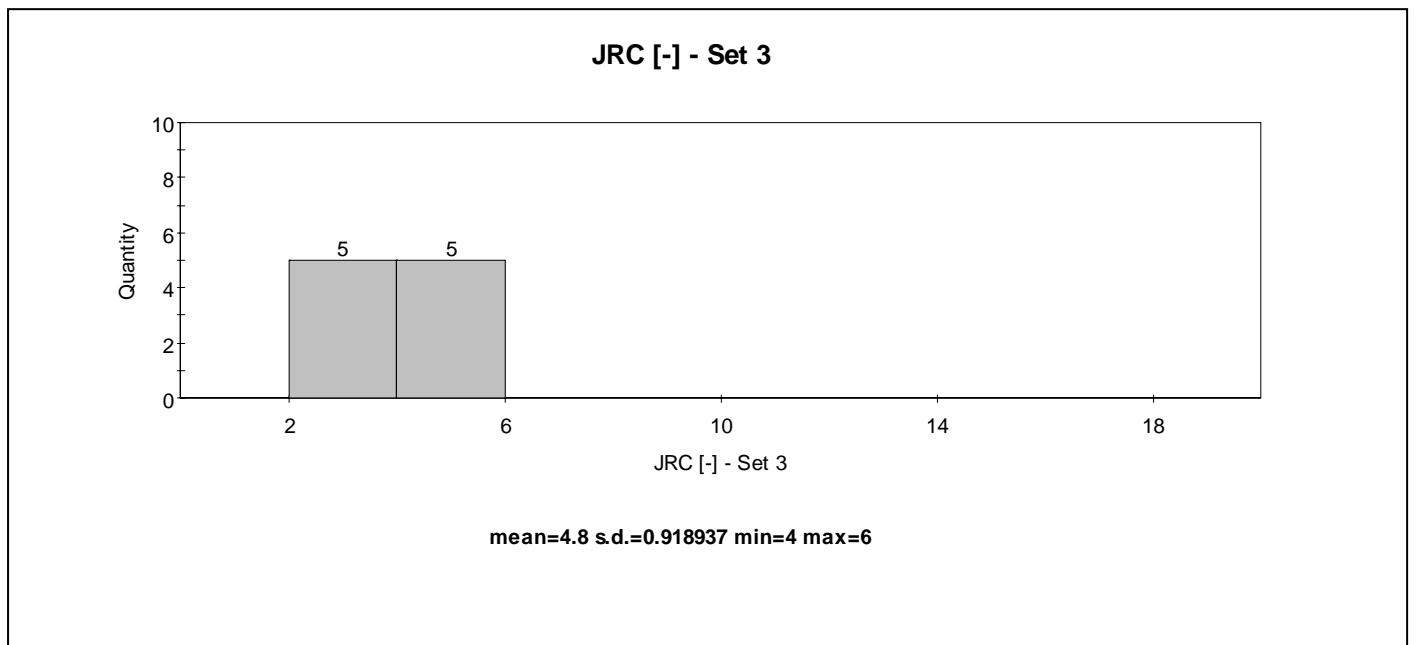
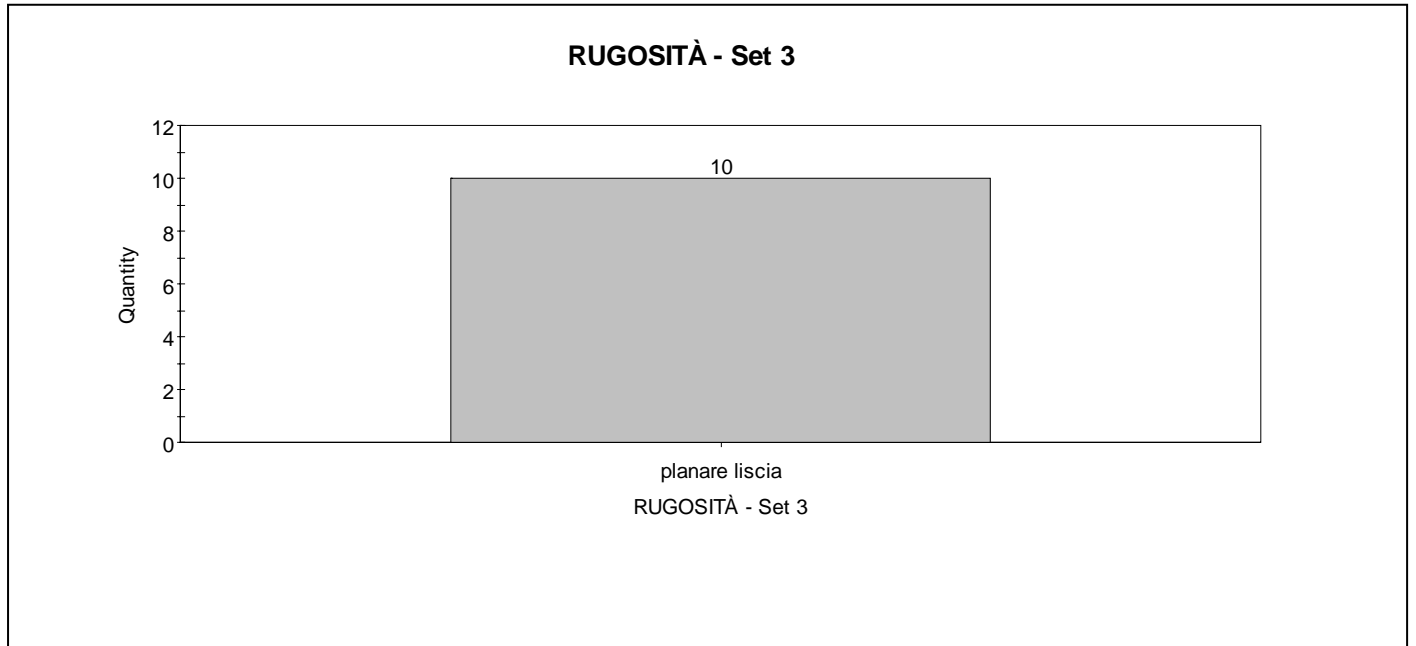
### JRC [-] - Set 2



mean=4.7 s.d.=0.948683 min=4 max=6







**ALLEGATO 2**

**PROVE DI RESISTENZA A CARICO PUNTIFORME**

**- RISULTATI -**

**PROVA DI COMPRESSIONE MONOASSIALE A CARICO PUNTIFORME  
POINT-LOAD STRENGTH TEST**

(ISRM, 1985)

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanabuona
<b>Località</b>	Ferrada
<b>Data</b>	30/08/11
<b>Area di prelievo</b>	RG1
<b>Campione</b>	C1
<b>Litologia</b>	Metasiltiti grigio-verdastre

**Test perpendicolari**

Tipo di test		D [mm]	W [mm]	P [kN]	I <sub>s (50)</sub> [MPa]
diametrale	assiale o irregolare				
	x	56	82	2,99	0,62
	x	39	70	3,07	0,95
	x	53	78	4,56	1,02
	x	38	75	3,84	1,15
	x	38	70	3,81	1,20
	x	59	70	5,76	1,29
	x	45	65	4,79	1,41
	x	47	65	5,09	1,45
	x	49	63	5,36	1,51
	x	40	72	5,44	1,62

**Test paralleli**

Tipo di test		D [mm]	W [mm]	P [kN]	I <sub>s (50)</sub> [MPa]
diametrale	assiale o irregolare				
	x	50	80	0,26	0,06
	x	60	100	0,57	0,10
	x	72	90	1,03	0,16
	x	55	68	0,68	0,17
	x	45	90	1,40	0,32
	x	65	95	1,61	0,26
	x	45	88	1,42	0,33

**Risultati della prova - Valori medi**

Test perpendicolari			Test paralleli		
I <sub>s (50)</sub>	[MPa]	1,25	I <sub>s (50)</sub>	[MPa]	0,20
C <sub>o</sub>	[MPa]	29,96	C <sub>o</sub>	[MPa]	4,80

**Indice di anisotropia** *I<sub>a</sub>* [-] **6,25**

**Valutazione statistica sui valori di I<sub>s (50)</sub>**

**Test perpendicolari**

Deviazione standard	[MPa]	0,20
Coefficiente di variazione	[%]	16,15

**Test paralleli**

Deviazione standard	[MPa]	0,11
Coefficiente di variazione	[%]	53,43



**PROVA DI COMPRESSIONE MONOASSIALE A CARICO PUNTIFORME  
POINT-LOAD STRENGTH TEST**

(ISRM, 1985)

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanabuona
<b>Località</b>	Case Liteglia
<b>Data</b>	30/08/11
<b>Area di prelievo</b>	RG2
<b>Campione</b>	C1
<b>Litologia</b>	Siltiti grigio-verdastre

**Test perpendicolari**

Tipo di test		D [mm]	W [mm]	P [kN]	I <sub>s (50)</sub> [MPa]
diametrale	assiale o irregolare				
	x	48	75	1,35	0,34
	x	43	85	2,77	0,68
	x	40	90	6,31	1,58
	x	50	65	6,18	1,67
	x	55	67	7,35	1,80
	x	45	90	9,21	2,10
	x	42	65	7,31	2,26
	x	37	66	6,92	2,34
	x	50	72	15,28	3,82
	x	35	70	12,16	4,10

**Test paralleli**

Tipo di test		D [mm]	W [mm]	P [kN]	I <sub>s (50)</sub> [MPa]
diametrale	assiale o irregolare				
	x	55	110	6,23	1,04
	x	35	110	2,28	0,54
	x	110	200	0,72	0,04
	x	75	110	1,87	0,25
	x	55	120	1,53	0,24
	x	45	100	1,48	0,31
	x	51	120	2,31	0,38

**Risultati della prova - Valori medi**

Test perpendicolari			Test paralleli		
I <sub>s (50)</sub>	[MPa]	2,03	I <sub>s (50)</sub>	[MPa]	0,40
C <sub>o</sub>	[MPa]	48,80	C <sub>o</sub>	[MPa]	9,62

**Indice di anisotropia** I<sub>a</sub> [-] **5,07**

**Valutazione statistica sui valori di I<sub>s (50)</sub>**

**Test perpendicolari**

Deviazione standard [MPa] **0,89**  
Coefficiente di variazione [%] **43,81**

**Test paralleli**

Deviazione standard [MPa] **0,32**  
Coefficiente di variazione [%] **79,93**





**PROVA DI COMPRESSIONE MONOASSIALE A CARICO PUNTIFORME  
POINT-LOAD STRENGTH TEST**

(ISRM, 1985)

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanaabuona
<b>Località</b>	Rio della Prè
<b>Data</b>	31/08/11
<b>Area di prelievo</b>	RG3
<b>Campione</b>	C1
<b>Litologia</b>	Marne calcaree nerastre

**Test perpendicolari**

Tipo di test		D [mm]	W [mm]	P [kN]	I <sub>s(50)</sub> [MPa]
diametrale	assiale o irregolare				
	x	47	95	9,38	1,98
	x	37	50	5,31	2,22
	x	58	105	13,80	2,30
	x	30	55	5,03	2,30
	x	41	60	7,83	2,63
	x	33	55	6,91	2,94
	x	34	60	8,75	3,40
	x	32	55	8,05	3,50
	x	37	72	13,05	4,12
	x	35	52	10,97	4,65

**Test paralleli**

Tipo di test		D [mm]	W [mm]	P [kN]	I <sub>s(50)</sub> [MPa]
diametrale	assiale o irregolare				
	x	55	65	1,05	0,26
	x	40	82	1,07	0,29
	x	38	70	0,95	0,30
	x	48	85	1,52	0,34
	x	38	75	1,60	0,48
	x	41	82	2,03	0,53

**Risultati della prova - Valori medi**

Test perpendicolari			Test paralleli		
I <sub>s(50)</sub>	[MPa]	<b>2,93</b>	I <sub>s(50)</sub>	[MPa]	<b>0,35</b>
C <sub>o</sub>	[MPa]	<b>70,24</b>	C <sub>o</sub>	[MPa]	<b>8,47</b>

**Indice di anisotropia**    I<sub>a</sub> [-]    **8,29**

**Valutazione statistica sui valori di I<sub>s(50)</sub>**

**Test perpendicolari**

Deviazione standard    [MPa]    **0,69**  
Coefficiente di variazione    [%]    **23,64**

**Test paralleli**

Deviazione standard    [MPa]    **0,09**  
Coefficiente di variazione    [%]    **24,86**



**PROVA DI COMPRESSIONE MONOASSIALE A CARICO PUNTIFORME  
POINT-LOAD STRENGTH TEST**

(ISRM, 1985)

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanabuona
<b>Località</b>	Rio della Prè
<b>Data</b>	31/08/11
<b>Area di prelievo</b>	RG4
<b>Campione</b>	C1
<b>Litologia</b>	Calcare marnoso grigio scuro

**Test perpendicolari**

Tipo di test		D	W	P	$I_{s(50)}$
diametrico	assiale o irregolare	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]
	x	62	120	13,90	1,98
	x	55	81	12,61	2,67
	x	49	76	11,59	2,82
	x	45	90	13,86	3,16
	x	48	63	11,44	3,27
	x	46	86	18,18	4,23
	x	44	97	19,31	4,23
	x	52	105	25,80	4,67
	x	46	55	14,71	4,83
	x	47	56	15,99	5,10
	x	38	71	17,31	5,41
	x	37	72	17,36	5,48
	x	52	63	20,47	5,51
	x	40	100	24,10	5,55
	x	35	55	14,03	5,70
	x	50	90	27,32	5,75
	x	45	50	18,51	6,66
	x	46	48	18,71	6,83
	x	30	60	18,22	7,80

**Test paralleli**

Tipo di test		D	W	P	$I_{s(50)}$
diametrico	assiale o irregolare	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]

**Risultati della prova - Valori medi**

Test perpendicolari		Test paralleli	
$I_{s(50)}$ [MPa]	4,82	$I_{s(50)}$ [MPa]	-
$C_o$ [MPa]	115,61	$C_o$ [MPa]	-

**Indice di anisotropia  $I_a$  [-]** -

**Valutazione statistica sui valori di  $I_{s(50)}$**

**Test perpendicolari**

Deviazione standard [MPa]	1,26
Coefficiente di variazione [%]	26,16

**Test paralleli**

Deviazione standard [MPa]	-
Coefficiente di variazione [%]	-



**PROVA DI COMPRESSIONE MONOASSIALE A CARICO PUNTIFORME  
POINT-LOAD STRENGTH TEST**

(ISRM, 1985)

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanbuona
<b>Località</b>	Cunizzo
<b>Data</b>	31/08/11
<b>Area di prelievo</b>	RG5
<b>Campione</b>	C1
<b>Litologia</b>	Argilloscisti

**Test perpendicolari**

Tipo di test		D [mm]	W [mm]	P [kN]	I <sub>s (50)</sub> [MPa]
diametrale	assiale o irregolare				
	x	31	85	0,56	0,18
	x	30	66	0,58	0,23
	x	30	48	0,55	0,28
	x	36	67	0,87	0,30
	x	30	50	0,68	0,34
	x	30	55	0,81	0,37
	x	35	69	1,10	0,37
	x	35	50	0,87	0,38
	x	36	73	1,24	0,40
	x	30	76	1,22	0,43
	x	30	55	1,02	0,47

**Test paralleli**

Tipo di test		D [mm]	W [mm]	P [kN]	I <sub>s (50)</sub> [MPa]
diametrale	assiale o irregolare				

**Risultati della prova - Valori medi**

Test perpendicolari		Test paralleli	
I <sub>s (50)</sub> [MPa]	0,34	I <sub>s (50)</sub> [MPa]	-
C <sub>o</sub> [MPa]	8,26	C <sub>o</sub> [MPa]	-

**Indice di anisotropia** I<sub>a</sub> [-] -

**Valutazione statistica sui valori di I<sub>s (50)</sub>**

**Test perpendicolari**

Deviazione standard [MPa]	0,06
Coefficiente di variazione [%]	18,71

**Test paralleli**

Deviazione standard [MPa]	-
Coefficiente di variazione [%]	-



**PROVA DI COMPRESIONE MONOASSIALE A CARICO PUNTIFORME  
POINT-LOAD STRENGTH TEST**

(ISRM, 1985)

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanabuona
<b>Località</b>	Santuario Nostra Signora di Caravaggio
<b>Data</b>	31/08/11
<b>Area di prelievo</b>	RG6
<b>Campione</b>	C1
<b>Litologia</b>	Calcare marnoso grigio nocciola

**Test perpendicolari**

Tipo di test		D	W	P	$I_{s(50)}$
diametricale	assiale o irregolare	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]
	x	55	65	9,42	2,37
	x	55	91	15,99	3,10
	x	58	70	14,16	3,23
	x	72	75	17,77	3,25
	x	52	64	12,67	3,37
	x	37	108	15,20	3,51
	x	38	105	15,61	3,60
	x	58	65	15,88	3,83
	x	38	110	18,10	4,03
	x	47	88	18,91	4,25
	x	67	75	21,99	4,25
	x	53	78	19,34	4,34
	x	47	85	18,97	4,38
	x	63	72	21,59	4,51
	x	46	81	18,99	4,62
	x	37	75	15,58	4,77
	x	53	69	20,33	5,02
	x	38	65	15,36	5,14
	x	35	55	13,52	5,49

**Test paralleli**

Tipo di test		D	W	P	$I_{s(50)}$
diametricale	assiale o irregolare	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]

**Risultati della prova - Valori medi**

Test perpendicolari		Test paralleli	
$I_{s(50)}$ [MPa]	<b>4,07</b>	$I_{s(50)}$ [MPa]	-
$C_o$ [MPa]	<b>97,68</b>	$C_o$ [MPa]	-

**Indice di anisotropia**  $I_a$  [-] -

**Valutazione statistica sui valori di  $I_{s(50)}$**

Test perpendicolari		
Deviazione standard [MPa]		<b>0,65</b>
Coefficiente di variazione [%]		<b>15,90</b>

Test paralleli		
Deviazione standard [MPa]		-
Coefficiente di variazione [%]		-







**PROVA DI COMPRESSIONE MONOASSIALE A CARICO PUNTIFORME  
POINT-LOAD STRENGTH TEST**

(ISRM, 1985)

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanabuona
<b>Località</b>	Arboccò
<b>Data</b>	30/08/11
<b>Area di prelievo</b>	RG8
<b>Campione</b>	C1
<b>Litologia</b>	Calcarea marnoso

**Test perpendicolari**

Tipo di test		D	W	P	$I_{s(50)}$
diametrale	assiale o irregolare	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]
	x	62	135	14,58	1,90
	x	48	80	9,76	2,32
	x	34	70	7,57	2,61
	x	55	58	9,51	2,61
	x	52	60	9,51	2,66
	x	33	80	8,44	2,68
	x	45	70	10,97	3,04
	x	60	82	16,10	3,16
	x	50	58	11,48	3,39
	x	63	63	15,06	3,49
	x	62	65	15,48	3,55
	x	69	75	18,91	3,57
	x	50	58	12,40	3,67
	x	46	47	9,98	3,70
	x	62	65	16,75	3,84
	x	59	77	18,85	3,94
	x	58	67	18,63	4,39
	x	50	60	17,18	4,95
	x	53	66	20,32	5,20
	x	49	61	21,84	6,31

**Test paralleli**

Tipo di test		D	W	P	$I_{s(50)}$
diametrale	assiale o irregolare	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]

**Risultati della prova - Valori medi**

Test perpendicolari		Test paralleli	
$I_{s(50)}$ [MPa]	3,49	$I_{s(50)}$ [MPa]	-
$C_o$ [MPa]	83,69	$C_o$ [MPa]	-

<b>Indice di anisotropia</b> $I_a$ [-]	-
--	---

**Valutazione statistica sui valori di  $I_{s(50)}$**

Test perpendicolari	
Deviazione standard [MPa]	0,80
Coefficiente di variazione [%]	22,89

Test paralleli	
Deviazione standard [MPa]	-
Coefficiente di variazione [%]	-



**PROVA DI COMPRESSIONE MONOASSIALE A CARICO PUNTIFORME  
POINT-LOAD STRENGTH TEST**

(ISRM, 1985)

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanabuona
<b>Località</b>	Arboccò
<b>Data</b>	
<b>Area di prelievo</b>	RG9
<b>Campione</b>	C1
<b>Litologia</b>	Calcere marnoso grigio nocciola

**Test perpendicolari**

Tipo di test		D	W	P	I <sub>s(50)</sub>
diametricale	assiale o irregolare	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]
x		73	180	17,39	1,59
x		48	105	9,17	1,77
x		44	85	7,73	1,88
x		72	110	15,13	2,05
x		67	100	14,39	2,22
x		78	82	14,72	2,36
x		66	93	14,80	2,45
x		75	120	20,76	2,55
x		69	81	14,92	2,65
x		70	95	17,23	2,68
x		58	90	14,56	2,73
x		48	92	13,45	2,87
x		45	80	11,51	2,88
x		55	90	15,20	2,97
x		46	72	13,13	3,50
x		55	62	13,62	3,55
x		65	90	21,18	3,64
x		52	68	14,38	3,65
x		46	67	15,02	4,24
x		47	59	14,55	4,45

**Test paralleli**

Tipo di test		D	W	P	I <sub>s(50)</sub>
diametricale	assiale o irregolare	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]

**Risultati della prova - Valori medi**

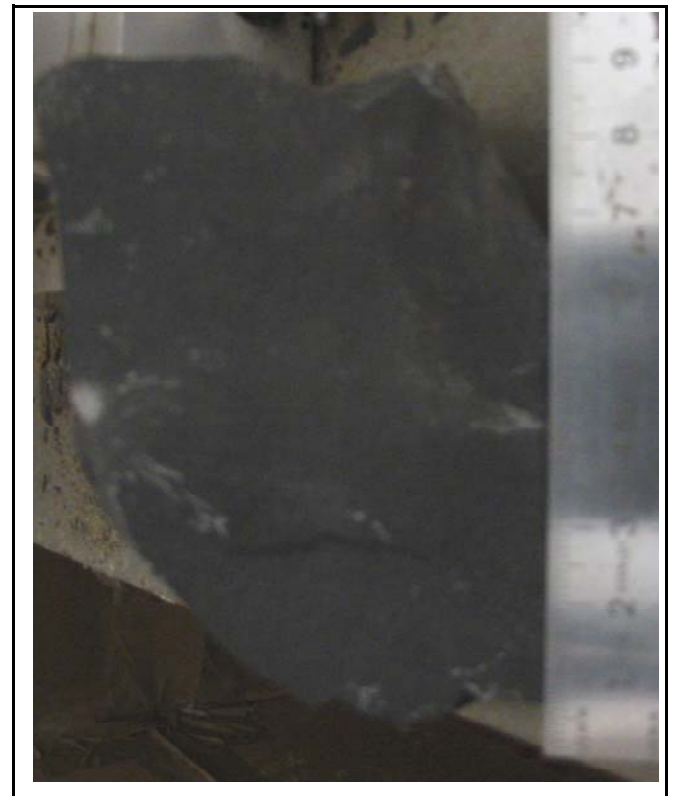
Test perpendicolari			Test paralleli		
I <sub>s(50)</sub>	[MPa]	<b>2,81</b>	I <sub>s(50)</sub>	[MPa]	-
C <sub>o</sub>	[MPa]	<b>67,50</b>	C <sub>o</sub>	[MPa]	-

<b>Indice di anisotropia</b>	la [-]	-
------------------------------	--------	---

**Valutazione statistica sui valori di I<sub>s(50)</sub>**

Test perpendicolari		
Deviazione standard	[MPa]	<b>0,68</b>
Coefficiente di variazione	[%]	<b>24,09</b>

Test paralleli		
Deviazione standard	[MPa]	-
Coefficiente di variazione	[%]	-



**PROVA DI COMPRESSIONE MONOASSIALE A CARICO PUNTIFORME  
POINT-LOAD STRENGTH TEST**

(ISRM, 1985)

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanbuona
<b>Località</b>	Rapallo
<b>Data</b>	30/08/11
<b>Area di prelievo</b>	RG10
<b>Campione</b>	C1
<b>Litologia</b>	Calcarea marnoso grigio scuro

**Test perpendicolari**

Tipo di test		D [mm]	W [mm]	P [kN]	I <sub>s(50)</sub> [MPa]
diametrale	assiale o irregolare				
	x	77	93	7,31	1,07
	x	73	180	17,39	1,59
	x	48	105	9,17	1,77
	x	44	85	7,73	1,88
	x	67	100	14,39	2,22
	x	75	120	20,76	2,55
	x	70	95	17,23	2,68
	x	58	90	14,56	2,73
	x	51	73	11,34	2,76
	x	45	80	11,51	2,88
	x	55	90	15,20	2,97
	x	49	73	11,88	2,99
	x	68	80	17,35	3,15
	x	52	94	16,30	3,22
	x	70	80	18,21	3,23
	x	47	65	12,42	3,53
	x	65	90	21,18	3,64
	x	70	79	20,77	3,72
	x	51	70	15,38	3,87
	x	43	67	16,40	4,87

**Test paralleli**

Tipo di test		D [mm]	W [mm]	P [kN]	I <sub>s(50)</sub> [MPa]
diametrale	assiale o irregolare				

**Risultati della prova - Valori medi**

Test perpendicolari		Test paralleli	
I <sub>s(50)</sub> [MPa]	<b>2,85</b>	I <sub>s(50)</sub> [MPa]	-
C <sub>o</sub> [MPa]	<b>68,50</b>	C <sub>o</sub> [MPa]	-

<b>Indice di anisotropia</b> I <sub>a</sub> [-]	-
---	---

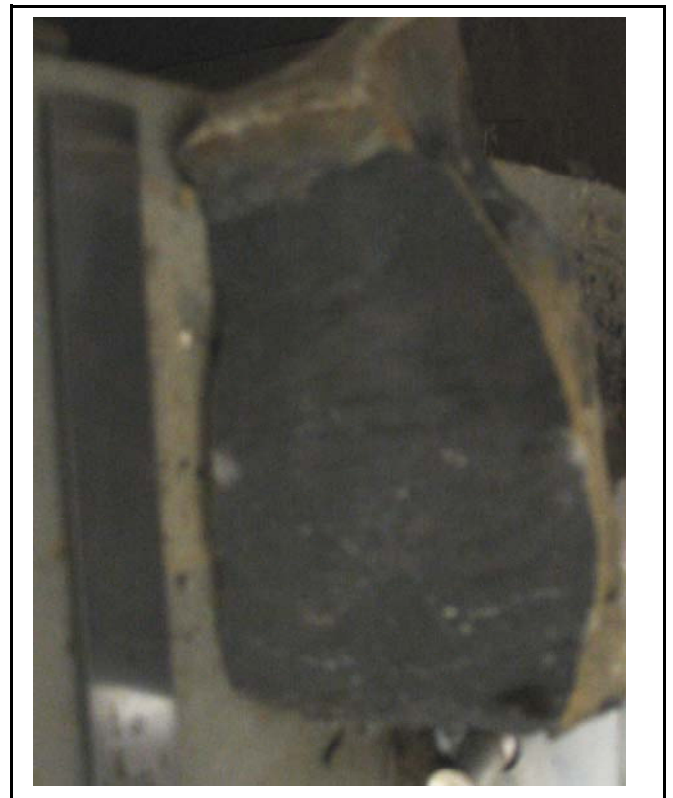
**Valutazione statistica sui valori di I<sub>s(50)</sub>**

**Test perpendicolari**

Deviazione standard [MPa]	<b>0,66</b>
Coefficiente di variazione [%]	<b>23,30</b>

**Test paralleli**

Deviazione standard [MPa]	-
Coefficiente di variazione [%]	-





**ALLEGATO 3**

**CLASSIFICAZIONI GEOMECCANICHE  
DEGLI AMMASSI ROCCIOSI  
- VALORI MEDI -**

**DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOMECCANICI DI RESISTENZA E DEFORMABILITA'**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanabuona
<b>Località</b>	Ferrada
<b>Data</b>	14/09/11
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 1 - parametri medi

**Litologia e descrizione geologica generale**

Metasiltiti grigio-verdastre fittamente laminate con subordinate intercalazioni di metaareniti fini in strati decimetrici. [Scisti manganeseferi]

**Tipo di ammasso roccioso secondo la classificazione di Hoek e Marinos, 2000 e parametri di base del materiale roccia**

tipo ammasso	alternanze	classe	G	litotipo a	litotipo b
resistenza a compressione monoassiale			$\sigma_{ci}$ [MPa]	-	30
parametro dell'inviluppo di rottura			$m_i$ [-]	-	10
rapporto del modulo			MR [-]	-	675
percentuale relativa			[%]	5	95

**Parametri del materiale roccia assunti per la classificazione e la parametrizzazione**

resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	30,0
parametro dell'inviluppo di rottura	$m_i$ [-]	10
rapporto del modulo	MR [-]	675

**Q System (Grimstad e Barton, 1993)**

RQD	$J_r$	$J_w$
[%]	[-]	[-]
10	2,0	1,0

**RQD** : Rock Quality Designation       **$J_w$**  : Joint Water Reduction Factor

**$J_n$**  : Joint Set Number

**SRF** : Stress Reduction Factor

**$J_r$**  : Joint Roughness Number

$J_n$	$J_a$	SRF
[-]	[-]	[-]
15,0	1,0	2,5

**$J_a$**  : Joint Alteration Number

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
Q'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
1,33	D	scadente

**Q'** : indice di qualità intrinseco dell'ammasso roccioso ( $J_w = 1$  e  $SRF = 1$ )

**RMR System - Geomechanics Classification (Bieniawski, 1989)**

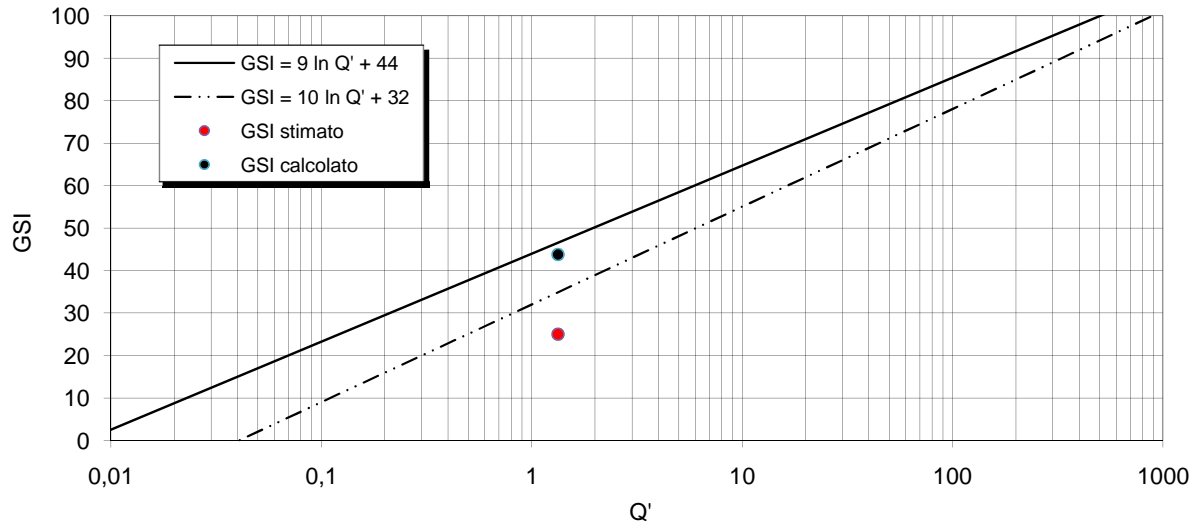
Resistenza a compressione monoassiale $\sigma_{ci}$	[MPa]	30	4
Rock Quality Designation RQD	[%]	10	4
N° di famiglie di discontinuità	[-]	3	4
Spaziatura delle discontinuità	[cm]	1	5
Condizioni delle discontinuità:			
lunghezza	[m]	20	0
apertura	[mm]	chiuse	6
rugosità:			
descrizione	[-]	lisce	
JRC	[-]	4	1
riempimento:			
tipo	[-]	assente	
spessore	[mm]	-	6
alterazione	[-]	debolmente alterate	5
Condizioni idriche	[-]	umido	10

**Rock Mass Rating intrinseco**      **RMR'**      **46**

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
RMR'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
46	III	discreta

Geological Strength Index (Hoek e Marinos., 2000)	GSI	calcolato	44
		stimato	25

### Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso



### PARAMETRI GEOMECCANICI

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	30,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,0
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	10
rapporto del modulo	$MR$ [-]	675

Coefficiente di disturbo	$D$ [-]	0,7
--------------------------	---------	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,16
	$s$ [-]	1,9E-05
	$a$ [-]	0,53
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,00
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,09
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	1,32

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,16
	$s$ [-]	1,9E-05
	$a$ [-]	0,53
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,00
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,09
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	1,32

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb

$$\tau = c' + \sigma \text{tg} \varphi'$$

Campo tensionale di validità [MPa]	0,0	0,3
------------------------------------	-----	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	35,71
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,06

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	35,71
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,06

#### Modulo di deformabilità

(Serafim e Pereira, 1983; Hoek et al., 2002)	$E_m$ [GPa]	0,84
(Hoek e Diederichs, 2006)	$E_m$ [GPa]	0,61

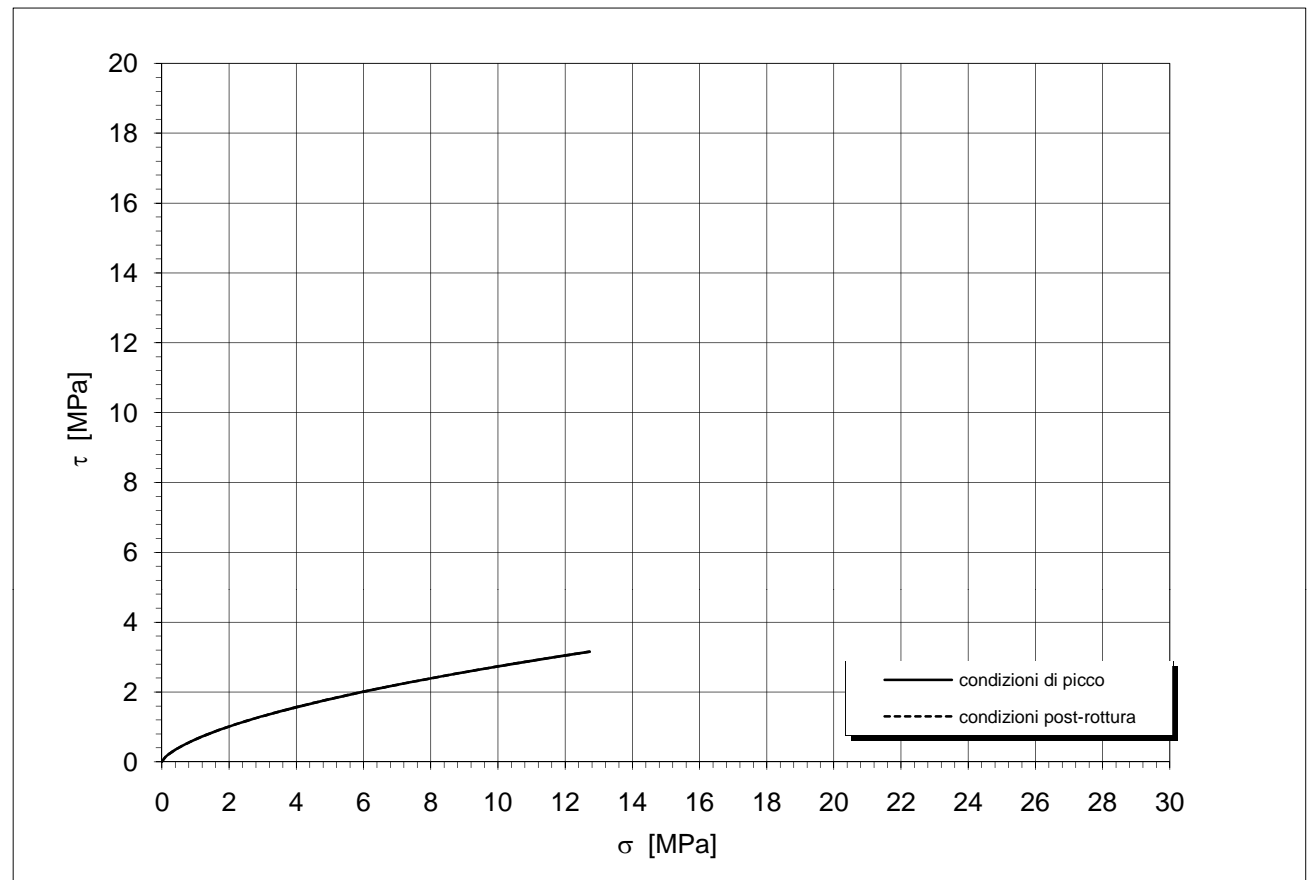
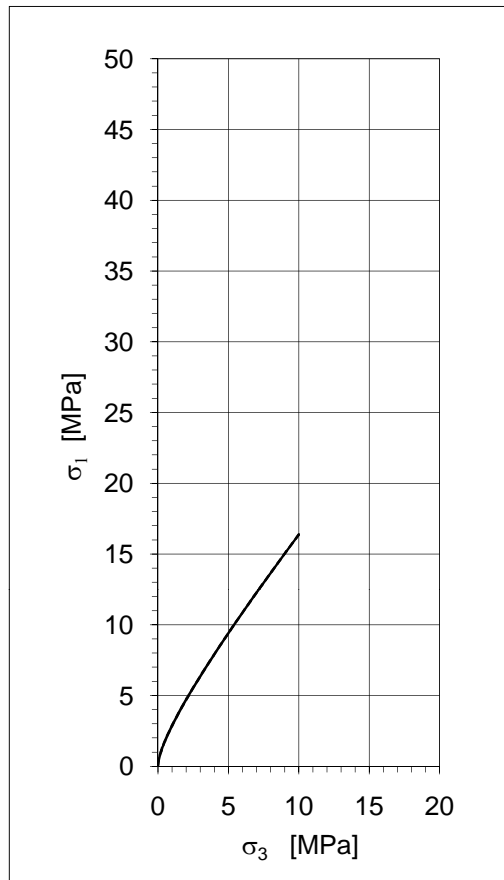
**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO**

	picco	post-rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
$\sigma_3$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [MPa]	$\phi_i$ [°]	$c_i$ [MPa]	$\phi_i$ [°]
0,00	0,09	0,09	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	61	0,01	61
0,05	0,45	0,45	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	41	0,04	41
0,10	0,66	0,66	0,12	0,15	0,12	0,15	0,07	36	0,07	36
0,15	0,84	0,84	0,22	0,23	0,22	0,23	0,09	33	0,09	33
0,20	1,00	1,00	0,31	0,29	0,31	0,29	0,11	31	0,11	31
0,25	1,15	1,15	0,40	0,35	0,40	0,35	0,13	29	0,13	29
0,30	1,29	1,29	0,48	0,39	0,48	0,39	0,14	28	0,14	28
0,35	1,43	1,43	0,57	0,44	0,57	0,44	0,16	27	0,16	27
0,40	1,56	1,56	0,65	0,48	0,65	0,48	0,17	26	0,17	26
0,45	1,68	1,68	0,73	0,52	0,73	0,52	0,19	25	0,19	25
0,50	1,80	1,80	0,81	0,56	0,81	0,56	0,20	24	0,20	24
0,60	2,03	2,03	0,89	0,59	0,89	0,59	0,22	23	0,22	23
0,70	2,25	2,25	1,04	0,66	1,04	0,66	0,25	22	0,25	22
0,80	2,47	2,47	1,19	0,72	1,19	0,72	0,27	21	0,27	21
0,90	2,68	2,68	1,34	0,78	1,34	0,78	0,29	20	0,29	20
1,00	2,88	2,88	1,48	0,83	1,48	0,83	0,31	19	0,31	19
1,10	3,07	3,07	1,63	0,89	1,63	0,89	0,33	19	0,33	19
1,20	3,27	3,27	1,77	0,93	1,77	0,93	0,35	18	0,35	18
1,30	3,46	3,46	1,91	0,98	1,91	0,98	0,37	18	0,37	18
1,40	3,64	3,64	2,05	1,03	2,05	1,03	0,39	17	0,39	17
1,50	3,83	3,83	2,19	1,07	2,19	1,07	0,41	17	0,41	17
1,60	4,01	4,01	2,32	1,11	2,32	1,11	0,42	17	0,42	17
1,70	4,19	4,19	2,46	1,15	2,46	1,15	0,44	16	0,44	16
1,80	4,36	4,36	2,60	1,19	2,60	1,19	0,45	16	0,45	16
1,90	4,54	4,54	2,73	1,23	2,73	1,23	0,47	16	0,47	16
2,00	4,71	4,71	2,86	1,27	2,86	1,27	0,49	15	0,49	15
2,20	5,05	5,05	3,00	1,31	3,00	1,31	0,52	15	0,52	15
2,40	5,39	5,39	3,26	1,38	3,26	1,38	0,54	14	0,54	14
2,60	5,72	5,72	3,52	1,45	3,52	1,45	0,57	14	0,57	14
2,80	6,04	6,04	3,78	1,51	3,78	1,51	0,60	14	0,60	14
3,00	6,36	6,36	4,04	1,58	4,04	1,58	0,62	13	0,62	13
3,20	6,68	6,68	4,30	1,64	4,30	1,64	0,65	13	0,65	13
3,40	6,99	6,99	4,55	1,70	4,55	1,70	0,67	13	0,67	13
3,60	7,30	7,30	4,80	1,75	4,80	1,75	0,70	12	0,70	12
3,80	7,61	7,61	5,05	1,81	5,05	1,81	0,72	12	0,72	12
4,00	7,92	7,92	5,31	1,86	5,31	1,86	0,75	12	0,75	12
4,20	8,22	8,22	5,55	1,92	5,55	1,92	0,77	12	0,77	12
4,40	8,52	8,52	5,80	1,97	5,80	1,97	0,79	11	0,79	11
4,60	8,82	8,82	6,05	2,02	6,05	2,02	0,81	11	0,81	11
4,80	9,11	9,11	6,30	2,07	6,30	2,07	0,83	11	0,83	11
5,00	9,41	9,41	6,54	2,12	6,54	2,12	0,85	11	0,85	11
5,50	10,14	10,14	6,79	2,16	6,79	2,16	0,90	11	0,90	11
6,00	10,86	10,86	7,39	2,28	7,39	2,28	0,95	10	0,95	10
6,50	11,57	11,57	8,00	2,39	8,00	2,39	1,00	10	1,00	10
7,00	12,27	12,27	8,60	2,50	8,60	2,50	1,04	10	1,04	10
7,50	12,97	12,97	9,20	2,60	9,20	2,60	1,09	9	1,09	9
8,00	13,66	13,66	9,79	2,70	9,79	2,70	1,13	9	1,13	9
8,50	14,34	14,34	10,38	2,79	10,38	2,79	1,17	9	1,17	9
9,00	15,02	15,02	10,97	2,89	10,97	2,89	1,21	9	1,21	9
9,50	15,70	15,70	11,56	2,98	11,56	2,98	1,25	8	1,25	8
10,00	16,37	16,37	12,14	3,07	12,14	3,07	1,29	8	1,29	8
			12,72	3,15	12,72	3,15				

# Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso

Tunnel di Fontanabuona  
Ferrada

RG 1 - parametri medi



## Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	30,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,0
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	10,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>25</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura			
	$m_b$ [-]	0,16	0,16
	$s$ [-]	1,9E-05	1,9E-05
	$a$ [-]	0,53	0,53
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,00	0,00
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,09	0,09
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	1,32	1,32
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	0,84 - 0,61	

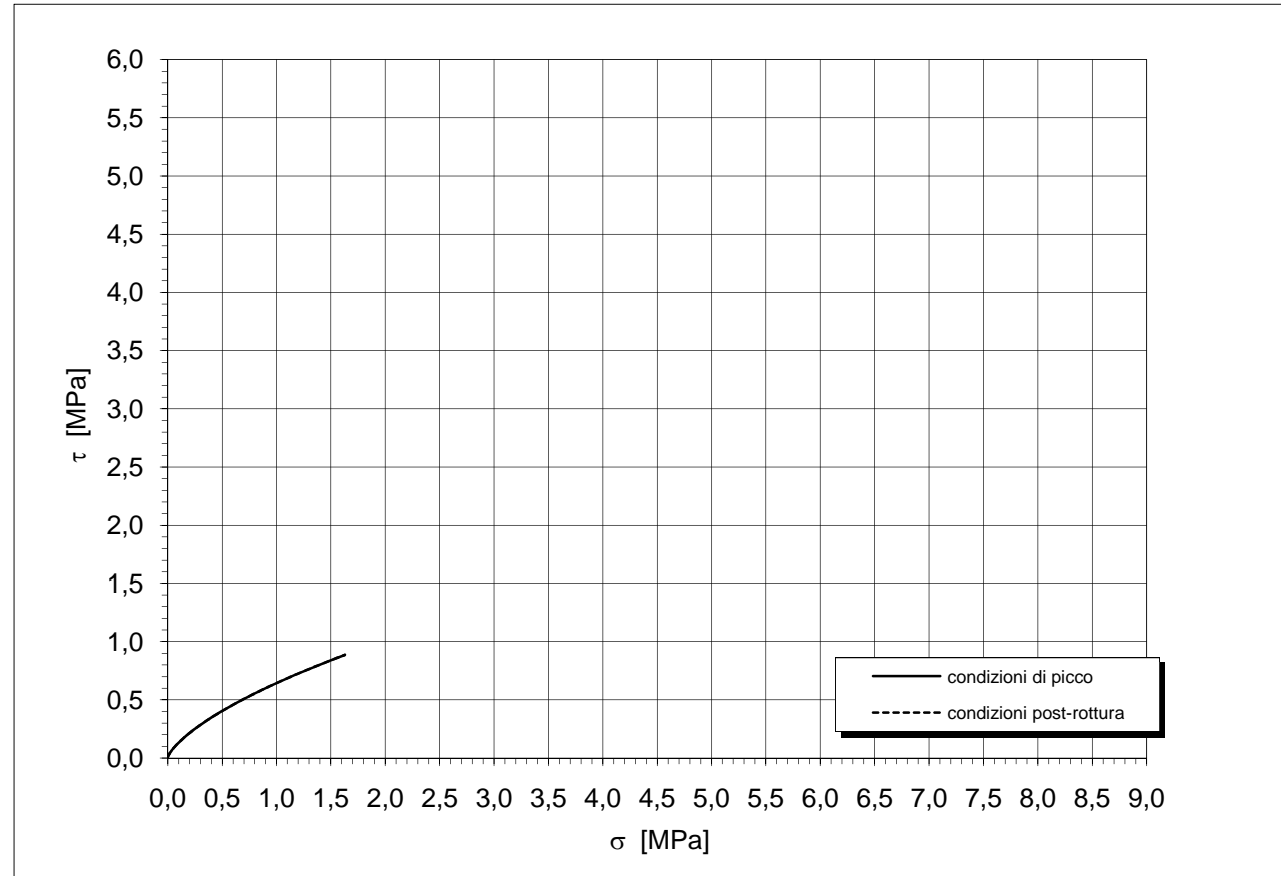
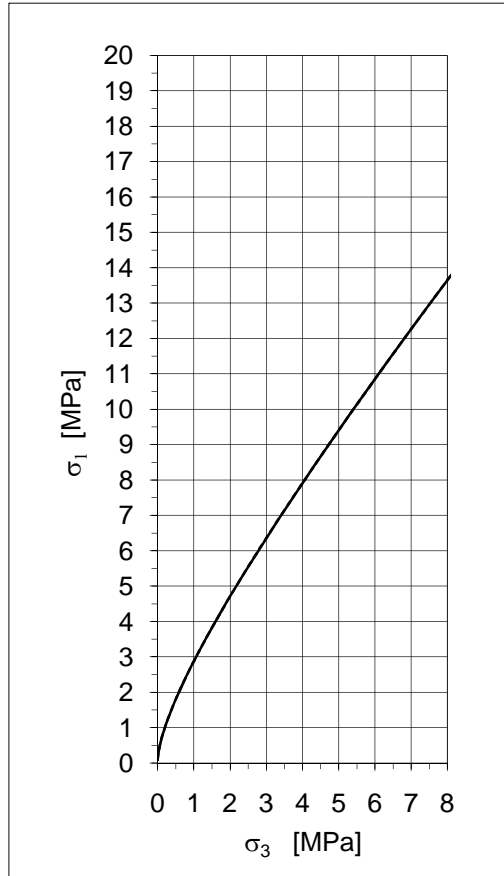
**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO ( $\sigma_3 = 0 - 1 \text{ MPa}$ )**

	picco	post-rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
$\sigma_3$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]
0,00	0,09	0,09	0,00	0,01	0,00	0,01	12	61	12	61
0,01	0,20	0,20	0,01	0,02	0,01	0,02	20	52	20	52
0,02	0,28	0,28	0,03	0,06	0,03	0,06	27	48	27	48
0,03	0,34	0,34	0,05	0,09	0,05	0,09	33	45	33	45
0,04	0,39	0,39	0,07	0,11	0,07	0,11	39	43	39	43
0,05	0,45	0,45	0,10	0,13	0,10	0,13	45	41	45	41
0,06	0,49	0,49	0,12	0,15	0,12	0,15	50	40	50	40
0,07	0,54	0,54	0,14	0,17	0,14	0,17	55	39	55	39
0,08	0,58	0,58	0,16	0,18	0,16	0,18	60	38	60	38
0,09	0,62	0,62	0,18	0,20	0,18	0,20	65	37	65	37
0,10	0,66	0,66	0,20	0,21	0,20	0,21	69	36	69	36
0,11	0,70	0,70	0,22	0,23	0,22	0,23	74	35	74	35
0,12	0,74	0,74	0,23	0,24	0,23	0,24	78	35	78	35
0,13	0,77	0,77	0,25	0,25	0,25	0,25	82	34	82	34
0,14	0,81	0,81	0,27	0,27	0,27	0,27	86	34	86	34
0,15	0,84	0,84	0,29	0,28	0,29	0,28	90	33	90	33
0,16	0,88	0,88	0,31	0,29	0,31	0,29	94	33	94	33
0,17	0,91	0,91	0,33	0,30	0,33	0,30	98	32	98	32
0,18	0,94	0,94	0,34	0,31	0,34	0,31	102	32	102	32
0,19	0,97	0,97	0,36	0,32	0,36	0,32	106	31	106	31
0,20	1,00	1,00	0,38	0,33	0,38	0,33	109	31	109	31
0,22	1,07	1,07	0,40	0,35	0,40	0,35	116	30	116	30
0,24	1,12	1,12	0,43	0,37	0,43	0,37	123	29	123	29
0,26	1,18	1,18	0,47	0,39	0,47	0,39	130	29	130	29
0,28	1,24	1,24	0,50	0,40	0,50	0,40	136	28	136	28
0,30	1,29	1,29	0,53	0,42	0,53	0,42	143	28	143	28
0,32	1,35	1,35	0,57	0,44	0,57	0,44	149	27	149	27
0,34	1,40	1,40	0,60	0,46	0,60	0,46	155	27	155	27
0,36	1,45	1,45	0,63	0,47	0,63	0,47	161	26	161	26
0,38	1,51	1,51	0,66	0,49	0,66	0,49	167	26	167	26
0,40	1,56	1,56	0,70	0,51	0,70	0,51	172	26	172	26
0,42	1,61	1,61	0,73	0,52	0,73	0,52	178	25	178	25
0,44	1,66	1,66	0,76	0,54	0,76	0,54	184	25	184	25
0,46	1,71	1,71	0,79	0,55	0,79	0,55	189	25	189	25
0,48	1,75	1,75	0,82	0,57	0,82	0,57	194	24	194	24
0,50	1,80	1,80	0,85	0,58	0,85	0,58	200	24	200	24
0,55	1,92	1,92	0,89	0,59	0,89	0,59	212	23	212	23
0,60	2,03	2,03	0,96	0,63	0,96	0,63	225	23	225	23
0,65	2,15	2,15	1,04	0,66	1,04	0,66	237	22	237	22
0,70	2,25	2,25	1,11	0,69	1,11	0,69	249	22	249	22
0,75	2,36	2,36	1,19	0,72	1,19	0,72	260	21	260	21
0,80	2,47	2,47	1,26	0,75	1,26	0,75	271	21	271	21
0,85	2,57	2,57	1,34	0,78	1,34	0,78	282	20	282	20
0,90	2,68	2,68	1,41	0,81	1,41	0,81	292	20	292	20
0,95	2,78	2,78	1,48	0,83	1,48	0,83	303	20	303	20
1,00	2,88	2,88	1,56	0,86	1,56	0,86	313	19	313	19
			1,63	0,89	1,63	0,89				

## Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso ( $0 < \sigma_3 < 1 \text{ MPa}$ )

**Tunnel di Fontanabuona  
Ferrada**

**RG 1 - parametri medi**



**Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown**

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	30,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,0
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	10,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>25</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,16	0,16
	$s$ [-]	1,9E-05	1,9E-05
	$a$ [-]	0,53	0,53
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,00	0,00
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,09	0,09
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	1,32	1,32
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	0,84 - 0,61	

**DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOMECCANICI DI RESISTENZA E DEFORMABILITA'**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanabuona
<b>Località</b>	Case Liteglia
<b>Data</b>	14/09/11
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 2 - parametri medi

**Litologia e descrizione geologica generale**

Siltiti grigio-verdastre con intercalazioni di spessore decimetrico di calcareniti fini grigiastre intensamente tettonizzate, con sviluppo di pieghe strizzate e strutture fluidali. [Scisti Manganesiferi]

**Tipo di ammasso roccioso secondo la classificazione di Hoek e Marinos, 2000 e parametri di base del materiale roccia**

tipo ammasso	alternanze	classe	F	litotipo a	litotipo b
resistenza a compressione monoassiale		$\sigma_{ci}$ [MPa]		-	49
parametro dell'inviluppo di rottura		$m_i$ [-]		-	7
rapporto del modulo		MR [-]		-	250
percentuale relativa		[%]		16	84

**Parametri del materiale roccia assunti per la classificazione e la parametrizzazione**

resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	49,0
parametro dell'inviluppo di rottura	$m_i$ [-]	7
rapporto del modulo	MR [-]	250

**Q System (Grimstad e Barton, 1993)**

RQD	$J_r$	$J_w$
[%]	[-]	[-]
10	2,0	1,0

**RQD** : Rock Quality Designation       **$J_w$**  : Joint Water Reduction Factor

**$J_n$**  : Joint Set Number

**SRF** : Stress Reduction Factor

**$J_r$**  : Joint Roughness Number

$J_n$	$J_a$	SRF
[-]	[-]	[-]
15,0	1,0	2,5

**$J_a$**  : Joint Alteration Number

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
Q'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
1,33	D	scadente

**Q'** : indice di qualità intrinseco dell'ammasso roccioso ( $J_w = 1$  e  $SRF = 1$ )

**RMR System - Geomechanics Classification (Bieniawski, 1989)**

Resistenza a compressione monoassiale $\sigma_{ci}$ [MPa]		
	49	6
Rock Quality Designation RQD [%]	10	4
N° di famiglie di discontinuità [-]	3	
Spaziatura delle discontinuità [cm]	1	5
Condizioni delle discontinuità:		
lunghezza [m]	20	0
apertura [mm]	chiusa	6
rugosità:		
descrizione [-]	debolmente rugose	
JRC [-]	10	3
riempimento:		
tipo [-]	assente	
spessore [mm]	-	6
alterazione [-]	debolmente alterate	5
Condizioni idriche [-]	umido	10

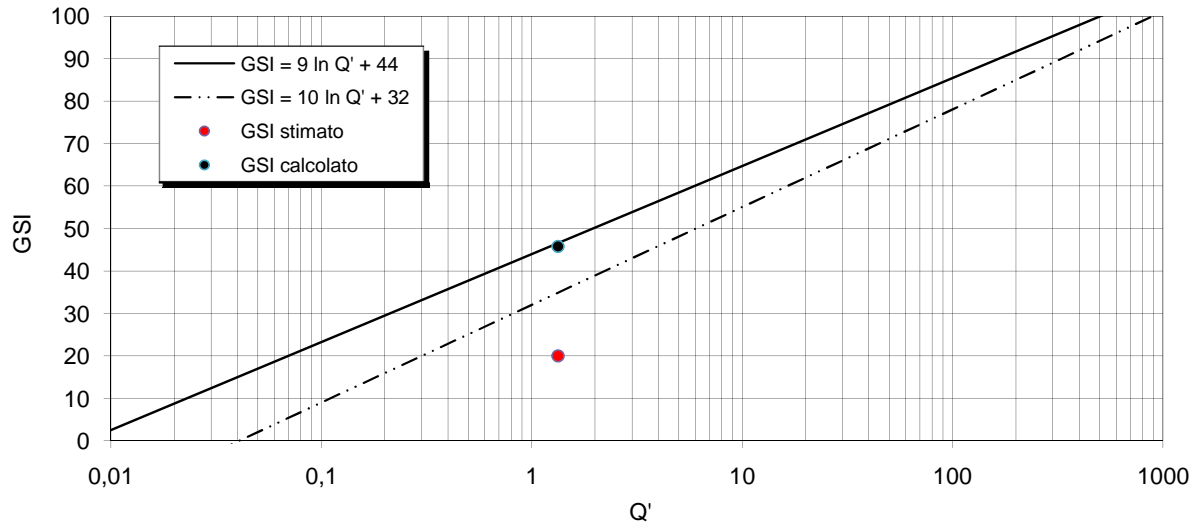
**Rock Mass Rating intrinseco**      **RMR'**      **50**

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
RMR'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
50	III	discreta

Geological Strength Index (Hoek e Marinos., 2000)	GSI	calcolato	46
		stimato	20



### Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso



### PARAMETRI GEOMECCANICI

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	49,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,2
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	7
rapporto del modulo	$MR$ [-]	250

Coefficiente di disturbo	$D$ [-]	0,7
--------------------------	---------	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,09
	$s$ [-]	9,2E-06
	$a$ [-]	0,54
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,09
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	1,42

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,09
	$s$ [-]	9,2E-06
	$a$ [-]	0,54
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,09
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	1,42

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb

$$\tau = c' + \sigma \text{tg} \varphi'$$

Campo tensionale di validità [MPa]	0,0	0,1
------------------------------------	-----	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	40,09
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,03

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	40,09
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,03

#### Modulo di deformabilità

(Serafim e Pereira, 1983; Hoek et al., 2002)	$E_m$ [GPa]	0,81
(Hoek e Diederichs, 2006)	$E_m$ [GPa]	0,32

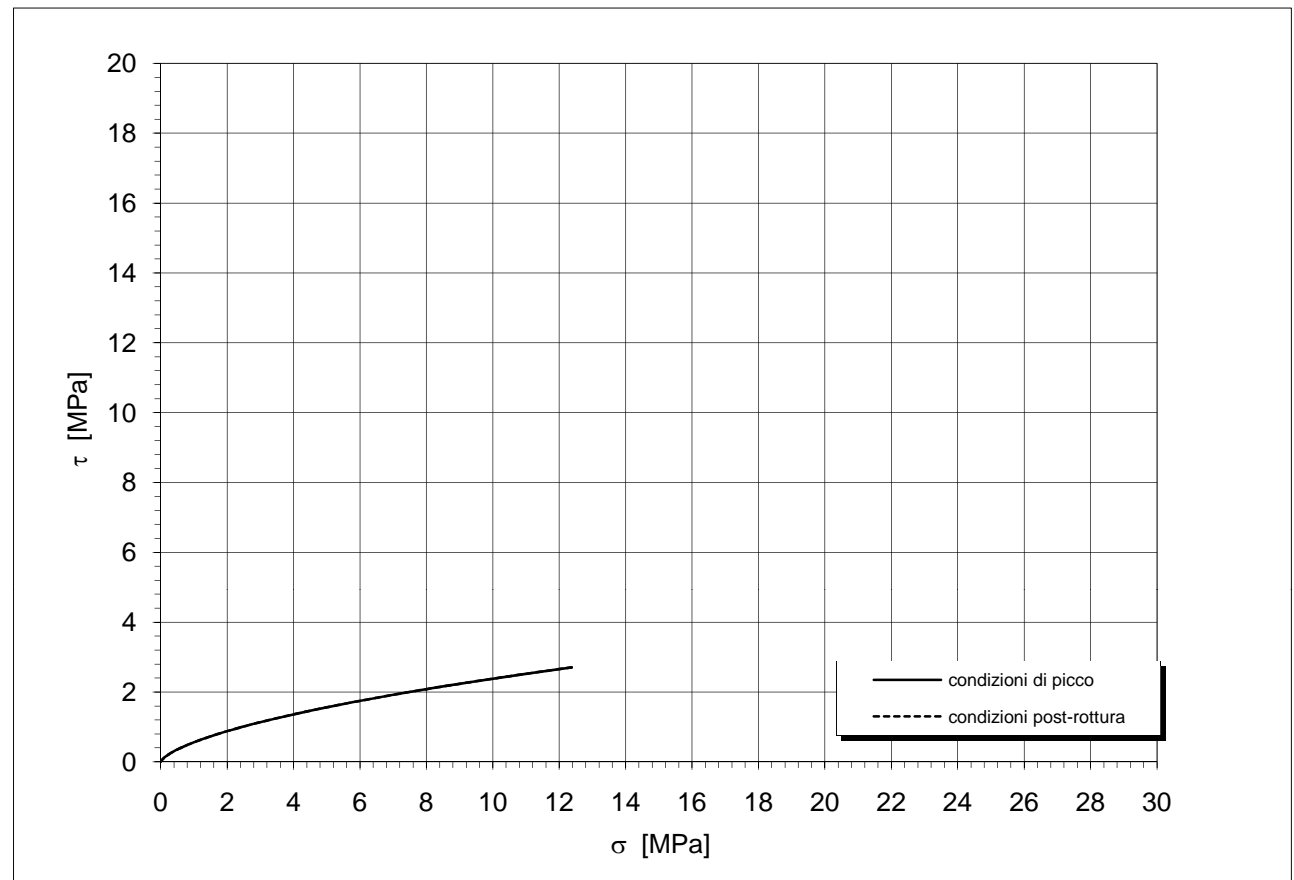
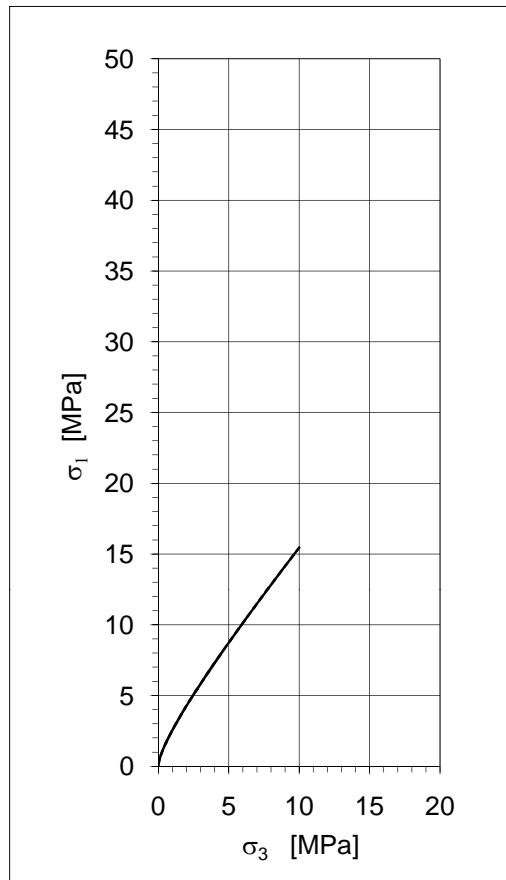
**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO**

$\sigma_3$ [MPa]	picco	post- rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [MPa]	$\varphi_i$ [°]	$c_i$ [MPa]	$\varphi_i$ [°]
0,00	0,09	0,09	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	55	0,01	55
0,05	0,37	0,37	0,01	0,03	0,01	0,03	0,04	38	0,04	38
0,10	0,56	0,56	0,11	0,13	0,11	0,13	0,06	33	0,06	33
0,15	0,72	0,72	0,20	0,19	0,20	0,19	0,08	30	0,08	30
0,20	0,86	0,86	0,29	0,25	0,29	0,25	0,09	28	0,09	28
0,25	0,99	0,99	0,38	0,29	0,38	0,29	0,11	26	0,11	26
0,30	1,12	1,12	0,46	0,33	0,46	0,33	0,12	25	0,12	25
0,35	1,24	1,24	0,54	0,37	0,54	0,37	0,13	24	0,13	24
0,40	1,35	1,35	0,61	0,41	0,61	0,41	0,15	23	0,15	23
0,45	1,47	1,47	0,69	0,44	0,69	0,44	0,16	22	0,16	22
0,50	1,58	1,58	0,77	0,47	0,77	0,47	0,17	22	0,17	22
0,60	1,79	1,79	0,84	0,50	0,84	0,50	0,19	20	0,19	20
0,70	1,99	1,99	0,99	0,56	0,99	0,56	0,21	19	0,21	19
0,80	2,19	2,19	1,13	0,61	1,13	0,61	0,23	19	0,23	19
0,90	2,38	2,38	1,27	0,66	1,27	0,66	0,25	18	0,25	18
1,00	2,56	2,56	1,41	0,70	1,41	0,70	0,26	17	0,26	17
1,10	2,75	2,75	1,55	0,75	1,55	0,75	0,28	17	0,28	17
1,20	2,93	2,93	1,69	0,79	1,69	0,79	0,30	16	0,30	16
1,30	3,10	3,10	1,82	0,83	1,82	0,83	0,31	16	0,31	16
1,40	3,28	3,28	1,95	0,87	1,95	0,87	0,33	15	0,33	15
1,50	3,45	3,45	2,09	0,90	2,09	0,90	0,34	15	0,34	15
1,60	3,62	3,62	2,22	0,94	2,22	0,94	0,36	15	0,36	15
1,70	3,78	3,78	2,35	0,97	2,35	0,97	0,37	14	0,37	14
1,80	3,95	3,95	2,48	1,01	2,48	1,01	0,38	14	0,38	14
1,90	4,11	4,11	2,61	1,04	2,61	1,04	0,40	14	0,40	14
2,00	4,28	4,28	2,74	1,07	2,74	1,07	0,41	14	0,41	14
2,20	4,60	4,60	2,87	1,11	2,87	1,11	0,43	13	0,43	13
2,40	4,91	4,91	3,12	1,17	3,12	1,17	0,46	13	0,46	13
2,60	5,22	5,22	3,38	1,22	3,38	1,22	0,48	12	0,48	12
2,80	5,53	5,53	3,63	1,28	3,63	1,28	0,50	12	0,50	12
3,00	5,84	5,84	3,88	1,34	3,88	1,34	0,53	12	0,53	12
3,20	6,14	6,14	4,13	1,39	4,13	1,39	0,55	12	0,55	12
3,40	6,43	6,43	4,38	1,44	4,38	1,44	0,57	11	0,57	11
3,60	6,73	6,73	4,62	1,49	4,62	1,49	0,59	11	0,59	11
3,80	7,02	7,02	4,87	1,54	4,87	1,54	0,61	11	0,61	11
4,00	7,31	7,31	5,11	1,58	5,11	1,58	0,63	11	0,63	11
4,20	7,60	7,60	5,35	1,63	5,35	1,63	0,65	10	0,65	10
4,40	7,89	7,89	5,59	1,67	5,59	1,67	0,67	10	0,67	10
4,60	8,18	8,18	5,84	1,72	5,84	1,72	0,68	10	0,68	10
4,80	8,46	8,46	6,08	1,76	6,08	1,76	0,70	10	0,70	10
5,00	8,74	8,74	6,32	1,80	6,32	1,80	0,72	10	0,72	10
5,50	9,44	9,44	6,55	1,84	6,55	1,84	0,76	9	0,76	9
6,00	10,13	10,13	7,15	1,94	7,15	1,94	0,80	9	0,80	9
6,50	10,81	10,81	7,74	2,04	7,74	2,04	0,84	9	0,84	9
7,00	11,49	11,49	8,33	2,13	8,33	2,13	0,88	9	0,88	9
7,50	12,16	12,16	8,91	2,22	8,91	2,22	0,92	8	0,92	8
8,00	12,83	12,83	9,49	2,31	9,49	2,31	0,96	8	0,96	8
8,50	13,49	13,49	10,07	2,39	10,07	2,39	0,99	8	0,99	8
9,00	14,15	14,15	10,65	2,47	10,65	2,47	1,03	8	1,03	8
9,50	14,80	14,80	11,23	2,55	11,23	2,55	1,06	8	1,06	8
10,00	15,45	15,45	11,80	2,63	11,80	2,63	1,09	7	1,09	7

## Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso

**Tunnel di Fontanabuona  
Case Liteglia**

**RG 2 - parametri medi**



**Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown**

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	49,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,2
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	7,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>20</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura			
	$m_b$ [-]	0,09	0,09
	$s$ [-]	9,2E-06	9,2E-06
	$a$ [-]	0,54	0,54
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,01	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,09	0,09
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	1,42	1,42
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	0,81 - 0,32	

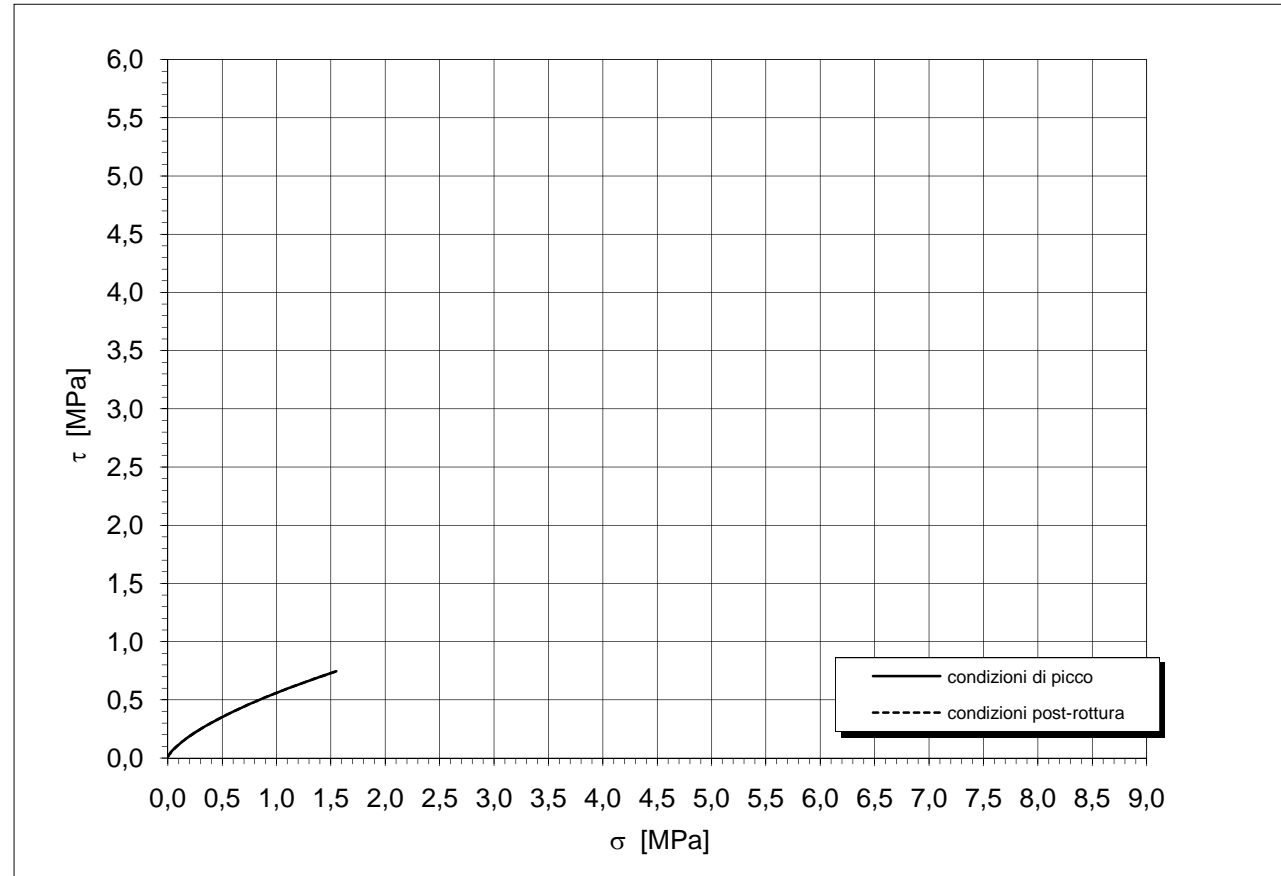
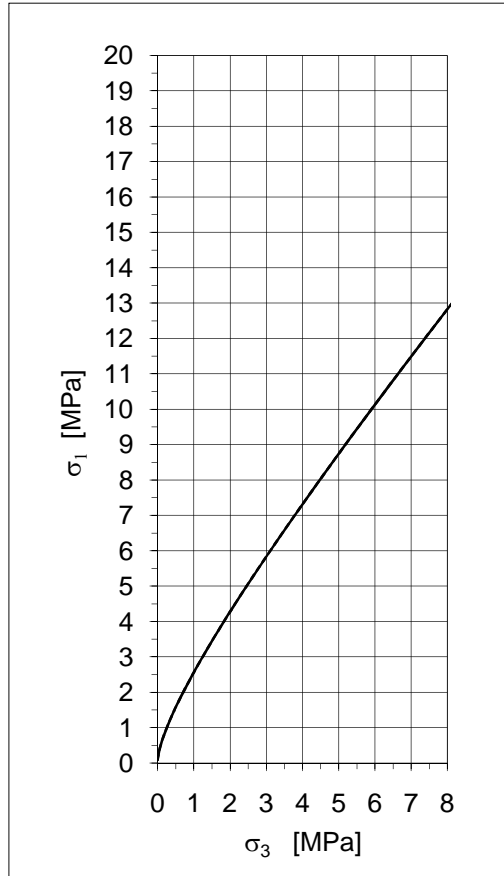
**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO ( $\sigma_3 = 0 - 1 \text{ MPa}$ )**

	picco	post-rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
$\sigma_3$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]
0,00	0,09	0,09	0,00	0,01	0,00	0,01	14	55	14	55
0,01	0,17	0,17	0,03	0,05	0,03	0,05	20	48	20	48
0,02	0,23	0,23	0,05	0,08	0,05	0,08	25	44	25	44
0,03	0,28	0,28	0,07	0,09	0,07	0,09	31	41	31	41
0,04	0,33	0,33	0,09	0,11	0,09	0,11	36	39	36	39
0,05	0,37	0,37	0,11	0,13	0,11	0,13	40	38	40	38
0,06	0,41	0,41	0,13	0,14	0,13	0,14	44	37	44	37
0,07	0,45	0,45	0,15	0,16	0,15	0,16	49	35	49	35
0,08	0,49	0,49	0,17	0,17	0,17	0,17	53	34	53	34
0,09	0,52	0,52	0,19	0,18	0,19	0,18	57	34	57	34
0,10	0,56	0,56	0,20	0,19	0,20	0,19	60	33	60	33
0,11	0,59	0,59	0,22	0,20	0,22	0,20	64	32	64	32
0,12	0,62	0,62	0,24	0,21	0,24	0,21	68	31	68	31
0,13	0,66	0,66	0,26	0,23	0,26	0,23	71	31	71	31
0,14	0,69	0,69	0,27	0,24	0,27	0,24	74	30	74	30
0,15	0,72	0,72	0,29	0,25	0,29	0,25	78	30	78	30
0,16	0,75	0,75	0,31	0,26	0,31	0,26	81	29	81	29
0,17	0,77	0,77	0,33	0,26	0,33	0,26	84	29	84	29
0,18	0,80	0,80	0,34	0,27	0,34	0,27	87	29	87	29
0,19	0,83	0,83	0,36	0,28	0,36	0,28	90	28	90	28
0,20	0,86	0,86	0,38	0,29	0,38	0,29	93	28	93	28
0,22	0,91	0,91	0,41	0,31	0,41	0,31	99	27	99	27
0,24	0,97	0,97	0,44	0,32	0,44	0,32	105	26	105	26
0,26	1,02	1,02	0,47	0,34	0,47	0,34	111	26	111	26
0,28	1,07	1,07	0,50	0,36	0,50	0,36	116	25	116	25
0,30	1,12	1,12	0,54	0,37	0,54	0,37	121	25	121	25
0,32	1,17	1,17	0,57	0,39	0,57	0,39	127	24	127	24
0,34	1,21	1,21	0,60	0,40	0,60	0,40	132	24	132	24
0,36	1,26	1,26	0,63	0,41	0,63	0,41	137	24	137	24
0,38	1,31	1,31	0,66	0,43	0,66	0,43	142	23	142	23
0,40	1,35	1,35	0,69	0,44	0,69	0,44	146	23	146	23
0,42	1,40	1,40	0,72	0,45	0,72	0,45	151	23	151	23
0,44	1,44	1,44	0,75	0,46	0,75	0,46	156	22	156	22
0,46	1,49	1,49	0,78	0,48	0,78	0,48	160	22	160	22
0,48	1,53	1,53	0,81	0,49	0,81	0,49	165	22	165	22
0,50	1,58	1,58	0,84	0,50	0,84	0,50	169	22	169	22
0,55	1,68	1,68	0,91	0,53	0,91	0,53	180	21	180	21
0,60	1,79	1,79	0,99	0,56	0,99	0,56	190	20	190	20
0,65	1,89	1,89	1,06	0,58	1,06	0,58	200	20	200	20
0,70	1,99	1,99	1,13	0,61	1,13	0,61	210	19	210	19
0,75	2,09	2,09	1,20	0,63	1,20	0,63	220	19	220	19
0,80	2,19	2,19	1,27	0,66	1,27	0,66	229	19	229	19
0,85	2,28	2,28	1,34	0,68	1,34	0,68	238	18	238	18
0,90	2,38	2,38	1,41	0,70	1,41	0,70	247	18	247	18
0,95	2,47	2,47	1,48	0,72	1,48	0,72	256	18	256	18
1,00	2,56	2,56	1,55	0,75	1,55	0,75	264	17	264	17

## Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso ( $0 < \sigma_3 < 1 \text{ MPa}$ )

**Tunnel di Fontanabuona  
Case Liteglia**

**RG 2 - parametri medi**



### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	49,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,2
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	7,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>20</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,09	0,09
	$s$ [-]	9,2E-06	9,2E-06
	$a$ [-]	0,54	0,54
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,01	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,09	0,09
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	1,42	1,42
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	0,81 - 0,32	

**DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOMECCANICI DI RESISTENZA E DEFORMABILITA'**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanabuona
<b>Località</b>	Rio della Prè
<b>Data</b>	14/09/11
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 3 - parametri medi

**Litologia e descrizione geologica generale**

Marne calcaree nerastre, nocciola in alterazione in strati da centimetrici a decimetrici. [Ardesie di Monte Verzi]

**Tipo di ammasso roccioso secondo la classificazione di Hoek e Marinos, 2000 e parametri di base del materiale roccia**

tipo ammasso	omogeneo	classe	VB	litotipo a	litotipo b
resistenza a compressione monoassiale		$\sigma_{ci}$ [MPa]		70	-
parametro dell'inviluppo di rottura		$m_i$ [-]		7	-
rapporto del modulo		MR [-]		200	-
percentuale relativa		[%]		100	0

**Parametri del materiale roccia assunti per la classificazione e la parametrizzazione**

resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	70,0
parametro dell'inviluppo di rottura	$m_i$ [-]	7
rapporto del modulo	MR [-]	200

**Q System (Grimstad e Barton, 1993)**

RQD	$J_r$	$J_w$
[%]	[-]	[-]
10	1,0	1,0

**RQD** : Rock Quality Designation       **$J_w$**  : Joint Water Reduction Factor

**$J_n$**  : Joint Set Number

**SRF** : Stress Reduction Factor

**$J_r$**  : Joint Roughness Number

$J_n$	$J_a$	SRF
[-]	[-]	[-]
12,0	1,0	2,5

**$J_a$**  : Joint Alteration Number

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
Q'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
0,83	E	molto scadente

**Q'** : indice di qualità intrinseco dell'ammasso roccioso ( $J_w = 1$  e  $SRF = 1$ )

**RMR System - Geomechanics Classification (Bieniawski, 1989)**

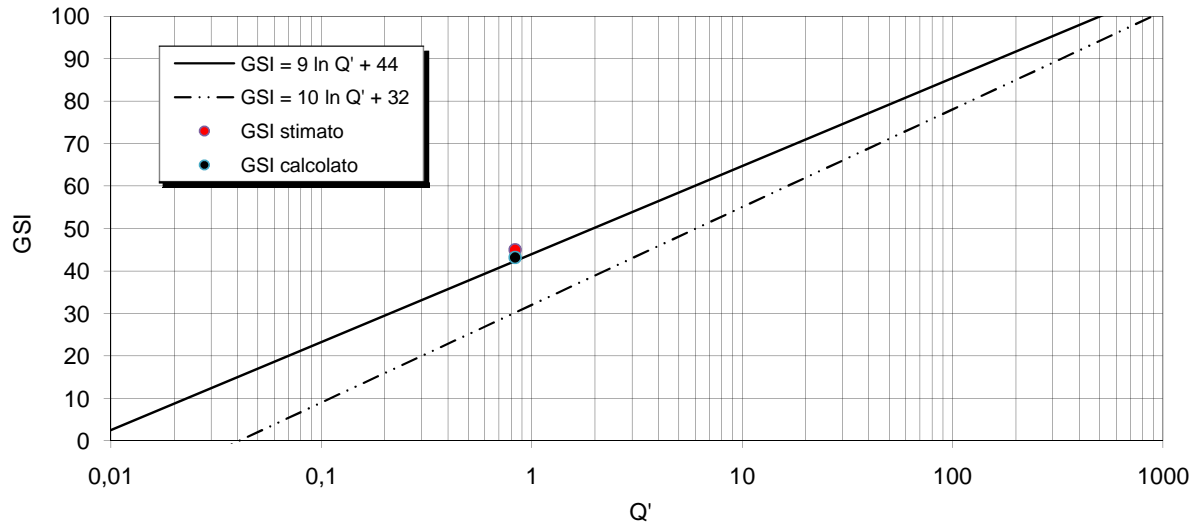
Resistenza a compressione monoassiale $\sigma_{ci}$ [MPa]		
	70	7
Rock Quality Designation RQD [%]	10	4
N° di famiglie di discontinuità	4	
Spaziatura delle discontinuità [cm]	1	5
Condizioni delle discontinuità:		
lunghezza [m]	20	0
apertura [mm]	chiusa	6
rugosità:		
descrizione		
JRC	4	1
riempimento:		
tipo		
spessore [mm]	assente	6
alterazione	-	5
alterazione	debolmente alterate	5
Condizioni idriche	umido	10

**Rock Mass Rating intrinseco**      **RMR'**      **49**

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
RMR'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
49	III	discreta

Geological Strength Index (Hoek e Marinos., 2000)	GSI	calcolato	43
		stimato	45

### Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso



### PARAMETRI GEOMECCANICI

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	70,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,3
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	7
rapporto del modulo	$MR$ [-]	200

Coefficiente di disturbo	$D$ [-]	0,7
--------------------------	---------	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,34
	$s$ [-]	3,5E-04
	$a$ [-]	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,07
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	1,22
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	5,29

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,11
	$s$ [-]	3,5E-05
	$a$ [-]	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,02
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,38
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	2,97

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb

$$\tau = c' + \sigma \text{tg} \varphi'$$

Campo tensionale di validità [MPa]	0,0	0,1
------------------------------------	-----	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	54,89
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,18

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	48,66
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,07

#### Modulo di deformabilità

(Serafim e Pereira, 1983; Hoek et al., 2002)	$E_m$ [GPa]	4,08
(Hoek e Diederichs, 2006)	$E_m$ [GPa]	1,10

**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO**

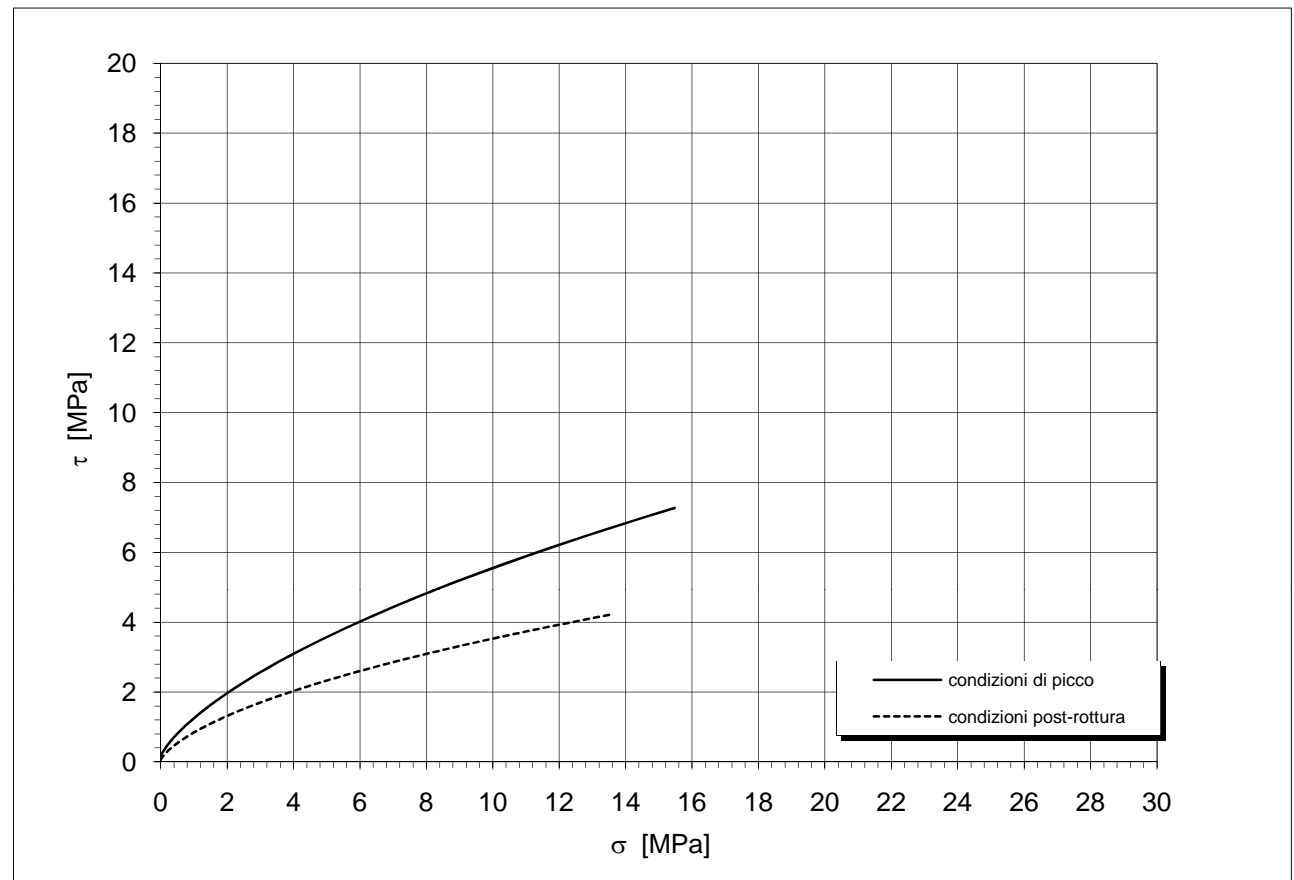
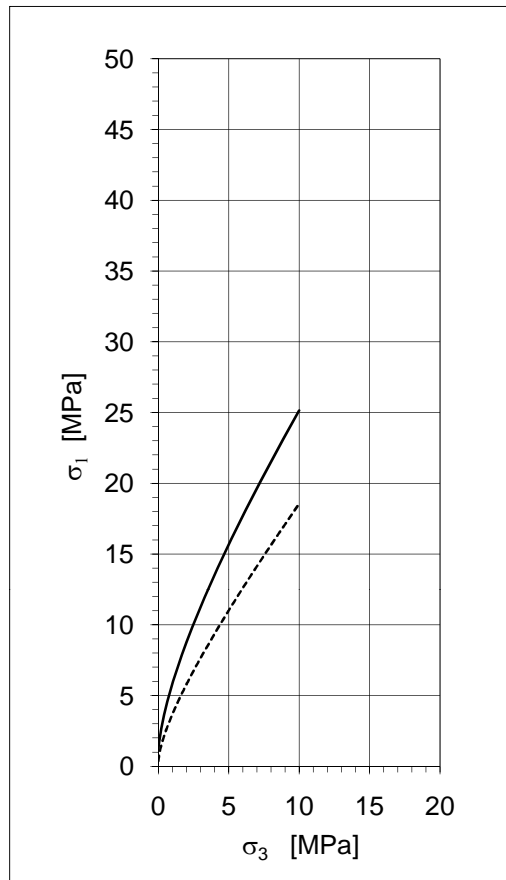
$\sigma_3$ [MPa]	picco	post- rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [MPa]	$\varphi_i$ [°]	$c_i$ [MPa]	$\varphi_i$ [°]
0,00	1,22	0,38	0,00	0,17	0,00	0,05	0,20	54	0,06	55
0,05	1,65	0,75	0,11	0,35	0,03	0,11	0,23	50	0,09	45
0,10	2,01	1,01	0,23	0,51	0,15	0,24	0,26	48	0,12	41
0,15	2,32	1,23	0,35	0,64	0,26	0,34	0,29	46	0,15	38
0,20	2,61	1,43	0,46	0,76	0,36	0,43	0,29	46	0,15	38
0,25	2,88	1,62	0,57	0,87	0,46	0,50	0,32	44	0,17	36
0,30	3,13	1,79	0,68	0,97	0,55	0,57	0,35	42	0,19	34
0,35	3,36	1,95	0,78	1,06	0,64	0,63	0,38	41	0,21	33
0,40	3,59	2,11	0,88	1,15	0,73	0,68	0,40	40	0,23	32
0,45	3,81	2,26	0,99	1,24	0,82	0,74	0,43	39	0,25	30
0,50	4,02	2,41	1,09	1,32	0,91	0,79	0,46	38	0,27	30
0,60	4,42	2,68	1,19	1,39	0,99	0,84	0,48	38	0,29	29
0,70	4,80	2,95	1,38	1,54	1,16	0,92	0,53	36	0,32	27
0,80	5,16	3,20	1,57	1,68	1,33	1,01	0,57	35	0,35	26
0,90	5,51	3,44	1,76	1,81	1,49	1,09	0,62	34	0,38	25
1,00	5,85	3,68	1,94	1,93	1,65	1,16	0,66	33	0,41	24
1,10	6,17	3,91	2,13	2,05	1,80	1,23	0,70	32	0,44	24
1,20	6,49	4,14	2,31	2,16	1,96	1,30	0,74	32	0,47	23
1,30	6,79	4,36	2,49	2,27	2,11	1,36	0,78	31	0,49	22
1,40	7,09	4,57	2,66	2,37	2,26	1,42	0,82	30	0,52	22
1,50	7,39	4,78	2,84	2,47	2,41	1,48	0,85	30	0,54	21
1,60	7,67	4,99	2,84	2,47	2,41	1,48	0,85	30	0,54	21
1,70	7,96	5,20	3,01	2,57	2,56	1,54	0,89	29	0,57	21
1,80	8,23	5,40	3,18	2,66	2,71	1,59	0,92	29	0,59	20
1,90	8,51	5,60	3,35	2,76	2,85	1,64	0,96	28	0,61	20
2,00	8,77	5,79	3,52	2,85	3,00	1,70	0,99	28	0,63	20
2,20	9,30	6,18	3,68	2,93	3,14	1,75	1,02	27	0,65	19
2,40	9,81	6,56	3,85	3,02	3,28	1,79	1,06	27	0,67	19
2,60	10,31	6,93	4,18	3,18	3,57	1,89	1,12	26	0,72	18
2,80	10,80	7,29	4,50	3,34	3,85	1,98	1,18	26	0,75	18
3,00	11,27	7,65	4,82	3,49	4,12	2,07	1,24	25	0,79	17
3,20	11,74	8,01	4,82	3,49	4,12	2,07	1,24	25	0,79	17
3,40	12,21	8,36	5,14	3,64	4,40	2,15	1,30	24	0,83	17
3,60	12,66	8,70	5,46	3,78	4,67	2,23	1,35	24	0,86	16
3,80	13,11	9,04	5,77	3,92	4,94	2,31	1,41	24	0,90	16
4,00	13,55	9,38	6,08	4,05	5,21	2,39	1,46	23	0,93	16
4,20	13,98	9,71	6,38	4,18	5,48	2,46	1,51	23	0,96	15
4,40	14,41	10,04	6,69	4,31	5,74	2,53	1,56	22	1,00	15
4,60	14,84	10,37	6,99	4,43	6,01	2,60	1,61	22	1,03	15
4,80	15,26	10,70	7,29	4,55	6,27	2,67	1,66	22	1,06	14
5,00	15,68	11,02	7,59	4,67	6,53	2,74	1,71	21	1,09	14
5,50	16,70	11,82	7,89	4,78	6,79	2,80	1,76	21	1,12	14
6,00	17,70	12,60	8,18	4,89	7,05	2,87	1,81	21	1,14	14
6,50	18,68	13,38	8,48	5,00	7,31	2,93	1,85	20	1,17	14
7,00	19,64	14,14	8,78	5,11	7,57	3,00	1,89	20	1,20	13
7,50	20,59	14,89	9,08	5,22	7,83	3,07	1,93	20	1,23	13
8,00	21,52	15,64	9,38	5,33	8,09	3,14	1,97	20	1,26	13
8,50	22,44	16,38	9,68	5,44	8,35	3,21	2,01	19	1,29	13
9,00	23,35	17,11	9,98	5,55	8,61	3,28	2,05	19	1,32	13
9,50	24,24	17,83	10,28	5,66	8,87	3,35	2,09	19	1,35	12
10,00	25,13	18,55	10,58	5,77	9,13	3,42	2,13	18	1,38	12
			11,35	6,00	9,84	3,49	2,27	18	1,43	12
			12,05	6,23	10,46	3,62	2,37	18	1,49	12
			12,74	6,45	11,08	3,75	2,47	17	1,55	11
			13,43	6,67	11,69	3,87	2,56	17	1,60	11
			14,12	6,87	12,30	3,98	2,65	17	1,66	11
			14,80	7,07	12,91	4,10	2,74	16	1,71	10
			15,48	7,27	13,51	4,21	2,82	16	1,76	10



# Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso

Tunnel di Fontanabuona  
Rio della Prè

RG 3 - parametri medi



## Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	70,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,3
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	7,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>45</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura			
	$m_b$ [-]	0,34	0,11
	$s$ [-]	3,5E-04	3,5E-05
	$a$ [-]	0,51	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,07	0,02
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	1,22	0,38
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	5,29	2,97
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	4,08 - 1,10	

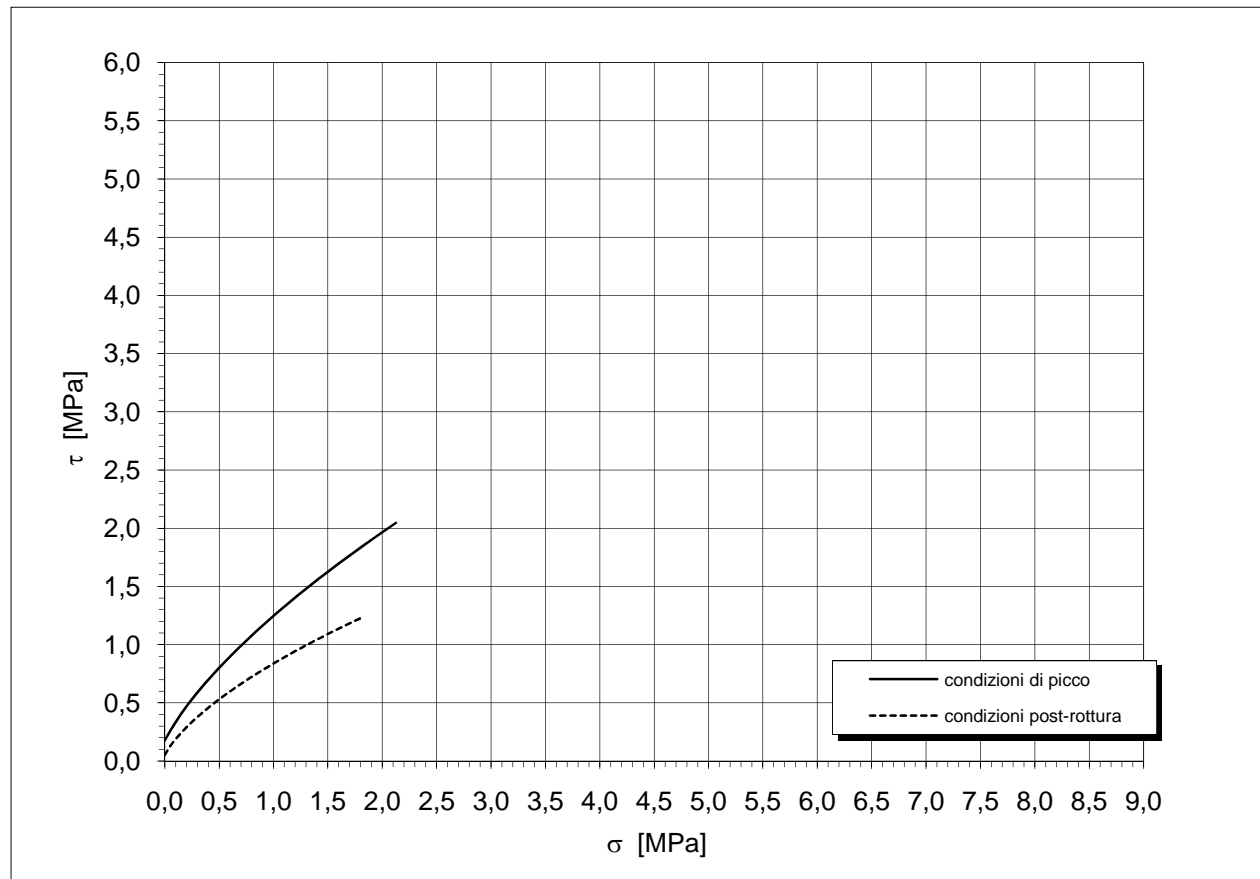
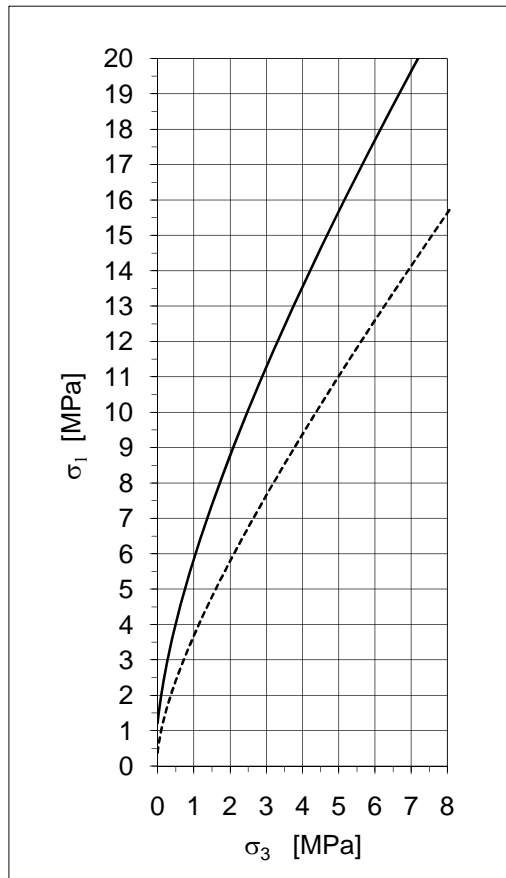
**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO ( $\sigma_3 = 0 - 1 \text{ MPa}$ )**

$\sigma_3$ [MPa]	picco	post- rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]
0,00	1,22	0,38	0,00	0,17	0,00	0,05	195	54	60	55
0,01	1,31	0,47	0,11	0,35	0,03	0,11	202	53	67	52
0,02	1,40	0,55	0,14	0,39	0,06	0,14	208	53	73	50
0,03	1,49	0,62	0,16	0,42	0,08	0,17	214	52	80	48
0,04	1,57	0,68	0,19	0,45	0,11	0,20	221	51	86	47
0,05	1,65	0,75	0,21	0,48	0,13	0,22	227	50	92	45
0,06	1,73	0,80	0,23	0,51	0,15	0,24	234	50	98	44
0,07	1,80	0,86	0,26	0,54	0,17	0,27	240	49	104	43
0,08	1,87	0,91	0,28	0,56	0,19	0,29	247	49	110	42
0,09	1,94	0,96	0,30	0,59	0,22	0,31	253	48	115	42
0,10	1,99	1,01	0,33	0,62	0,24	0,33	259	48	121	41
0,11	2,01	1,06	0,35	0,64	0,26	0,34	266	47	126	40
0,12	2,07	1,10	0,37	0,67	0,28	0,36	272	47	132	40
0,13	2,14	1,15	0,39	0,69	0,30	0,38	278	46	137	39
0,14	2,20	1,19	0,42	0,71	0,32	0,39	284	46	142	39
0,15	2,26	1,23	0,44	0,74	0,34	0,41	291	46	147	38
0,16	2,32	1,27	0,46	0,76	0,36	0,43	297	45	152	38
0,17	2,38	1,27	0,48	0,78	0,38	0,44	303	45	157	37
0,18	2,44	1,32	0,50	0,80	0,40	0,46	309	45	161	37
0,19	2,50	1,36	0,53	0,83	0,42	0,47	315	44	166	36
0,20	2,55	1,40	0,55	0,85	0,44	0,49	320	44	171	36
0,22	2,61	1,43	0,57	0,87	0,46	0,50	322	43	180	35
0,24	2,72	1,51	0,61	0,91	0,49	0,53	332	43	189	34
0,26	2,82	1,58	0,66	0,95	0,53	0,55	344	42	197	34
0,28	2,93	1,65	0,70	0,99	0,57	0,58	355	42	206	33
0,30	3,03	1,72	0,74	1,03	0,61	0,60	366	41	214	33
0,32	3,13	1,79	0,78	1,06	0,64	0,63	377	41	222	32
0,34	3,22	1,86	0,82	1,10	0,68	0,65	388	41	230	32
0,36	3,32	1,92	0,86	1,13	0,71	0,67	399	40	238	31
0,38	3,41	1,99	0,91	1,17	0,75	0,69	409	40	246	31
0,40	3,50	2,05	0,95	1,20	0,79	0,72	420	40	253	30
0,42	3,59	2,11	0,99	1,24	0,82	0,74	430	39	261	30
0,44	3,68	2,17	1,03	1,27	0,86	0,76	441	39	268	30
0,46	3,77	2,23	1,07	1,30	0,89	0,78	451	38	275	29
0,48	3,85	2,29	1,11	1,33	0,93	0,80	461	38	282	29
0,50	3,94	2,35	1,15	1,36	0,96	0,82	471	38	289	29
0,55	4,02	2,41	1,19	1,39	0,99	0,84	480	37	306	28
0,60	4,22	2,55	1,28	1,47	1,08	0,88	505	36	323	27
0,65	4,42	2,68	1,38	1,54	1,16	0,92	528	36	339	27
0,70	4,61	2,82	1,48	1,61	1,25	0,97	551	35	355	26
0,75	4,80	2,95	1,57	1,68	1,33	1,01	574	35	370	26
0,80	4,98	3,07	1,67	1,74	1,41	1,05	596	34	385	25
0,85	5,16	3,20	1,76	1,81	1,49	1,09	618	34	399	25
0,90	5,34	3,32	1,85	1,87	1,57	1,12	639	33	414	24
0,95	5,51	3,44	1,94	1,93	1,65	1,16	660	33	428	24
1,00	5,68	3,56	2,04	1,99	1,73	1,19	681	32	441	24

## Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso ( $0 < \sigma_3 < 1 \text{ MPa}$ )

**Tunnel di Fontanabuona  
Rio della Prè**

**RG 3 - parametri medi**



**Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown**

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	70,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,3
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	7,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>45</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,34	0,11
	$s$ [-]	3,5E-04	3,5E-05
	$a$ [-]	0,51	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,07	0,02
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	1,22	0,38
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	5,29	2,97
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	4,08 - 1,10	

**DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOMECCANICI DI RESISTENZA E DEFORMABILITA'**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanabuona
<b>Località</b>	Rio della Prè
<b>Data</b>	14/09/11
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 4 - parametri medi

**Litologia e descrizione geologica generale**

Alternanze di calcari marnosi grigio scuro in strati da decimetrici a metrici, marne siltose e siltiti marnose laminate in livelli di spessore da centimetrico a metrico. [Formazione di Monte Antola]

**Tipo di ammasso roccioso secondo la classificazione di Hoek e Marinos, 2000 e parametri di base del materiale roccia**

tipo ammasso	alternanze	classe	C	litotipo a	litotipo b
resistenza a compressione monoassiale			$\sigma_{ci}$ [MPa]	116	50
parametro dell'inviluppo di rottura			$m_i$ [-]	8	7
rapporto del modulo			MR [-]	900	375
percentuale relativa			[%]	73	27

**Parametri del materiale roccia assunti per la classificazione e la parametrizzazione**

resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	98,2
parametro dell'inviluppo di rottura	$m_i$ [-]	7,73
rapporto del modulo	MR [-]	758,25

**Q System (Grimstad e Barton, 1993)**

RQD	$J_r$	$J_w$
[%]	[-]	[-]
35	2,0	1,0

**RQD** : Rock Quality Designation       **$J_w$**  : Joint Water Reduction Factor

**$J_n$**  : Joint Set Number

**SRF** : Stress Reduction Factor

**$J_r$**  : Joint Roughness Number

$J_n$	$J_a$	SRF
[-]	[-]	[-]
12,0	5,0	2,5

**$J_a$**  : Joint Alteration Number

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
Q'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
1,17	D	scadente

**Q'** : indice di qualità intrinseco dell'ammasso roccioso ( $J_w = 1$  e  $SRF = 1$ )

**RMR System - Geomechanics Classification (Bieniawski, 1989)**

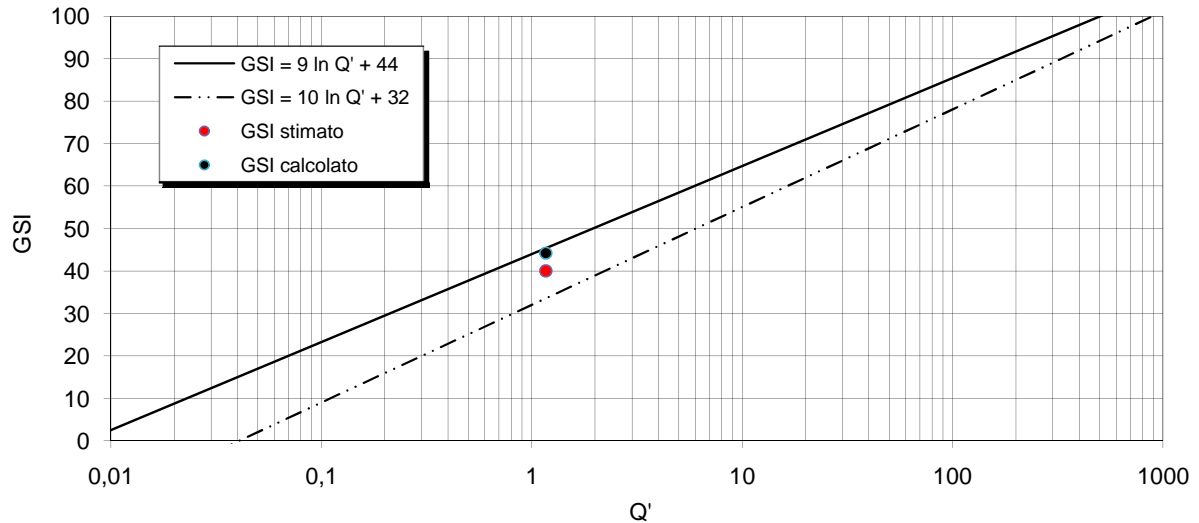
Resistenza a compressione monoassiale $\sigma_{ci}$ [MPa]	98	9
Rock Quality Designation RQD [%]	35	7
N° di famiglie di discontinuità [-]	4	7
Spaziatura delle discontinuità [cm]	30	9
Condizioni delle discontinuità:		
lunghezza [m]	20	0
apertura [mm]	10	0
rugosità:		
descrizione [-]	lisce	
JRC [-]	6	1
riempimento:		
tipo [-]	duro	
spessore [mm]	10	2
alterazione [-]	debolmente alterate	5
Condizioni idriche [-]	umido	10

**Rock Mass Rating intrinseco**      **RMR'**      **48**

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
RMR'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
48	III	discreta

Geological Strength Index (Hoek e Marinos., 2000)	GSI	calcolato	44
		stimato	40

### Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso



### PARAMETRI GEOMECCANICI

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	98,2
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	7,73
rapporto del modulo	$MR$ [-]	758,25

Coefficiente di disturbo	$D$ [-]	0,7
--------------------------	---------	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,29
	$s$ [-]	1,7E-04
	$a$ [-]	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,06
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	1,15
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	6,62

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,14
	$s$ [-]	1,7E-05
	$a$ [-]	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,35
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	4,51

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb

$$\tau = c' + \sigma \operatorname{tg} \varphi'$$

Campo tensionale di validità [MPa]	0,0	0,1
------------------------------------	-----	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	56,29
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,16

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	53,16
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,06

#### Modulo di deformabilità

(Serafim e Pereira, 1983; Hoek et al., 2002)	$E_m$ [GPa]	3,62
(Hoek e Diederichs, 2006)	$E_m$ [GPa]	4,33

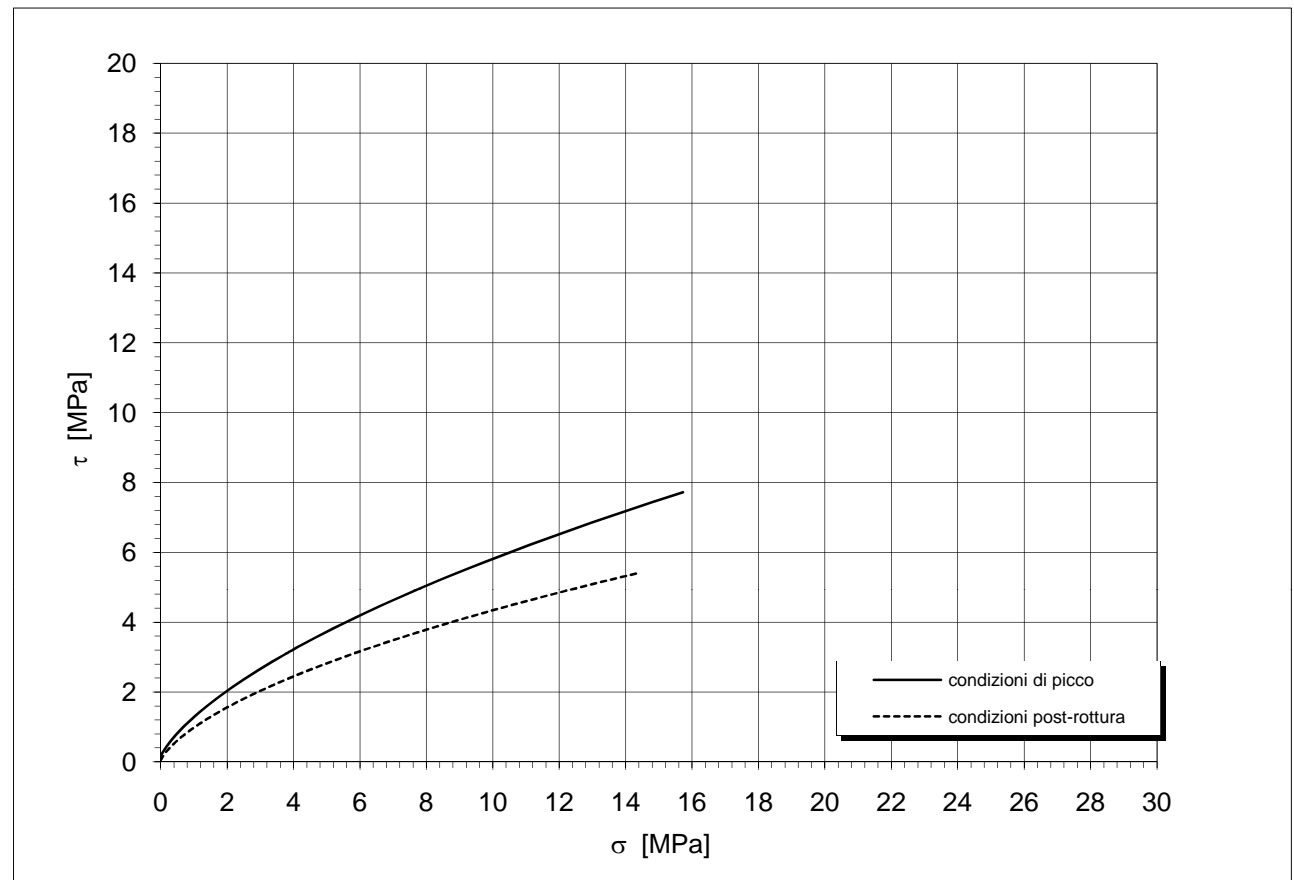
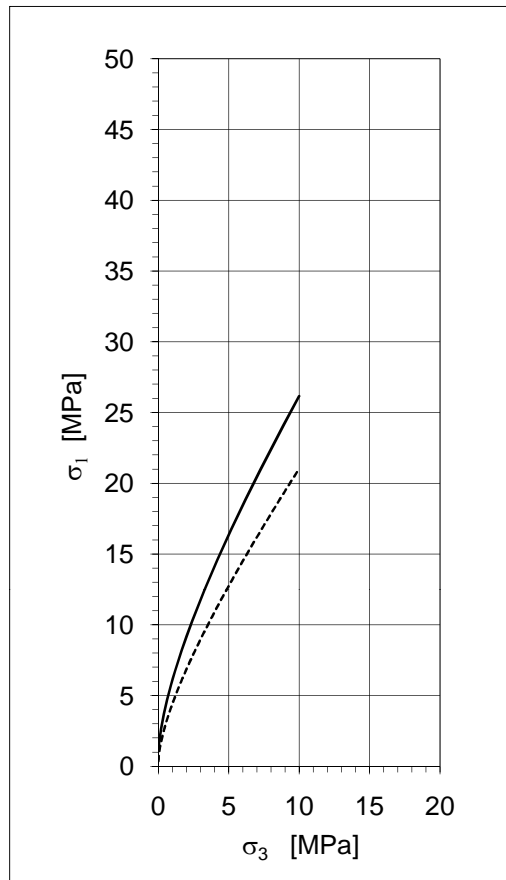
**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO**

$\sigma_3$ [MPa]	picco	post- rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [MPa]	$\varphi_i$ [°]	$c_i$ [MPa]	$\varphi_i$ [°]
0,00	1,15	0,35	0,00	0,15	0,00	0,04	0,17	57	0,04	62
0,05	1,63	0,87	0,09	0,32	0,02	0,08	0,21	52	0,09	51
0,10	2,03	1,21	0,22	0,49	0,14	0,26	0,24	49	0,12	46
0,15	2,37	1,49	0,33	0,63	0,26	0,39	0,27	47	0,15	43
0,20	2,68	1,74	0,45	0,76	0,37	0,49	0,27	47	0,15	43
0,25	2,96	1,96	0,56	0,87	0,47	0,58	0,31	45	0,18	41
0,30	3,23	2,17	0,67	0,98	0,57	0,67	0,34	44	0,21	39
0,35	3,48	2,37	0,77	1,08	0,67	0,75	0,37	43	0,24	37
0,40	3,72	2,56	0,88	1,17	0,77	0,82	0,40	42	0,26	36
0,45	3,96	2,74	0,98	1,26	0,86	0,89	0,42	41	0,28	35
0,50	4,18	2,92	1,08	1,35	0,96	0,95	0,45	40	0,31	34
0,60	4,60	3,25	1,18	1,43	1,05	1,01	0,48	39	0,33	33
0,70	5,00	3,56	1,38	1,59	1,23	1,13	0,53	38	0,37	32
0,80	5,38	3,86	1,58	1,73	1,41	1,23	0,57	36	0,41	30
0,90	5,75	4,14	1,77	1,87	1,58	1,33	0,62	35	0,44	29
1,00	6,10	4,42	1,96	2,00	1,75	1,43	0,66	34	0,48	28
1,10	6,44	4,69	2,14	2,13	1,92	1,52	0,71	34	0,51	28
1,20	6,78	4,95	2,33	2,25	2,08	1,60	0,75	33	0,54	27
1,30	7,10	5,21	2,51	2,36	2,25	1,68	0,79	32	0,58	26
1,40	7,41	5,46	2,69	2,47	2,41	1,76	0,83	31	0,61	26
1,50	7,72	5,70	2,86	2,58	2,57	1,84	0,87	31	0,64	25
1,60	8,02	5,94	2,86	2,68	2,73	1,91	0,90	30	0,67	25
1,70	8,32	6,18	3,04	2,78	2,89	1,98	0,94	30	0,69	24
1,80	8,61	6,41	3,21	2,88	3,04	2,05	0,98	29	0,72	24
1,90	8,89	6,64	3,39	2,98	3,20	2,12	1,01	29	0,75	23
2,00	9,17	6,86	3,56	2,98	3,20	2,12	1,01	29	0,75	23
2,20	9,72	7,30	3,73	3,07	3,35	2,18	1,05	29	0,77	23
2,40	10,25	7,74	3,90	3,16	3,50	2,25	1,08	28	0,80	22
2,60	10,77	8,16	4,23	3,16	3,50	2,25	1,08	28	0,80	22
2,80	11,28	8,57	4,42	3,34	3,81	2,37	1,15	27	0,85	22
3,00	11,78	8,98	4,56	3,51	4,10	2,49	1,21	27	0,90	21
3,20	12,27	9,38	4,89	3,67	4,40	2,60	1,27	26	0,94	21
3,40	12,75	9,77	5,21	3,83	4,69	2,71	1,33	26	0,99	20
3,60	13,22	10,16	5,53	3,98	4,98	2,81	1,39	25	1,03	20
3,80	13,69	10,54	5,85	4,12	5,27	2,92	1,45	25	1,08	19
4,00	14,15	10,92	6,16	4,27	5,56	3,01	1,51	24	1,12	19
4,20	14,60	11,30	6,48	4,41	5,84	3,11	1,56	24	1,16	18
4,40	15,05	11,67	6,79	4,54	6,12	3,20	1,61	23	1,20	18
4,60	15,49	12,03	7,10	4,67	6,40	3,29	1,67	23	1,24	18
4,80	15,93	12,40	7,40	4,80	6,68	3,38	1,72	23	1,27	18
5,00	16,36	12,76	7,71	4,93	6,96	3,47	1,77	22	1,31	17
5,50	17,42	13,64	8,01	5,05	7,23	3,55	1,82	22	1,35	17
6,00	18,46	14,51	8,31	5,17	7,51	3,64	1,87	22	1,38	17
6,50	19,47	15,37	8,61	5,29	7,78	3,72	1,92	21	1,42	16
7,00	20,47	16,21	8,95	5,41	8,05	3,80	1,97	21	1,46	16
7,50	21,45	17,04	9,35	5,57	8,45	3,91	2,03	21	1,50	16
8,00	22,41	17,86	10,08	5,85	9,12	4,10	2,15	20	1,59	15
8,50	23,37	18,67	10,81	6,11	9,79	4,28	2,26	20	1,67	15
9,00	24,30	19,47	11,53	6,36	10,45	4,46	2,36	19	1,74	15
9,50	25,23	20,26	12,24	6,61	11,10	4,62	2,46	19	1,82	14
10,00	26,15	21,05	12,95	6,84	11,75	4,79	2,56	18	1,89	14
			13,65	7,07	12,39	4,94	2,66	18	1,96	14
			14,34	7,30	13,04	5,10	2,76	18	2,03	13
			15,04	7,51	13,67	5,24	2,85	17	2,10	13
			15,72	7,72	14,31	5,39	2,94	17	2,16	13

## Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso

Tunnel di Fontanabuona  
Rio della Prè

RG 4 - parametri medi



### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	98,2
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	7,7

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>40</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura			
	$m_b$ [-]	0,29	0,14
	$s$ [-]	1,7E-04	1,7E-05
	$a$ [-]	0,51	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,06	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	1,15	0,35
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	6,62	4,51
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	3,62 - 4,33	

**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO ( $\sigma_3 = 0 - 1 \text{ MPa}$ )**

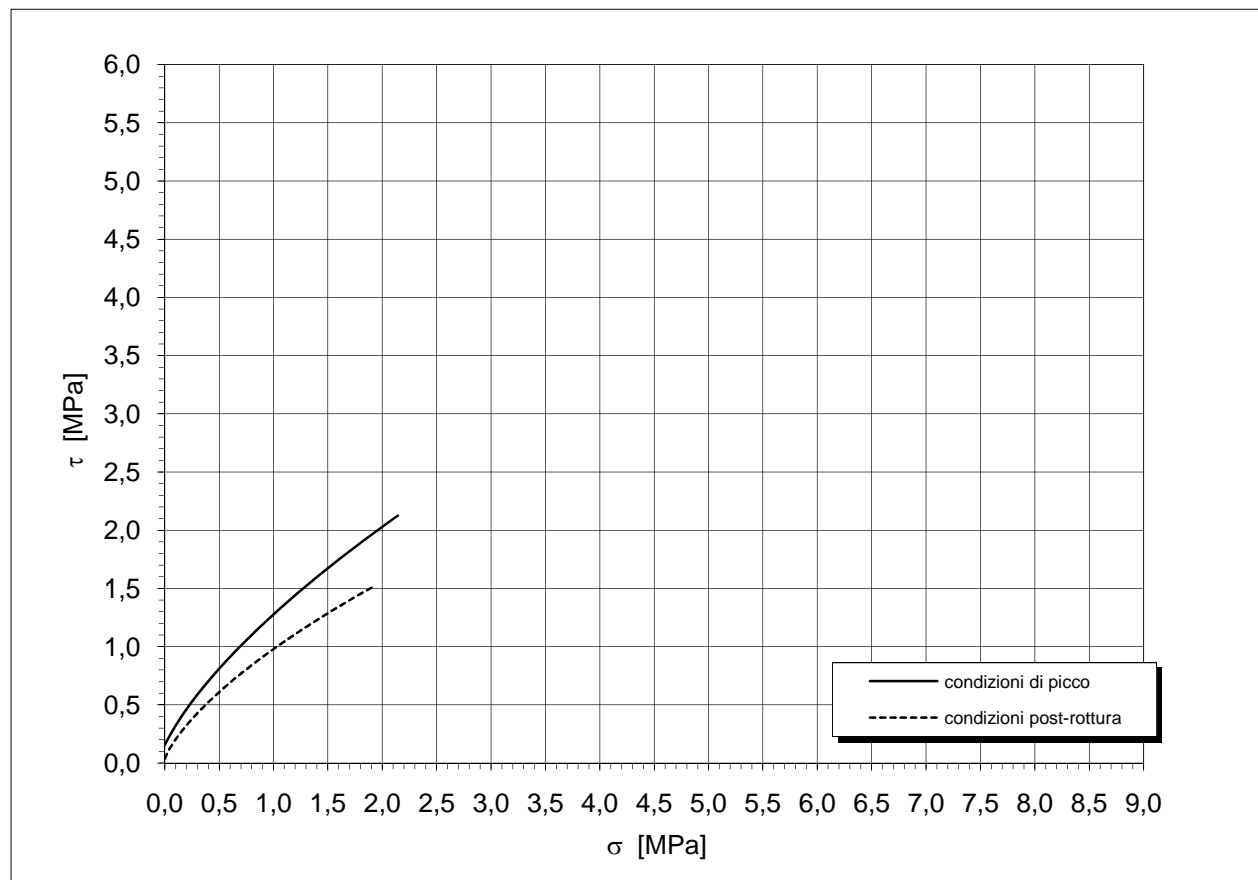
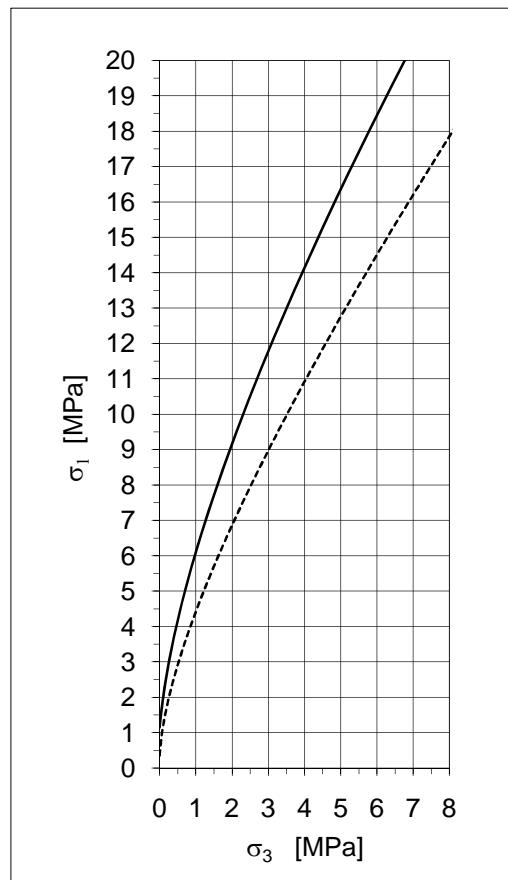
$\sigma_3$ [MPa]	picco	post- rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]
0,00	1,15	0,35	0,00	0,15	0,00	0,04	172	57	44	62
0,01	1,26	0,49	0,09	0,32	0,02	0,08	178	56	53	58
0,02	1,36	0,61	0,12	0,35	0,05	0,13	185	55	62	55
0,03	1,46	0,70	0,14	0,39	0,07	0,17	192	54	70	53
0,04	1,55	0,79	0,17	0,42	0,10	0,20	199	53	79	52
0,05	1,63	0,87	0,19	0,45	0,12	0,23	207	52	87	51
0,06	1,72	0,95	0,22	0,49	0,14	0,26	214	52	94	49
0,07	1,80	1,02	0,24	0,52	0,17	0,29	221	51	102	48
0,08	1,88	1,08	0,26	0,55	0,19	0,31	228	50	109	47
0,09	1,95	1,15	0,29	0,57	0,21	0,34	235	50	116	47
0,10	2,03	1,21	0,31	0,60	0,23	0,36	241	49	122	46
0,11	2,10	1,27	0,33	0,63	0,26	0,39	248	49	129	45
0,12	2,17	1,27	0,36	0,66	0,28	0,41	255	48	136	44
0,13	2,24	1,33	0,38	0,68	0,30	0,43	262	48	142	44
0,14	2,30	1,38	0,40	0,71	0,32	0,45	268	47	148	43
0,15	2,37	1,44	0,42	0,73	0,34	0,47	275	47	154	43
0,16	2,43	1,49	0,45	0,76	0,37	0,49	281	47	160	42
0,17	2,50	1,54	0,47	0,78	0,39	0,51	288	46	166	42
0,18	2,56	1,59	0,49	0,80	0,41	0,53	294	46	172	41
0,19	2,62	1,64	0,51	0,83	0,43	0,55	301	46	178	41
0,20	2,68	1,69	0,54	0,85	0,45	0,57	307	46	183	41
0,22	2,79	1,74	0,56	0,87	0,47	0,58	319	45	195	40
0,24	2,91	1,83	0,60	0,91	0,51	0,62	331	45	205	39
0,26	2,91	1,92	0,65	0,96	0,55	0,65	343	44	216	38
0,28	3,02	2,01	0,69	1,00	0,59	0,68	355	44	226	38
0,30	3,13	2,09	0,73	1,04	0,63	0,72	367	43	236	37
0,32	3,23	2,17	0,77	1,08	0,67	0,75	379	43	246	37
0,34	3,33	2,26	0,82	1,12	0,71	0,78	390	42	256	36
0,36	3,43	2,33	0,86	1,15	0,75	0,80	401	42	265	36
0,38	3,53	2,41	0,90	1,19	0,79	0,83	412	41	274	35
0,40	3,63	2,49	0,94	1,23	0,82	0,86	423	41	284	35
0,42	3,72	2,56	0,98	1,26	0,86	0,89	434	41	293	35
0,44	3,82	2,63	1,02	1,30	0,90	0,91	445	40	301	34
0,46	3,91	2,71	1,06	1,33	0,94	0,94	455	40	310	34
0,48	4,00	2,78	1,10	1,37	0,97	0,96	466	39	319	33
0,50	4,09	2,85	1,14	1,40	1,01	0,99	476	39	327	33
0,55	4,18	2,92	1,18	1,43	1,05	1,01	501	38	348	32
0,60	4,39	3,08	1,28	1,51	1,14	1,07	526	38	368	32
0,65	4,60	3,25	1,38	1,59	1,23	1,13	550	37	388	31
0,70	4,80	3,40	1,48	1,66	1,32	1,18	574	36	407	30
0,75	5,00	3,56	1,58	1,73	1,41	1,23	597	36	425	30
0,80	5,20	3,71	1,67	1,80	1,49	1,28	620	35	443	29
0,85	5,38	3,86	1,77	1,87	1,58	1,33	643	35	461	29
0,90	5,57	4,00	1,86	1,94	1,66	1,38	665	34	479	28
0,95	5,75	4,14	1,96	2,00	1,75	1,43	686	34	496	28
1,00	5,93	4,28	2,05	2,07	1,83	1,47	708	34	512	28



## Inviluppi di rottura dell'ammasso roccioso ( $0 < \sigma_3 < 1 \text{ MPa}$ )

**Tunnel di Fontanabuona  
Rio della Prè**

**RG 4 - parametri medi**



**Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown**

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	98,2
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	7,7

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>40</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,29	0,14
	$s$ [-]	1,7E-04	1,7E-05
	$a$ [-]	0,51	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,06	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	1,15	0,35
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	6,62	4,51
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	3,62 - 4,33	

**DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOMECCANICI DI RESISTENZA E DEFORMABILITA'**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanabuona
<b>Località</b>	Cunizzo
<b>Data</b>	14/09/11
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 5 - parametri medi

**Litologia e descrizione geologica generale**

Argilloscisti nerastri, grigio verde in alterazione, fittamente laminati e intensamente tettonizzati.  
[Formazione di Monte Lavagnola]

**Tipo di ammasso roccioso secondo la classificazione di Hoek e Marinos, 2000 e parametri di base del materiale roccia**

tipo ammasso	alternanze	classe	H	litotipo a	litotipo b
resistenza a compressione monoassiale		$\sigma_{ci}$ [MPa]		8	-
parametro dell'inviluppo di rottura		$m_i$ [-]		7	-
rapporto del modulo		MR [-]		500	-
percentuale relativa		[%]		100	0

**Parametri del materiale roccia assunti per la classificazione e la parametrizzazione**

resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	8,0
parametro dell'inviluppo di rottura	$m_i$ [-]	7
rapporto del modulo	MR [-]	500

**Q System (Grimstad e Barton, 1993)**

RQD	$J_r$	$J_w$
[%]	[-]	[-]
10	2,0	1,0

**RQD** : Rock Quality Designation       **$J_w$**  : Joint Water Reduction Factor

**$J_n$**  : Joint Set Number

**SRF** : Stress Reduction Factor

**$J_r$**  : Joint Roughness Number

$J_n$	$J_a$	SRF
[-]	[-]	[-]
20,0	4,0	2,5

**$J_a$**  : Joint Alteration Number

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
Q'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
0,25	E	molto scadente

**Q'** : indice di qualità intrinseco dell'ammasso roccioso ( $J_w = 1$  e  $SRF = 1$ )

**RMR System - Geomechanics Classification (Bieniawski, 1989)**

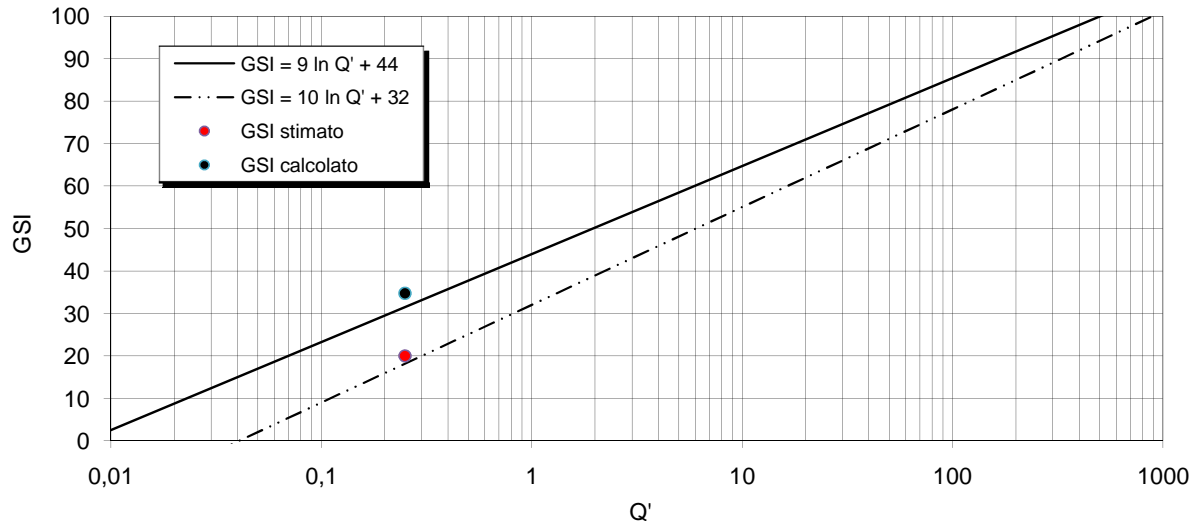
Resistenza a compressione monoassiale $\sigma_{ci}$ [MPa]		
	8	2
Rock Quality Designation RQD [%]	0	3
N° di famiglie di discontinuità [-]	4	
Spaziatura delle discontinuità [cm]	1	5
Condizioni delle discontinuità:		
lunghezza [m]	20	0
apertura [mm]	chiuse	6
rugosità:		
descrizione [-]	lisce	
JRC [-]	4	1
riempimento:		
tipo [-]	assente	
spessore [mm]	-	6
alterazione [-]	debolmente alterate	5
Condizioni idriche [-]	umido	10

**Rock Mass Rating intrinseco**      **RMR'**      **43**

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
RMR'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
43	III	discreta

Geological Strength Index (Hoek e Marinos., 2000)	GSI	calcolato	35
		stimato	20

### Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso



### PARAMETRI GEOMECCANICI

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	8,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,0
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	7
rapporto del modulo	$MR$ [-]	500

Coefficiente di disturbo	$D$ [-]	0,7
--------------------------	---------	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,09
	$s$ [-]	9,2E-06
	$a$ [-]	0,54
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,00
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,01
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	0,23

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,09
	$s$ [-]	9,2E-06
	$a$ [-]	0,54
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,00
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,01
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	0,23

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb

$$\tau = c' + \sigma \operatorname{tg} \varphi'$$

Campo tensionale di validità [MPa]	0,0	0,1
------------------------------------	-----	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	26,52
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,01

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	26,52
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,01

#### Modulo di deformabilità

(Serafim e Pereira, 1983; Hoek et al., 2002)	$E_m$ [GPa]	0,33
(Hoek e Diederichs, 2006)	$E_m$ [GPa]	0,11

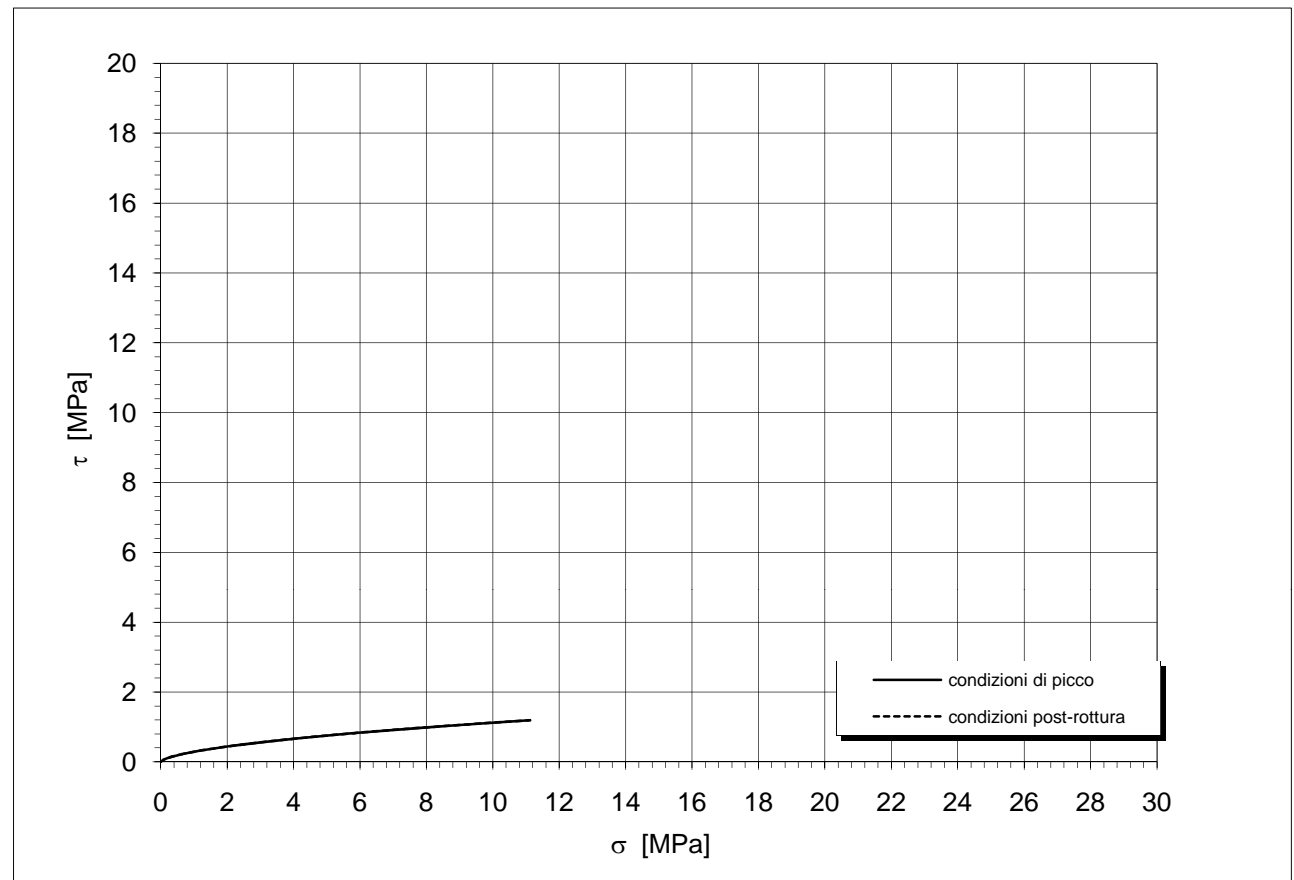
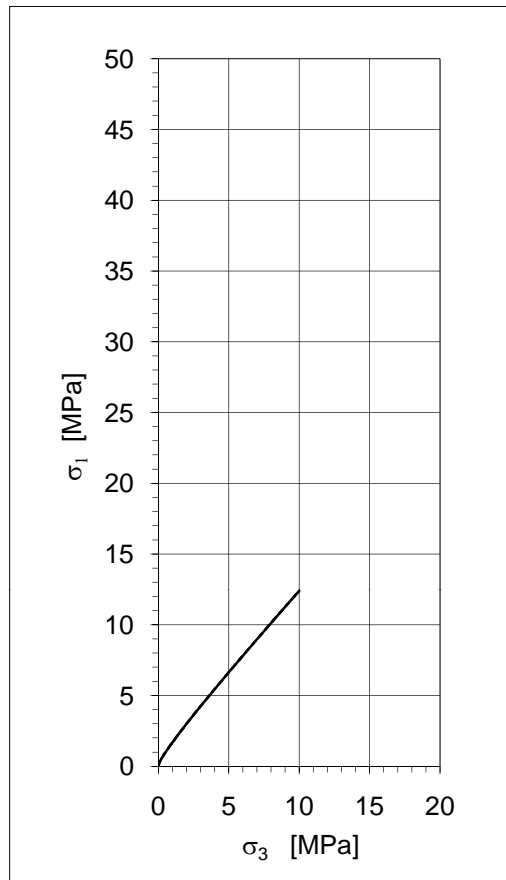
**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO**

$\sigma_3$ [MPa]	picco		post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [MPa]	$\phi_i$ [°]	$c_i$ [MPa]	$\phi_i$ [°]	
0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	55	0,00	55		
0,05	0,18	0,18	0,09	0,06	0,09	0,06	0,02	25	0,02	25		
0,10	0,30	0,30	0,16	0,09	0,16	0,09	0,03	20	0,03	20		
0,15	0,39	0,39	0,23	0,12	0,23	0,12	0,04	18	0,04	18		
0,20	0,48	0,48	0,30	0,14	0,30	0,14	0,05	16	0,05	16		
0,25	0,57	0,57	0,37	0,16	0,37	0,16	0,06	15	0,06	15		
0,30	0,65	0,65	0,43	0,17	0,43	0,17	0,06	14	0,06	14		
0,35	0,74	0,74	0,50	0,19	0,50	0,19	0,07	13	0,07	13		
0,40	0,81	0,81	0,56	0,20	0,56	0,20	0,08	13	0,08	13		
0,45	0,89	0,89	0,62	0,22	0,62	0,22	0,08	12	0,08	12		
0,50	0,97	0,97	0,69	0,23	0,69	0,23	0,09	12	0,09	12		
0,60	1,12	1,12	0,81	0,25	0,81	0,25	0,10	11	0,10	11		
0,70	1,26	1,26	0,93	0,28	0,93	0,28	0,11	10	0,11	10		
0,80	1,40	1,40	1,05	0,30	1,05	0,30	0,12	10	0,12	10		
0,90	1,54	1,54	1,17	0,32	1,17	0,32	0,12	9	0,12	9		
1,00	1,68	1,68	1,29	0,34	1,29	0,34	0,13	9	0,13	9		
1,10	1,82	1,82	1,41	0,36	1,41	0,36	0,14	9	0,14	9		
1,20	1,95	1,95	1,52	0,37	1,52	0,37	0,15	8	0,15	8		
1,30	2,09	2,09	1,64	0,39	1,64	0,39	0,16	8	0,16	8		
1,40	2,22	2,22	1,75	0,41	1,75	0,41	0,16	8	0,16	8		
1,50	2,35	2,35	1,87	0,42	1,87	0,42	0,17	8	0,17	8		
1,60	2,48	2,48	1,98	0,44	1,98	0,44	0,18	7	0,18	7		
1,70	2,61	2,61	2,10	0,45	2,10	0,45	0,18	7	0,18	7		
1,80	2,74	2,74	2,21	0,47	2,21	0,47	0,19	7	0,19	7		
1,90	2,87	2,87	2,32	0,48	2,32	0,48	0,20	7	0,20	7		
2,00	2,99	2,99	2,44	0,49	2,44	0,49	0,20	7	0,20	7		
2,20	3,25	3,25	2,66	0,52	2,66	0,52	0,21	7	0,21	7		
2,40	3,50	3,50	2,89	0,55	2,89	0,55	0,22	6	0,22	6		
2,60	3,75	3,75	3,11	0,57	3,11	0,57	0,23	6	0,23	6		
2,80	3,99	3,99	3,33	0,59	3,33	0,59	0,25	6	0,25	6		
3,00	4,24	4,24	3,56	0,62	3,56	0,62	0,26	6	0,26	6		
3,20	4,48	4,48	3,78	0,64	3,78	0,64	0,27	6	0,27	6		
3,40	4,73	4,73	4,00	0,66	4,00	0,66	0,27	6	0,27	6		
3,60	4,97	4,97	4,22	0,68	4,22	0,68	0,28	5	0,28	5		
3,80	5,21	5,21	4,44	0,70	4,44	0,70	0,29	5	0,29	5		
4,00	5,45	5,45	4,66	0,72	4,66	0,72	0,30	5	0,30	5		
4,20	5,69	5,69	4,88	0,74	4,88	0,74	0,31	5	0,31	5		
4,40	5,93	5,93	5,10	0,76	5,10	0,76	0,32	5	0,32	5		
4,60	6,16	6,16	5,32	0,78	5,32	0,78	0,33	5	0,33	5		
4,80	6,40	6,40	5,53	0,80	5,53	0,80	0,34	5	0,34	5		
5,00	6,64	6,64	5,75	0,82	5,75	0,82	0,34	5	0,34	5		
5,50	7,22	7,22	6,29	0,86	6,29	0,86	0,36	4	0,36	4		
6,00	7,81	7,81	6,83	0,90	6,83	0,90	0,38	4	0,38	4		
6,50	8,39	8,39	7,37	0,94	7,37	0,94	0,40	4	0,40	4		
7,00	8,96	8,96	7,91	0,98	7,91	0,98	0,42	4	0,42	4		
7,50	9,54	9,54	8,45	1,02	8,45	1,02	0,43	4	0,43	4		
8,00	10,11	10,11	8,99	1,05	8,99	1,05	0,45	4	0,45	4		
8,50	10,68	10,68	9,52	1,09	9,52	1,09	0,47	4	0,47	4		
9,00	11,25	11,25	10,05	1,12	10,05	1,12	0,48	4	0,48	4		
9,50	11,82	11,82	10,59	1,16	10,59	1,16	0,50	4	0,50	4		
10,00	12,38	12,38	11,12	1,19	11,12	1,19	0,51	3	0,51	3		

## Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso

**Tunnel di Fontanabuona  
Cunizzo**

**RG 5 - parametri medi**



**Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown**

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	8,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,0
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	7,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>20</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura			
	$m_b$ [-]	0,09	0,09
	$s$ [-]	9,2E-06	9,2E-06
	$a$ [-]	0,54	0,54
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,00	0,00
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,01	0,01
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	0,23	0,23
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	0,33 - 0,11	

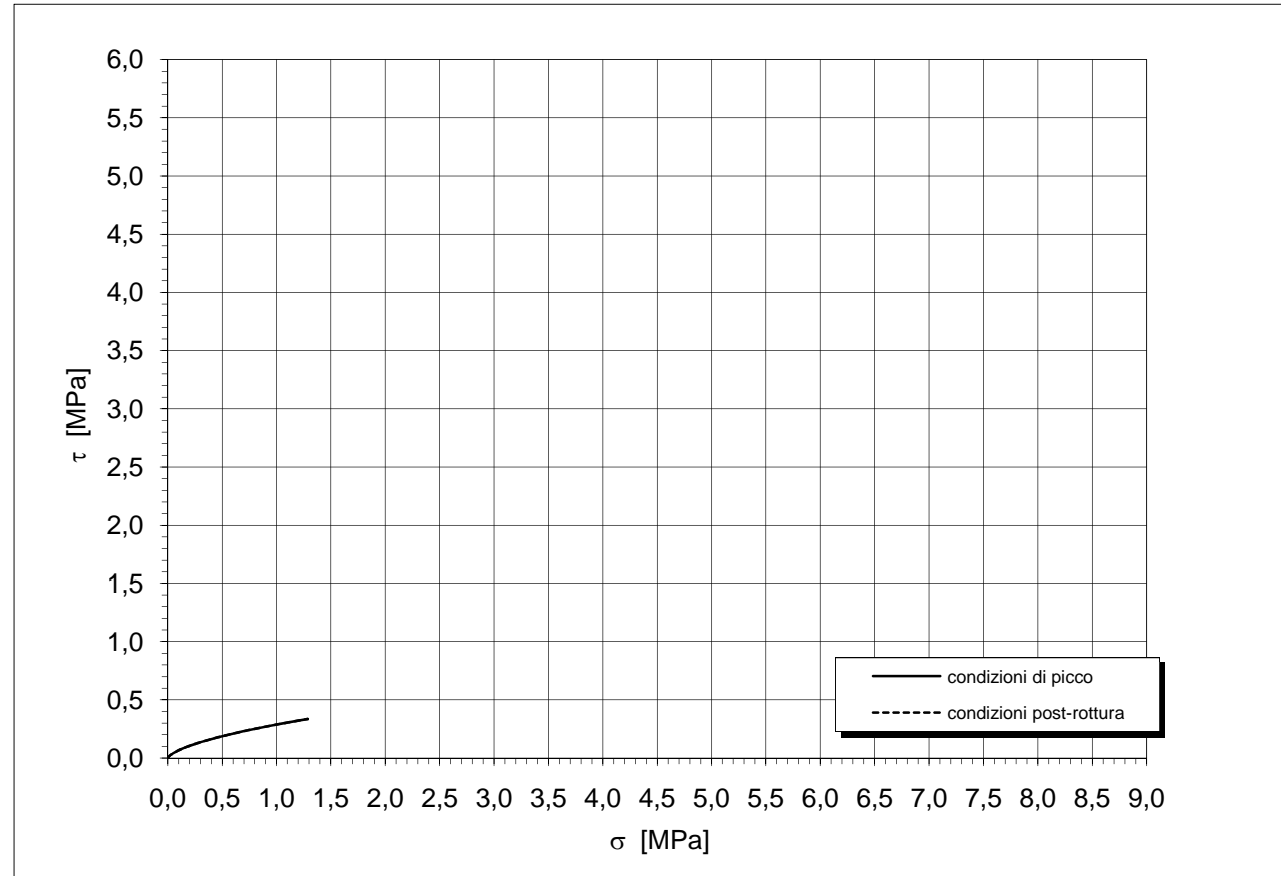
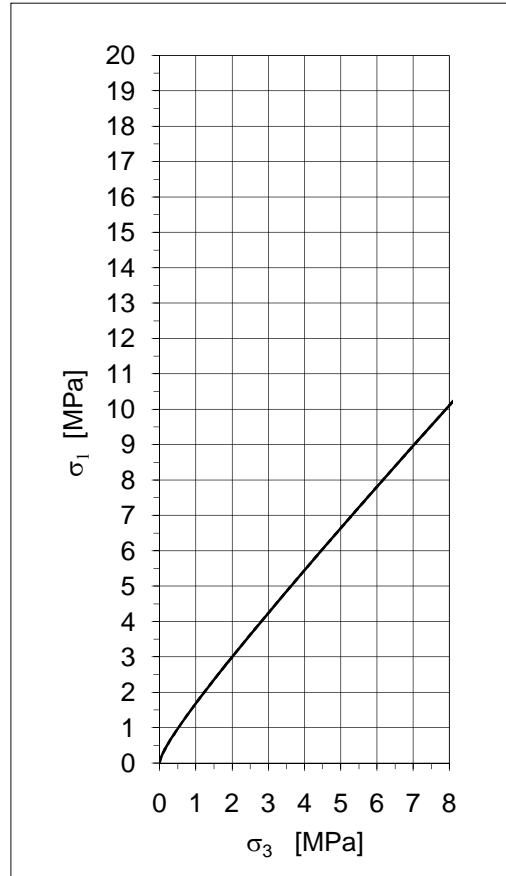
**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO ( $\sigma_3 = 0 - 1 \text{ MPa}$ )**

	picco	post-rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
$\sigma_3$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]
0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	2	55	2	55
0,01	0,07	0,07	0,02	0,02	0,02	0,02	7	36	7	36
0,02	0,10	0,10	0,04	0,04	0,04	0,04	11	31	11	31
0,03	0,13	0,13	0,06	0,05	0,06	0,05	14	28	14	28
0,04	0,16	0,16	0,07	0,05	0,07	0,05	17	26	17	26
0,05	0,18	0,18	0,09	0,06	0,09	0,06	20	25	20	25
0,06	0,21	0,21	0,10	0,07	0,10	0,07	23	24	23	24
0,07	0,23	0,23	0,12	0,07	0,12	0,07	25	23	25	23
0,08	0,25	0,25	0,13	0,08	0,13	0,08	27	22	27	22
0,09	0,28	0,28	0,15	0,09	0,15	0,09	29	21	29	21
0,10	0,30	0,30	0,16	0,09	0,16	0,09	31	20	31	20
0,11	0,32	0,32	0,18	0,10	0,18	0,10	33	20	33	20
0,12	0,34	0,34	0,19	0,10	0,19	0,10	35	19	35	19
0,13	0,36	0,36	0,21	0,11	0,21	0,11	37	19	37	19
0,14	0,37	0,37	0,22	0,11	0,22	0,11	39	18	39	18
0,15	0,39	0,39	0,23	0,12	0,23	0,12	41	18	41	18
0,16	0,41	0,41	0,25	0,12	0,25	0,12	43	17	43	17
0,17	0,43	0,43	0,26	0,12	0,26	0,12	44	17	44	17
0,18	0,45	0,45	0,28	0,13	0,28	0,13	46	17	46	17
0,19	0,47	0,47	0,29	0,13	0,29	0,13	47	16	47	16
0,20	0,48	0,48	0,30	0,14	0,30	0,14	49	16	49	16
0,22	0,52	0,52	0,33	0,14	0,33	0,14	52	16	52	16
0,24	0,55	0,55	0,36	0,15	0,36	0,15	55	15	55	15
0,26	0,59	0,59	0,38	0,16	0,38	0,16	58	15	58	15
0,28	0,62	0,62	0,41	0,17	0,41	0,17	61	14	61	14
0,30	0,65	0,65	0,43	0,17	0,43	0,17	63	14	63	14
0,32	0,69	0,69	0,46	0,18	0,46	0,18	66	14	66	14
0,34	0,72	0,72	0,49	0,18	0,49	0,18	69	13	69	13
0,36	0,75	0,75	0,51	0,19	0,51	0,19	71	13	71	13
0,38	0,78	0,78	0,54	0,20	0,54	0,20	73	13	73	13
0,40	0,81	0,81	0,56	0,20	0,56	0,20	76	13	76	13
0,42	0,85	0,85	0,59	0,21	0,59	0,21	78	12	78	12
0,44	0,88	0,88	0,61	0,21	0,61	0,21	81	12	81	12
0,46	0,91	0,91	0,64	0,22	0,64	0,22	83	12	83	12
0,48	0,94	0,94	0,66	0,22	0,66	0,22	85	12	85	12
0,50	0,97	0,97	0,69	0,23	0,69	0,23	87	12	87	12
0,55	1,04	1,04	0,75	0,24	0,75	0,24	92	11	92	11
0,60	1,12	1,12	0,81	0,25	0,81	0,25	97	11	97	11
0,65	1,19	1,19	0,87	0,27	0,87	0,27	102	11	102	11
0,70	1,26	1,26	0,93	0,28	0,93	0,28	107	10	107	10
0,75	1,33	1,33	0,99	0,29	0,99	0,29	112	10	112	10
0,80	1,40	1,40	1,05	0,30	1,05	0,30	116	10	116	10
0,85	1,47	1,47	1,11	0,31	1,11	0,31	121	10	121	10
0,90	1,54	1,54	1,17	0,32	1,17	0,32	125	9	125	9
0,95	1,61	1,61	1,23	0,33	1,23	0,33	129	9	129	9
1,00	1,68	1,68	1,29	0,34	1,29	0,34	133	9	133	9

## Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso ( $0 < \sigma_3 < 1 \text{ MPa}$ )

**Tunnel di Fontanabuona  
Cunizzo**

**RG 5 - parametri medi**



**Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown**

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	8,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,0
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	7,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>20</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,09	0,09
	$s$ [-]	9,2E-06	9,2E-06
	$a$ [-]	0,54	0,54
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,00	0,00
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,01	0,01
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	0,23	0,23
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	0,33 - 0,11	

**DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOMECCANICI DI RESISTENZA E DEFORMABILITA'**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanabuona
<b>Località</b>	Santuario N.S. di Caravaggio
<b>Data</b>	14/09/11
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 6 - parametri medi

**Litologia e descrizione geologica generale**

Calcere marnoso grigio, nocciola in alterazione, in strati decimetrici con sottili intercalazioni di marne e marne calcaree. [Formazione di Monte Antola]

**Tipo di ammasso roccioso secondo la classificazione di Hoek e Marinos, 2000 e parametri di base del materiale roccia**

tipo ammasso	alternanze	classe	B	litotipo a	litotipo b
resistenza a compressione monoassiale			$\sigma_{ci}$ [MPa]	98	50
parametro dell'inviluppo di rottura			$m_i$ [-]	8	7
rapporto del modulo			MR [-]	900	375
percentuale relativa			[%]	95	5

**Parametri del materiale roccia assunti per la classificazione e la parametrizzazione**

resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	98,0
parametro dell'inviluppo di rottura	$m_i$ [-]	8
rapporto del modulo	MR [-]	900

**Q System (Grimstad e Barton, 1993)**

RQD	$J_r$	$J_w$
[%]	[-]	[-]
25	2,0	1,0

**RQD** : Rock Quality Designation       **$J_w$**  : Joint Water Reduction Factor

**$J_n$**  : Joint Set Number

**SRF** : Stress Reduction Factor

**$J_r$**  : Joint Roughness Number

$J_n$	$J_a$	SRF
[-]	[-]	[-]
15,0	5,0	2,5

**$J_a$**  : Joint Alteration Number

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
Q'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
0,67	E	molto scadente

**Q'** : indice di qualità intrinseco dell'ammasso roccioso ( $J_w = 1$  e  $SRF = 1$ )

**RMR System - Geomechanics Classification (Bieniawski, 1989)**

Resistenza a compressione monoassiale $\sigma_{ci}$	[MPa]	98	9
Rock Quality Designation RQD	[%]	25	6
N° di famiglie di discontinuità	[-]	5	6
Spaziatura delle discontinuità	[cm]	8	6
Condizioni delle discontinuità:			
lunghezza	[m]	20	0
apertura	[mm]	5	1
rugosità:			
descrizione	[-]	lisce	
JRC	[-]	4	1
riempimento:			
tipo	[-]	duro	
spessore	[mm]	5	3
alterazione	[-]	debolmente alterate	5
Condizioni idriche	[-]	umido	10

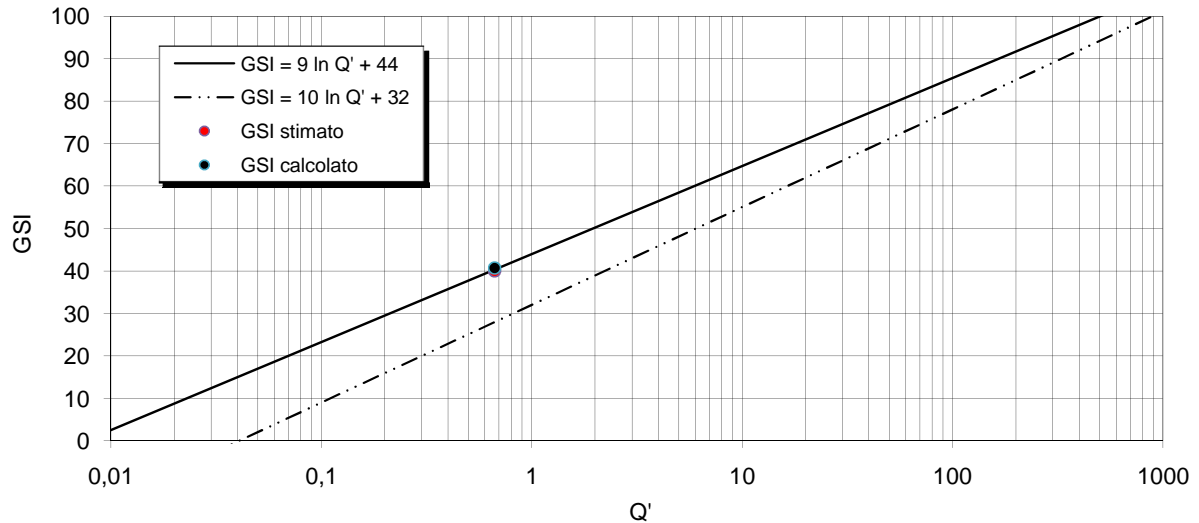
**Rock Mass Rating intrinseco**      **RMR'**      **46**

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
RMR'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
46	III	discreta

Geological Strength Index (Hoek e Marinos., 2000)	GSI	calcolato	41
		stimato	40



### Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso



### PARAMETRI GEOMECCANICI

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	98,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	8
rapporto del modulo	$MR$ [-]	900

Coefficiente di disturbo	$D$ [-]	0,7
--------------------------	---------	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,30
	$s$ [-]	1,7E-04
	$a$ [-]	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,06
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	1,15
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	6,72

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,14
	$s$ [-]	1,7E-05
	$a$ [-]	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,35
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	4,58

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb

$$\tau = c' + \sigma \text{tg} \phi'$$

Campo tensionale di validità [MPa]	0,0	0,1
------------------------------------	-----	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\phi'$ [°]	56,62
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,16

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\phi'$ [°]	53,44
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,06

#### Modulo di deformabilità

(Serafim e Pereira, 1983; Hoek et al., 2002)	$E_m$ [GPa]	3,62
(Hoek e Diederichs, 2006)	$E_m$ [GPa]	5,14

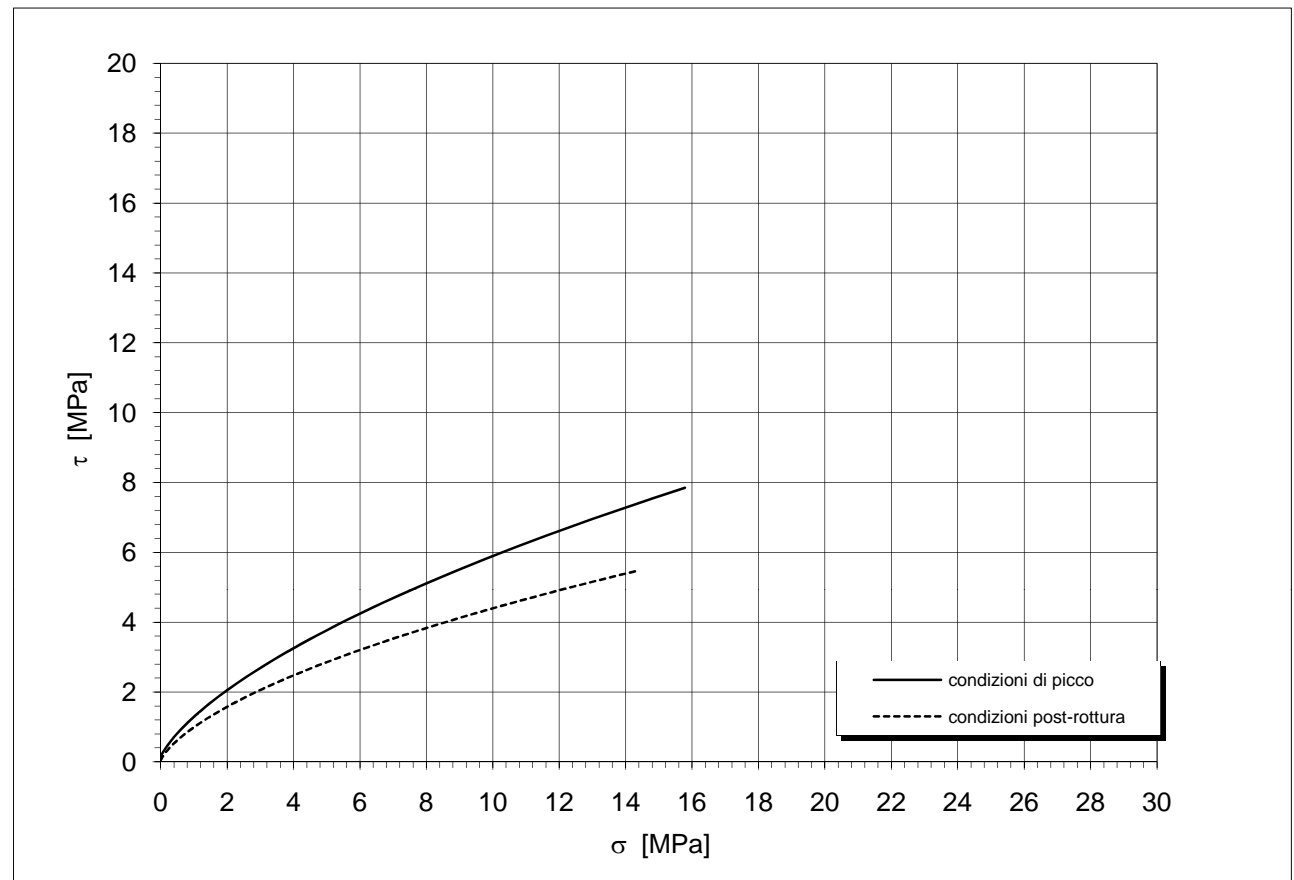
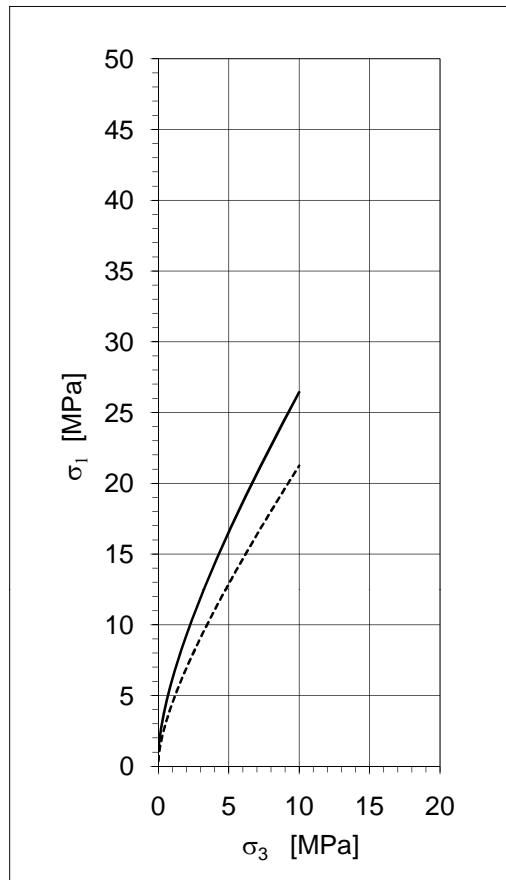
**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO**

$\sigma_3$ [MPa]	picco	post- rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [MPa]	$\varphi_i$ [°]	$c_i$ [MPa]	$\varphi_i$ [°]
0,00	1,15	0,35	0,00	0,15	0,00	0,04	0,17	57	0,04	62
0,05	1,65	0,88	0,09	0,31	0,02	0,08	0,20	53	0,09	51
0,10	2,05	1,23	0,21	0,48	0,14	0,26	0,24	50	0,12	46
0,15	2,39	1,51	0,33	0,63	0,26	0,39	0,27	47	0,16	43
0,20	2,71	1,76	0,45	0,76	0,37	0,50	0,31	46	0,18	41
0,25	3,00	1,99	0,56	0,88	0,47	0,59	0,34	44	0,21	39
0,30	3,27	2,20	0,67	0,99	0,57	0,68	0,37	43	0,24	38
0,35	3,53	2,41	0,77	1,09	0,67	0,75	0,40	42	0,26	36
0,40	3,77	2,60	0,88	1,18	0,77	0,83	0,42	41	0,29	35
0,45	4,01	2,78	0,98	1,28	0,86	0,90	0,45	40	0,31	34
0,50	4,23	2,95	1,09	1,36	0,96	0,96	0,48	39	0,33	33
0,60	4,66	3,29	1,19	1,45	1,05	1,02	0,53	38	0,37	32
0,70	5,07	3,61	1,39	1,60	1,23	1,14	0,58	37	0,41	31
0,80	5,46	3,91	1,58	1,75	1,41	1,25	0,62	36	0,45	30
0,90	5,83	4,20	1,77	1,89	1,59	1,35	0,67	35	0,48	29
1,00	6,18	4,48	1,96	2,03	1,76	1,45	0,71	34	0,52	28
1,10	6,53	4,75	2,15	2,15	1,93	1,54	0,76	33	0,55	27
1,20	6,86	5,01	2,33	2,27	2,09	1,62	0,80	32	0,58	26
1,30	7,19	5,27	2,52	2,39	2,26	1,71	0,84	32	0,61	26
1,40	7,51	5,52	2,70	2,50	2,42	1,79	0,87	31	0,64	25
1,50	7,82	5,77	2,87	2,61	2,58	1,86	0,91	31	0,67	25
1,60	8,12	6,01	3,05	2,72	2,74	1,94	0,95	30	0,70	24
1,70	8,42	6,25	3,22	2,82	2,90	2,01	0,99	30	0,73	24
1,80	8,72	6,49	3,40	2,92	3,05	2,08	1,02	29	0,76	23
1,90	9,00	6,72	3,57	3,02	3,21	2,15	1,06	29	0,78	23
2,00	9,29	6,94	3,74	3,11	3,36	2,22	1,09	28	0,81	23
2,20	9,84	7,39	3,91	3,21	3,52	2,28	1,16	28	0,86	22
2,40	10,38	7,82	4,25	3,38	3,82	2,41	1,22	27	0,91	21
2,60	10,91	8,25	4,58	3,56	4,12	2,52	1,29	26	0,96	21
2,80	11,42	8,67	4,91	3,72	4,42	2,64	1,35	26	1,00	20
3,00	11,93	9,08	5,23	3,88	4,71	2,75	1,41	25	1,05	20
3,20	12,42	9,48	5,55	4,03	5,00	2,86	1,47	25	1,09	19
3,40	12,91	9,88	5,87	4,18	5,29	2,96	1,52	24	1,13	19
3,60	13,38	10,27	6,19	4,33	5,58	3,06	1,58	24	1,17	19
3,80	13,85	10,66	6,50	4,47	5,87	3,16	1,63	24	1,21	18
4,00	14,32	11,04	6,82	4,61	6,15	3,25	1,69	23	1,25	18
4,20	14,77	11,41	7,13	4,74	6,43	3,35	1,74	23	1,29	18
4,40	15,23	11,79	7,43	4,87	6,71	3,44	1,79	23	1,33	17
4,60	15,67	12,16	7,74	5,00	6,99	3,52	1,84	22	1,37	17
4,80	16,11	12,52	8,04	5,12	7,26	3,61	1,89	22	1,40	17
5,00	16,55	12,89	8,34	5,25	7,54	3,69	1,94	22	1,44	17
5,50	17,62	13,78	8,65	5,37	7,81	3,78	2,06	21	1,52	16
6,00	18,66	14,65	9,39	5,66	8,49	3,98	2,17	20	1,61	16
6,50	19,69	15,51	10,13	5,94	9,16	4,17	2,28	20	1,69	15
7,00	20,69	16,36	10,85	6,20	9,83	4,35	2,39	19	1,77	15
7,50	21,68	17,20	11,58	6,46	10,49	4,53	2,49	19	1,84	14
8,00	22,65	18,02	12,29	6,71	11,15	4,70	2,60	19	1,92	14
8,50	23,61	18,84	13,00	6,95	11,80	4,86	2,69	18	1,99	14
9,00	24,56	19,64	13,71	7,18	12,44	5,02	2,79	18	2,06	13
9,50	25,49	20,44	14,40	7,41	13,09	5,18	2,89	17	2,12	13
10,00	26,41	21,23	15,10	7,63	13,73	5,33	2,98	17	2,19	13
			15,79	7,84	14,36	5,48				

## Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso

**Tunnel di Fontanabuona  
Santuario N.S. di Caravaggio**

**RG 6 - parametri medi**



**Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown**

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	98,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	8,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>40</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura			
	$m_b$ [-]	0,30	0,14
	$s$ [-]	1,7E-04	1,7E-05
	$a$ [-]	0,51	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,06	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	1,15	0,35
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	6,72	4,58
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	3,62 - 5,14	

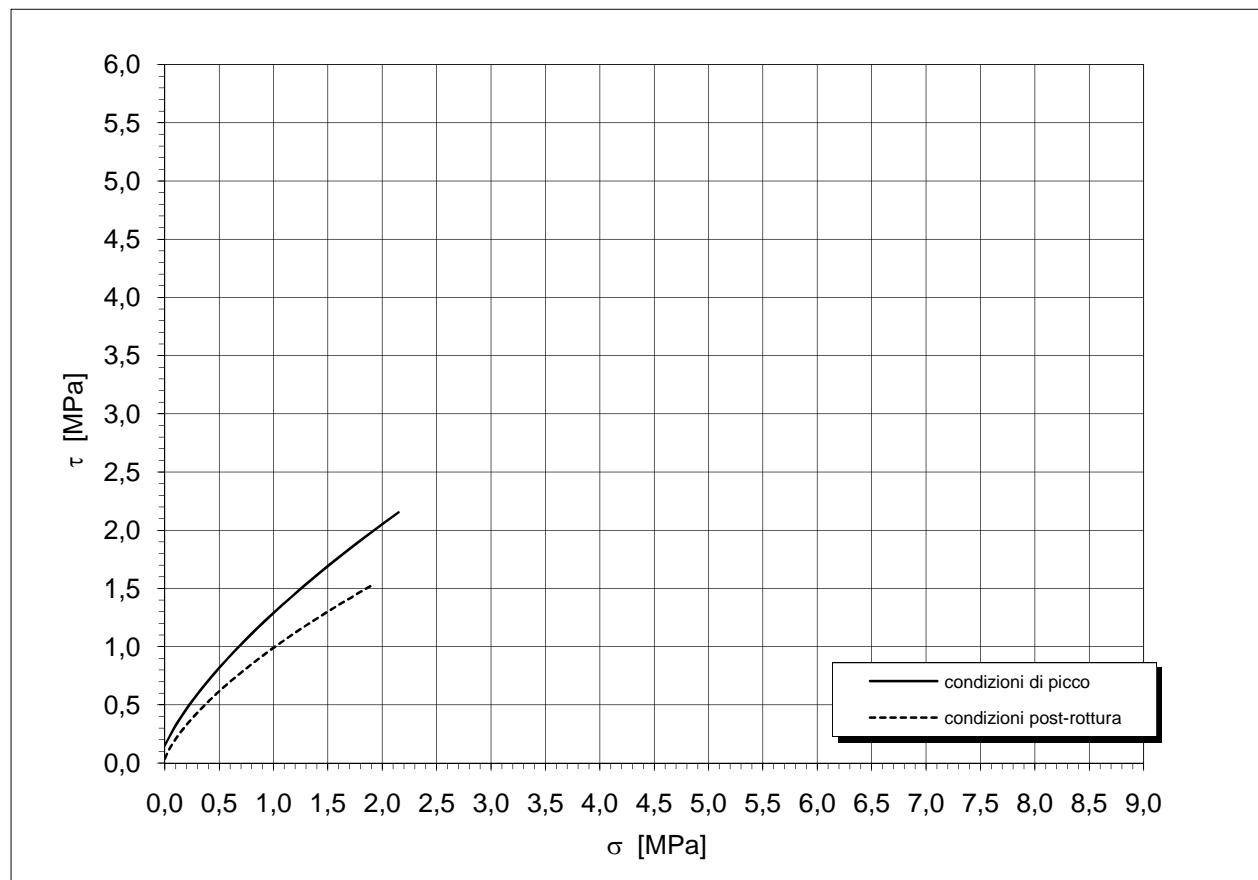
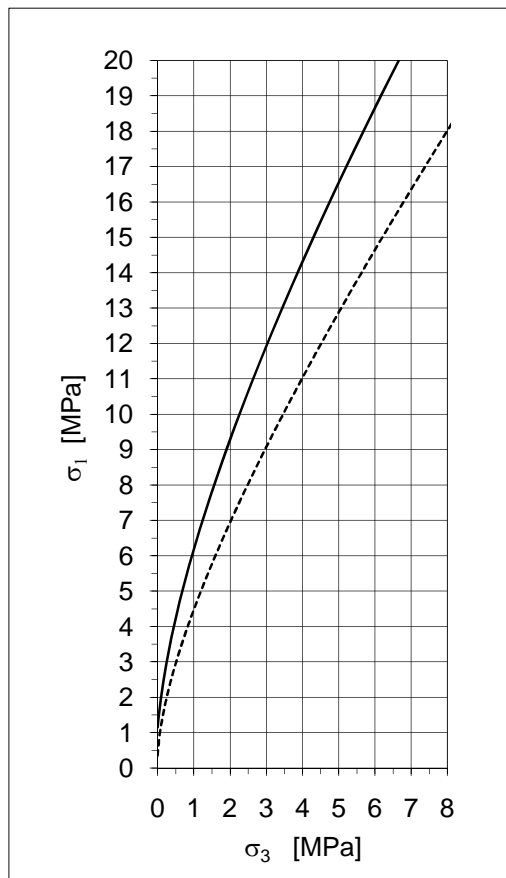
**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO ( $\sigma_3 = 0 - 1 \text{ MPa}$ )**

$\sigma_3$ [MPa]	picco	post- rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]
0,00	1,15	0,35	0,00	0,15	0,00	0,04	169	57	43	62
0,01	1,26	0,50	0,09	0,31	0,02	0,08	176	56	52	58
0,02	1,36	0,61	0,12	0,35	0,05	0,13	183	55	61	56
0,03	1,46	0,71	0,14	0,38	0,07	0,17	190	54	70	54
0,04	1,56	0,80	0,17	0,42	0,10	0,20	197	53	78	52
0,05	1,65	0,88	0,19	0,45	0,12	0,23	204	53	86	51
0,06	1,73	0,96	0,21	0,48	0,14	0,26	212	52	94	50
0,07	1,81	1,03	0,24	0,52	0,17	0,29	219	51	102	49
0,08	1,89	1,10	0,26	0,55	0,19	0,32	226	51	109	48
0,09	1,97	1,16	0,28	0,57	0,21	0,34	233	50	116	47
0,10	2,05	1,23	0,31	0,60	0,23	0,37	240	50	123	46
0,11	2,12	1,29	0,33	0,63	0,26	0,39	247	49	130	45
0,12	2,19	1,29	0,35	0,66	0,28	0,41	254	49	136	45
0,13	2,26	1,35	0,38	0,68	0,30	0,44	261	48	143	44
0,14	2,33	1,40	0,40	0,71	0,32	0,46	267	48	149	44
0,15	2,39	1,46	0,42	0,73	0,34	0,48	274	47	155	43
0,16	2,46	1,51	0,45	0,76	0,37	0,50	281	47	161	43
0,17	2,52	1,56	0,47	0,78	0,39	0,52	287	47	167	42
0,18	2,59	1,62	0,49	0,81	0,41	0,54	294	46	173	42
0,19	2,65	1,67	0,51	0,83	0,43	0,55	300	46	179	41
0,20	2,71	1,71	0,54	0,85	0,45	0,57	306	46	185	41
0,22	2,83	1,76	0,56	0,88	0,47	0,59	319	45	196	40
0,24	2,94	1,86	0,60	0,92	0,51	0,63	331	44	207	39
0,26	3,05	1,95	0,64	0,96	0,55	0,66	344	44	217	39
0,28	3,16	2,04	0,69	1,01	0,59	0,69	356	43	228	38
0,30	3,27	2,12	0,73	1,05	0,63	0,72	368	43	238	38
0,32	3,38	2,20	0,77	1,09	0,67	0,75	379	42	248	37
0,34	3,48	2,29	0,82	1,13	0,71	0,78	391	42	258	37
0,36	3,58	2,37	0,86	1,16	0,75	0,81	402	42	267	36
0,38	3,68	2,44	0,90	1,20	0,79	0,84	413	41	277	36
0,40	3,77	2,52	0,94	1,24	0,83	0,87	425	41	286	35
0,42	3,87	2,60	0,98	1,28	0,86	0,90	435	41	295	35
0,44	3,96	2,67	1,02	1,31	0,90	0,92	446	40	304	34
0,46	4,05	2,74	1,06	1,35	0,94	0,95	457	40	313	34
0,48	4,14	2,81	1,11	1,38	0,98	0,97	468	40	322	34
0,50	4,23	2,89	1,15	1,41	1,01	1,00	478	39	330	33
0,55	4,45	2,95	1,19	1,45	1,05	1,02	504	38	351	33
0,60	4,66	3,12	1,29	1,53	1,14	1,08	529	38	372	32
0,65	4,87	3,29	1,39	1,60	1,23	1,14	554	37	392	31
0,70	5,07	3,45	1,48	1,68	1,32	1,20	578	37	411	31
0,75	5,26	3,61	1,58	1,75	1,41	1,25	601	36	430	30
0,80	5,46	3,76	1,68	1,82	1,50	1,30	624	36	448	30
0,85	5,64	3,91	1,77	1,89	1,59	1,35	647	35	466	29
0,90	5,83	4,05	1,87	1,96	1,67	1,40	669	35	484	29
0,95	6,01	4,20	1,96	2,03	1,76	1,45	691	34	501	28
1,00	6,18	4,34	2,06	2,09	1,84	1,49	713	34	518	28
		4,48	2,15	2,15	1,93	1,54				

## Inviluppi di rottura dell'ammasso roccioso ( $0 < \sigma_3 < 1 \text{ MPa}$ )

**Tunnel di Fontanabuona  
Santuario N.S. di Caravaggio**

**RG 6 - parametri medi**



**Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown**

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	98,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	8,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>40</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,30	0,14
	$s$ [-]	1,7E-04	1,7E-05
	$a$ [-]	0,51	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,06	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	1,15	0,35
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	6,72	4,58
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	3,62 - 5,14	

**DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOMECCANICI DI RESISTENZA E DEFORMABILITA'**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanabuona
<b>Località</b>	Chignolo
<b>Data</b>	14/09/11
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 7 - parametri medi

**Litologia e descrizione geologica generale**

Calcari marnosi grigio scuro, nocciola in alterazione, in strati decimetrici con interstrati di marne siltose grige in livelli centimetrici. [Formazione di Monte Antola]

**Tipo di ammasso roccioso secondo la classificazione di Hoek e Marinos, 2000 e parametri di base del materiale roccia**

tipo ammasso	alternanze	classe	B	litotipo a	litotipo b
resistenza a compressione monoassiale			$\sigma_{ci}$ [MPa]	96	50
parametro dell'inviluppo di rottura			$m_i$ [-]	8	7
rapporto del modulo			MR [-]	900	375
percentuale relativa			[%]	90	10

**Parametri del materiale roccia assunti per la classificazione e la parametrizzazione**

resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	96,0
parametro dell'inviluppo di rottura	$m_i$ [-]	8
rapporto del modulo	MR [-]	900

**Q System (Grimstad e Barton, 1993)**

RQD	$J_r$	$J_w$
[%]	[-]	[-]
50	2,0	1,0

**RQD** : Rock Quality Designation       **$J_w$**  : Joint Water Reduction Factor

**$J_n$**  : Joint Set Number

**SRF** : Stress Reduction Factor

**$J_r$**  : Joint Roughness Number

$J_n$	$J_a$	SRF
[-]	[-]	[-]
12,0	5,0	2,5

**$J_a$**  : Joint Alteration Number

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
Q'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
1,67	D	scadente

**Q'** : indice di qualità intrinseco dell'ammasso roccioso ( $J_w = 1$  e  $SRF = 1$ )

**RMR System - Geomechanics Classification (Bieniawski, 1989)**

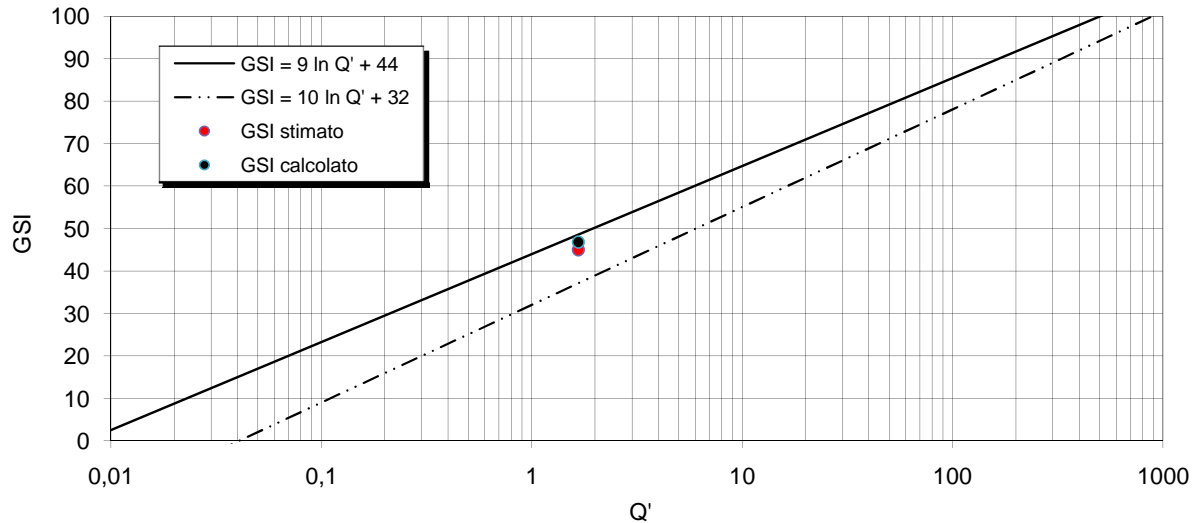
Resistenza a compressione monoassiale $\sigma_{ci}$	[MPa]	96	9
Rock Quality Designation RQD	[%]	50	10
N° di famiglie di discontinuità	[-]	4	10
Spaziatura delle discontinuità	[cm]	19	8
Condizioni delle discontinuità:			
lunghezza	[m]	20	0
apertura	[mm]	10	0
rugosità:			
descrizione	[-]	lisce	
JRC	[-]	4	1
riempimento:			
tipo	[-]	duro	
spessore	[mm]	10	2
alterazione	[-]	debolmente alterate	5
Condizioni idriche	[-]	umido	10

**Rock Mass Rating intrinseco**      **RMR'**      **50**

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
RMR'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
50	III	discreta

Geological Strength Index (Hoek e Marinos., 2000)	GSI	calcolato	47
		stimato	45

### Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso



### PARAMETRI GEOMECCANICI

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	96,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	8
rapporto del modulo	$MR$ [-]	900

Coefficiente di disturbo	$D$ [-]	0,7
--------------------------	---------	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,39
	$s$ [-]	3,5E-04
	$a$ [-]	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,09
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	1,67
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	7,75

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,13
	$s$ [-]	3,5E-05
	$a$ [-]	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,03
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,52
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	4,35

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb

$$\tau = c' + \sigma \operatorname{tg} \varphi'$$

Campo tensionale di validità [MPa]	0,0	0,1
------------------------------------	-----	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	57,55
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,23

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	51,93
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,09

#### Modulo di deformabilità

(Serafim e Pereira, 1983; Hoek et al., 2002)	$E_m$ [GPa]	4,78
(Hoek e Diederichs, 2006)	$E_m$ [GPa]	6,76

**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO**

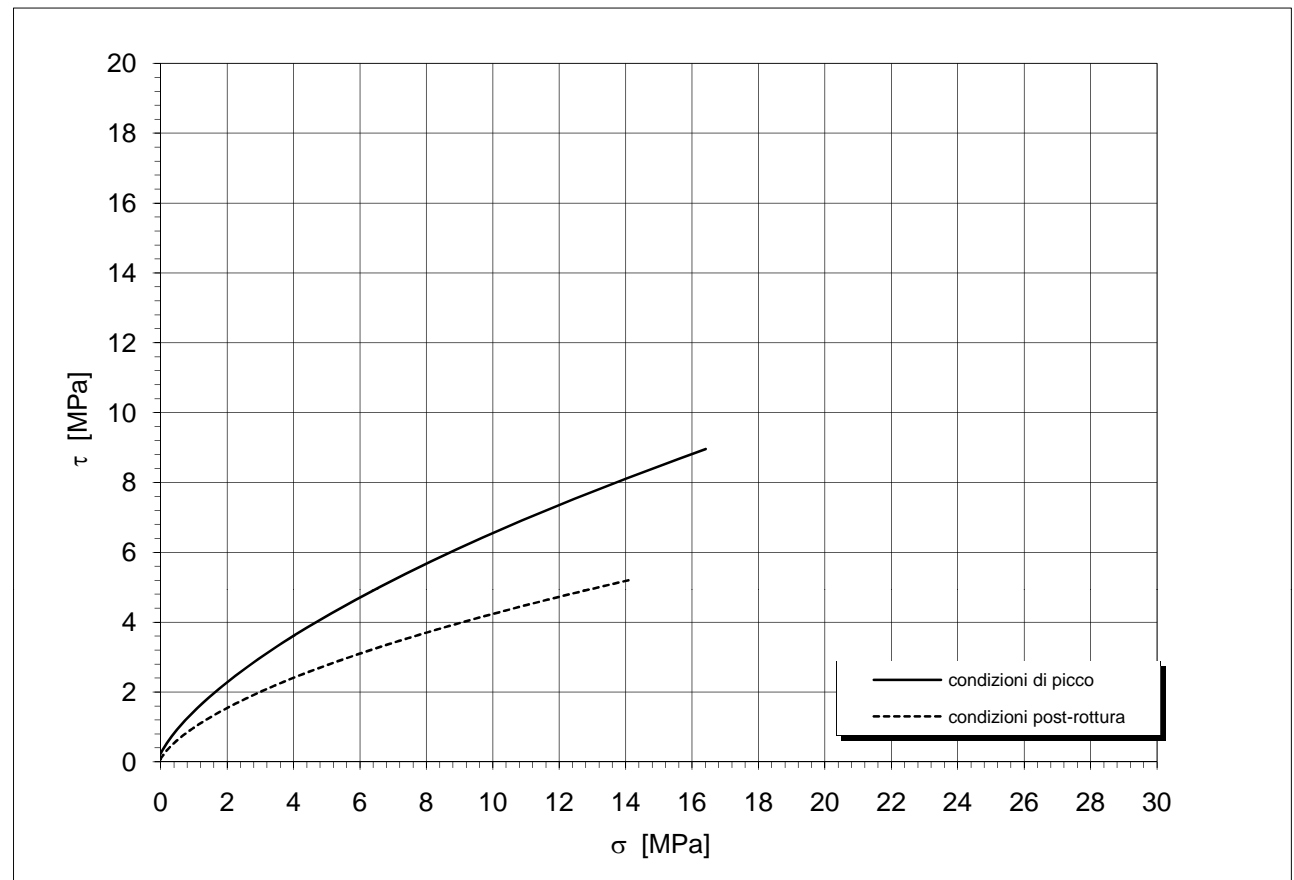
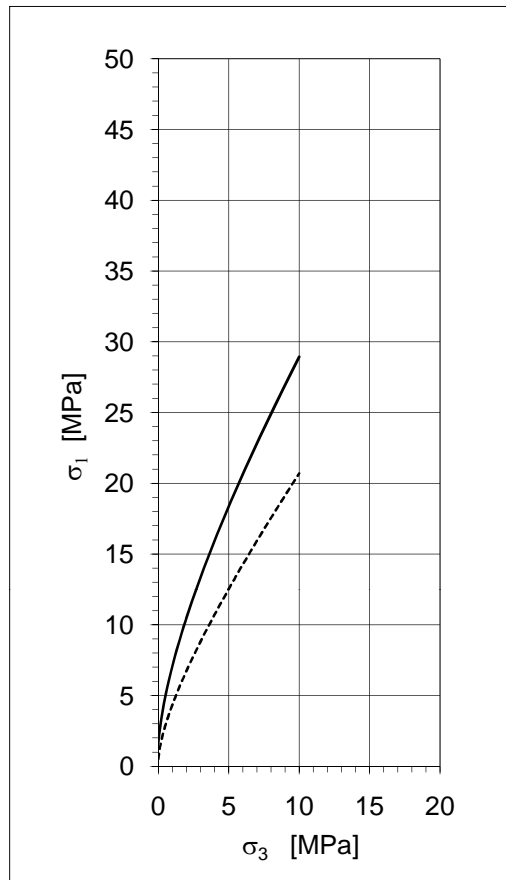
$\sigma_3$ [MPa]	picco	post-rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [MPa]	$\varphi_i$ [°]	$c_i$ [MPa]	$\varphi_i$ [°]
0,00	1,67	0,52	0,00	0,23	0,00	0,07	0,25	56	0,08	57
0,05	2,17	0,95	0,14	0,46	0,04	0,14	0,29	53	0,11	49
0,10	2,58	1,26	0,26	0,64	0,16	0,30	0,32	51	0,15	44
0,15	2,95	1,52	0,38	0,79	0,27	0,41	0,36	49	0,17	42
0,20	3,29	1,76	0,50	0,92	0,38	0,51	0,39	47	0,20	40
0,25	3,61	1,97	0,61	1,05	0,48	0,60	0,42	46	0,23	38
0,30	3,90	2,18	0,72	1,17	0,58	0,68	0,45	45	0,25	36
0,35	4,18	2,37	0,83	1,28	0,68	0,75	0,48	44	0,28	35
0,40	4,45	2,55	0,94	1,38	0,78	0,82	0,51	43	0,30	34
0,45	4,71	2,72	1,05	1,49	0,87	0,89	0,54	42	0,32	33
0,50	4,96	2,89	1,15	1,58	0,96	0,95	0,57	41	0,34	32
0,60	5,43	3,21	1,26	1,67	1,05	1,01	0,63	40	0,38	31
0,70	5,87	3,52	1,47	1,85	1,23	1,12	0,68	39	0,42	30
0,80	6,30	3,81	1,67	2,02	1,41	1,22	0,73	38	0,45	29
0,90	6,71	4,09	1,87	2,17	1,58	1,32	0,78	37	0,49	28
1,00	7,10	4,36	2,06	2,32	1,75	1,41	0,83	36	0,52	27
1,10	7,48	4,62	2,26	2,47	1,92	1,50	0,87	35	0,55	26
1,20	7,84	4,88	2,45	2,60	2,08	1,58	0,92	35	0,58	26
1,30	8,20	5,13	2,64	2,73	2,24	1,66	0,96	34	0,61	25
1,40	8,55	5,37	2,82	2,86	2,40	1,73	1,00	33	0,64	24
1,50	8,89	5,61	3,01	2,99	2,56	1,81	1,05	33	0,67	24
1,60	9,23	5,84	3,19	3,11	2,72	1,88	1,09	32	0,70	23
1,70	9,55	6,08	3,37	3,22	2,88	1,95	1,13	32	0,72	23
1,80	9,87	6,30	3,55	3,33	3,03	2,01	1,17	31	0,75	23
1,90	10,19	6,53	3,73	3,45	3,18	2,08	1,20	31	0,77	22
2,00	10,50	6,75	3,91	3,55	3,34	2,14	1,24	31	0,80	22
2,20	11,10	7,18	4,09	3,66	3,49	2,20	1,32	30	0,85	21
2,40	11,69	7,60	4,44	3,86	3,79	2,32	1,39	29	0,89	21
2,60	12,26	8,01	4,78	4,06	4,08	2,43	1,46	29	0,94	20
2,80	12,82	8,42	5,12	4,24	4,38	2,54	1,53	28	0,98	20
3,00	13,37	8,82	5,46	4,43	4,67	2,65	1,59	27	1,03	19
3,20	13,90	9,21	5,80	4,60	4,95	2,75	1,66	27	1,07	19
3,40	14,43	9,60	6,13	4,77	5,24	2,85	1,72	26	1,11	18
3,60	14,95	9,98	6,46	4,94	5,52	2,94	1,78	26	1,15	18
3,80	15,46	10,36	6,78	5,10	5,80	3,03	1,85	26	1,19	18
4,00	15,96	10,73	7,11	5,26	6,08	3,12	1,91	25	1,23	17
4,20	16,45	11,10	7,43	5,41	6,36	3,21	1,96	25	1,26	17
4,40	16,94	11,46	7,75	5,56	6,64	3,30	2,02	25	1,30	17
4,60	17,42	11,82	8,07	5,70	6,91	3,38	2,08	24	1,33	16
4,80	17,90	12,18	8,38	5,85	7,19	3,46	2,13	24	1,37	16
5,00	18,37	12,53	8,70	5,99	7,46	3,54	2,19	24	1,40	16
5,50	19,52	13,40	9,01	6,12	7,73	3,62	2,32	23	1,49	15
6,00	20,64	14,26	9,78	6,46	8,40	3,81	2,45	22	1,57	15
6,50	21,74	15,10	10,54	6,77	9,06	3,99	2,58	22	1,64	15
7,00	22,82	15,93	11,30	7,08	9,72	4,16	2,70	21	1,72	14
7,50	23,88	16,75	12,05	7,37	10,37	4,33	2,81	21	1,79	14
8,00	24,92	17,55	12,79	7,66	11,02	4,49	2,93	20	1,86	13
8,50	25,94	18,35	13,52	7,93	11,67	4,65	3,04	20	1,93	13
9,00	26,95	19,14	14,25	8,20	12,31	4,80	3,15	20	2,00	13
9,50	27,94	19,92	14,98	8,46	12,94	4,94	3,26	19	2,06	13
10,00	28,93	20,70	15,69	8,71	13,58	5,09	3,36	19	2,12	12



## Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso

Tunnel di Fontanabuona  
Chignolo

RG 7 - parametri medi



### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	96,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	8,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>45</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura			
	$m_b$ [-]	0,39	0,13
	$s$ [-]	3,5E-04	3,5E-05
	$a$ [-]	0,51	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,09	0,03
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	1,67	0,52
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	7,75	4,35
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	4,78 - 6,76	

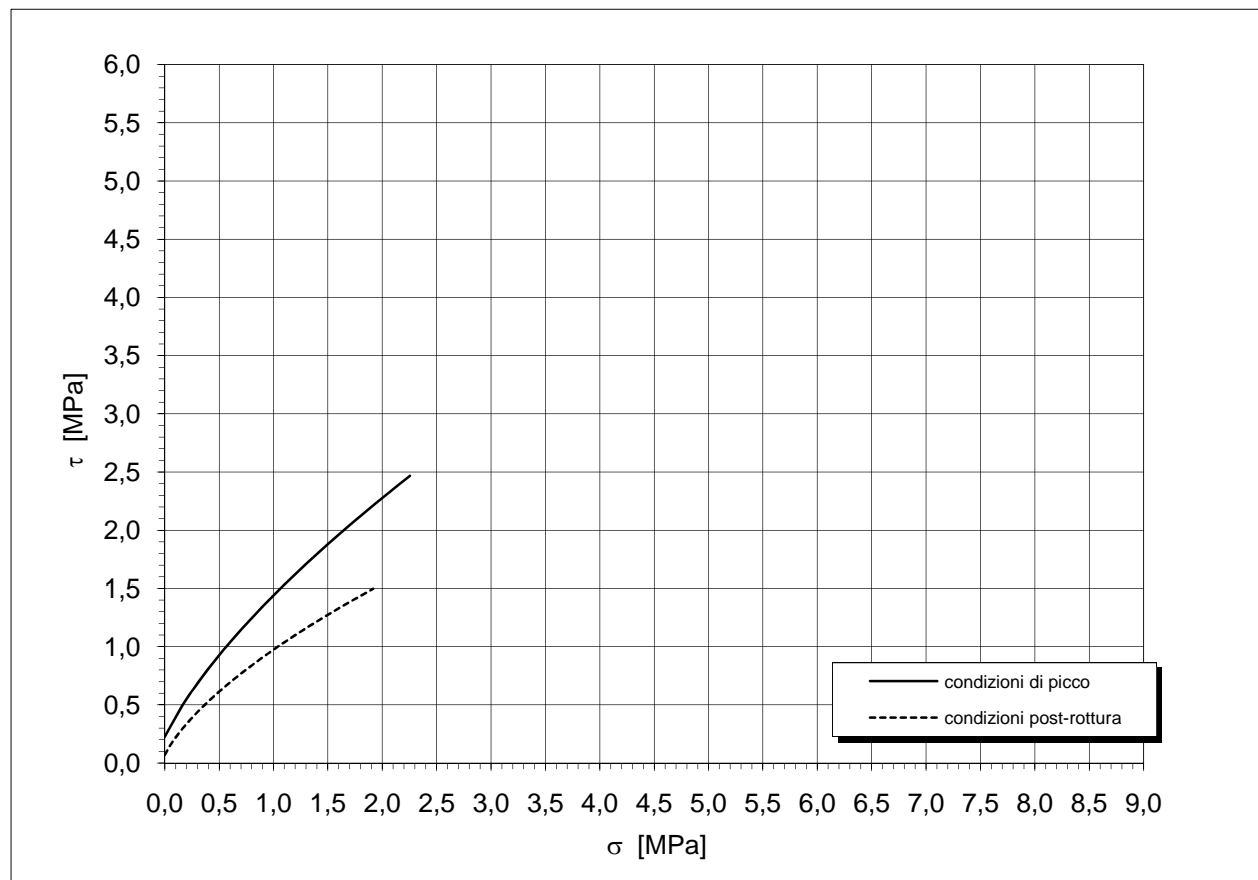
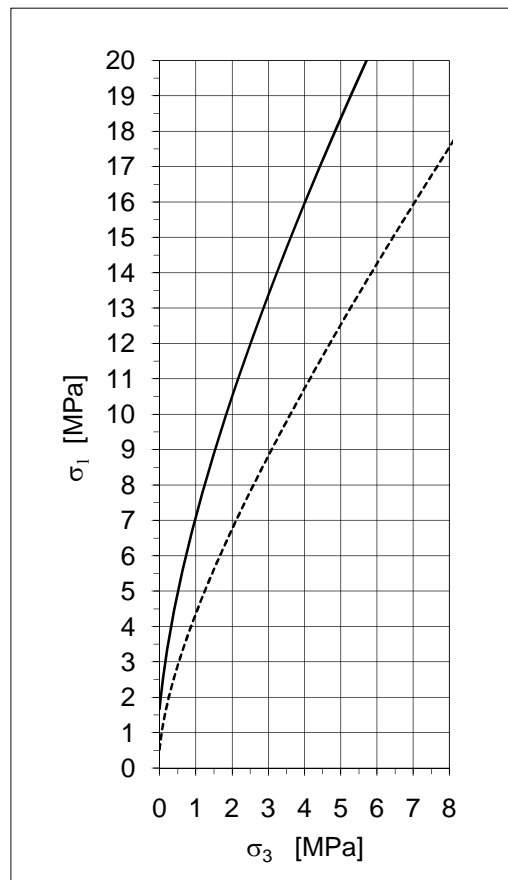
**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO ( $\sigma_3 = 0 - 1 \text{ MPa}$ )**

	picco	post-rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
$\sigma_3$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]
0,00	1,67	0,52	0,00	0,23	0,00	0,07	252	56	78	57
0,01	1,78	0,62	0,14	0,46	0,04	0,14	259	56	85	54
0,02	1,88	0,71	0,16	0,50	0,07	0,18	266	55	92	52
0,03	1,98	0,80	0,19	0,54	0,09	0,21	273	54	99	51
0,04	2,07	0,87	0,21	0,57	0,12	0,24	280	54	106	50
0,05	2,17	0,95	0,24	0,60	0,14	0,27	287	53	113	49
0,06	2,25	1,01	0,26	0,64	0,16	0,30	294	53	119	48
0,07	2,34	1,08	0,29	0,67	0,18	0,32	301	52	126	47
0,08	2,42	1,14	0,31	0,70	0,21	0,35	308	52	133	46
0,09	2,50	1,20	0,33	0,73	0,23	0,37	315	51	139	45
0,10	2,58	1,26	0,36	0,76	0,25	0,39	322	51	145	44
0,11	2,66	1,31	0,38	0,79	0,27	0,41	329	50	151	44
0,12	2,74	1,37	0,41	0,82	0,30	0,43	336	50	157	43
0,13	2,81	1,42	0,43	0,84	0,32	0,45	343	49	163	43
0,14	2,88	1,47	0,45	0,87	0,34	0,47	350	49	169	42
0,15	2,95	1,52	0,47	0,90	0,36	0,49	357	49	175	42
0,16	3,02	1,57	0,50	0,92	0,38	0,51	363	48	180	41
0,17	3,09	1,62	0,52	0,95	0,40	0,53	370	48	186	41
0,18	3,16	1,67	0,54	0,98	0,42	0,55	377	48	191	40
0,19	3,23	1,71	0,57	1,00	0,44	0,57	383	47	197	40
0,20	3,29	1,76	0,59	1,03	0,46	0,58	390	47	202	40
0,22	3,42	1,85	0,61	1,05	0,48	0,60	403	47	212	39
0,24	3,55	1,93	0,66	1,10	0,52	0,63	416	46	223	38
0,26	3,67	2,02	0,70	1,15	0,56	0,67	429	46	233	38
0,28	3,79	2,10	0,75	1,19	0,60	0,70	441	45	243	37
0,30	3,90	2,18	0,79	1,24	0,64	0,73	454	45	252	36
0,32	4,02	2,25	0,83	1,28	0,68	0,75	466	44	262	36
0,34	4,13	2,33	0,88	1,32	0,72	0,78	478	44	271	35
0,36	4,24	2,40	0,92	1,36	0,76	0,81	490	44	280	35
0,38	4,34	2,48	0,96	1,41	0,80	0,84	502	43	289	35
0,40	4,45	2,55	1,01	1,45	0,83	0,86	514	43	298	34
0,42	4,55	2,62	1,05	1,49	0,87	0,89	526	42	306	34
0,44	4,66	2,69	1,09	1,52	0,91	0,91	537	42	315	33
0,46	4,76	2,76	1,13	1,56	0,95	0,94	549	42	323	33
0,48	4,86	2,83	1,18	1,60	0,98	0,96	560	42	332	33
0,50	4,96	2,89	1,22	1,64	1,02	0,99	571	41	340	32
0,55	5,19	3,06	1,26	1,67	1,05	1,01	599	41	360	32
0,60	5,43	3,21	1,36	1,76	1,15	1,07	626	40	379	31
0,65	5,65	3,37	1,47	1,85	1,23	1,12	652	39	398	30
0,70	5,87	3,52	1,57	1,94	1,32	1,17	678	39	417	30
0,75	6,09	3,66	1,67	2,02	1,41	1,22	704	38	435	29
0,80	6,30	3,81	1,77	2,10	1,50	1,27	729	38	453	29
0,85	6,50	3,95	1,87	2,17	1,58	1,32	754	37	470	28
0,90	6,71	4,09	1,96	2,25	1,67	1,37	778	37	487	28
0,95	6,90	4,22	2,06	2,32	1,75	1,41	802	36	503	27
1,00	7,10	4,36	2,16	2,40	1,83	1,45	826	36	519	27
			2,26	2,47	1,92	1,50				

## Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso ( $0 < \sigma_3 < 1 \text{ MPa}$ )

**Tunnel di Fontanabuona  
Chignolo**

**RG 7 - parametri medi**



**Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown**

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	96,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	8,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>45</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,39	0,13
	$s$ [-]	3,5E-04	3,5E-05
	$a$ [-]	0,51	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,09	0,03
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	1,67	0,52
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	7,75	4,35
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	4,78 - 6,76	

**DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOMECCANICI DI RESISTENZA E DEFORMABILITA'**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanabuona
<b>Località</b>	Arboccò
<b>Data</b>	14/09/11
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 8 - parametri medi

**Litologia e descrizione geologica generale**

Calcari marnosi grigio scuro, nocciola in alterazione, in strati decimetrici con sottili interstrati di marne siltose grigie in livelli centimetrici. [Formazione di Monte Antola]

**Tipo di ammasso roccioso secondo la classificazione di Hoek e Marinos, 2000 e parametri di base del materiale roccia**

tipo ammasso	alternanze	classe	B	litotipo a	litotipo b
resistenza a compressione monoassiale			$\sigma_{ci}$ [MPa]	84	50
parametro dell'inviluppo di rottura			$m_i$ [-]	8	7
rapporto del modulo			MR [-]	900	375
percentuale relativa			[%]	95	5

**Parametri del materiale roccia assunti per la classificazione e la parametrizzazione**

resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	84,0
parametro dell'inviluppo di rottura	$m_i$ [-]	8
rapporto del modulo	MR [-]	900

**Q System (Grimstad e Barton, 1993)**

RQD	$J_r$	$J_w$
[%]	[-]	[-]
20	2,0	1,0

**RQD** : Rock Quality Designation       **$J_w$**  : Joint Water Reduction Factor

**$J_n$**  : Joint Set Number

**SRF** : Stress Reduction Factor

**$J_r$**  : Joint Roughness Number

$J_n$	$J_a$	SRF
[-]	[-]	[-]
9,0	4,0	2,5

**$J_a$**  : Joint Alteration Number

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
Q'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
1,11	D	scadente

**Q'** : indice di qualità intrinseco dell'ammasso roccioso ( $J_w = 1$  e  $SRF = 1$ )

**RMR System - Geomechanics Classification (Bieniawski, 1989)**

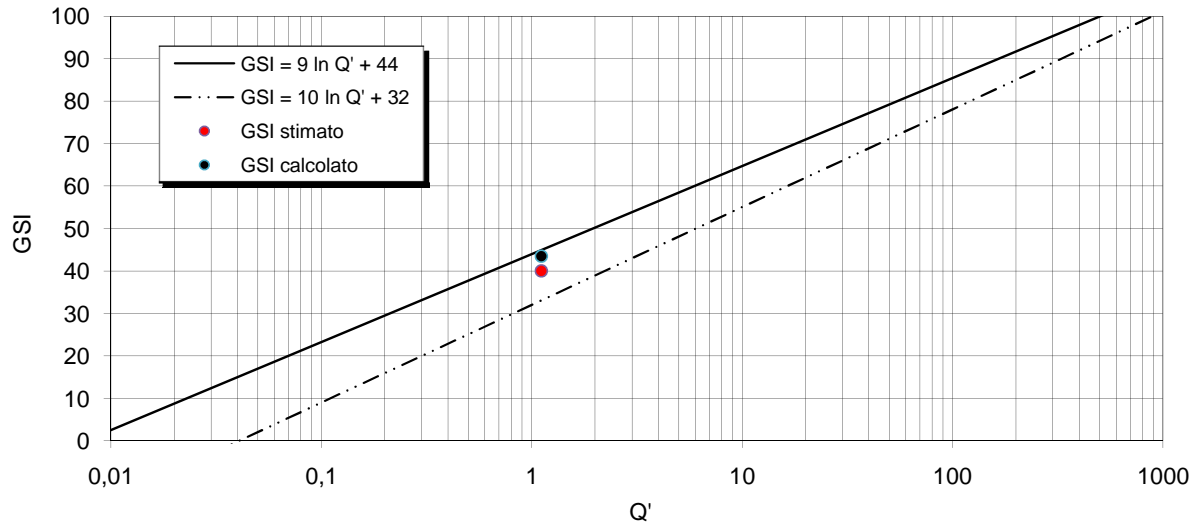
Resistenza a compressione monoassiale $\sigma_{ci}$ [MPa]	84	8
Rock Quality Designation RQD [%]	20	5
N° di famiglie di discontinuità [-]	3	8
Spaziatura delle discontinuità [cm]	25	0
Condizioni delle discontinuità:		1
lunghezza [m]	20	
apertura [mm]	1	
rugosità:		
descrizione [-]	lisce	
JRC [-]	4	1
riempimento:		
tipo [-]	duro	
spessore [mm]	1	4
alterazione [-]	debolmente alterate	5
Condizioni idriche [-]	umido	10

**Rock Mass Rating intrinseco**      **RMR'**      **47**

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
RMR'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
47	III	discreta

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>GSI</b>	calcolato	<b>43</b>
		stimato	<b>40</b>

### Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso



### PARAMETRI GEOMECCANICI

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	84,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	8
rapporto del modulo	$MR$ [-]	900

Coefficiente di disturbo	$D$ [-]	0,7
--------------------------	---------	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,30
	$s$ [-]	1,7E-04
	$a$ [-]	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,05
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,98
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	5,76

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,14
	$s$ [-]	1,7E-05
	$a$ [-]	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,30
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	3,92

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb

$$\tau = c' + \sigma \text{tg} \varphi'$$

Campo tensionale di validità [MPa]	0,0	0,1
------------------------------------	-----	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	55,90
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,14

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	52,39
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,06

#### Modulo di deformabilità

(Serafim e Pereira, 1983; Hoek et al., 2002)	$E_m$ [GPa]	3,35
(Hoek e Diederichs, 2006)	$E_m$ [GPa]	4,40

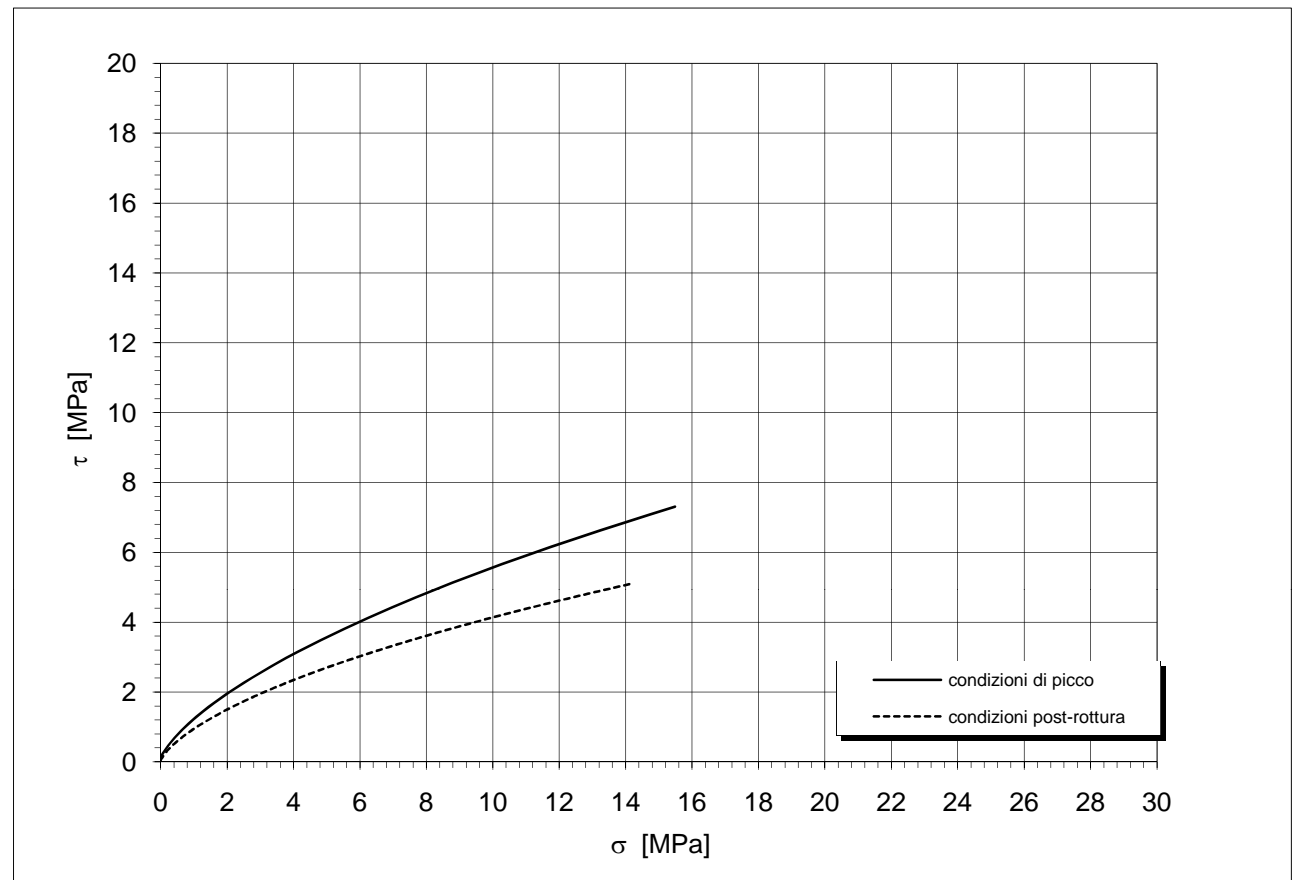
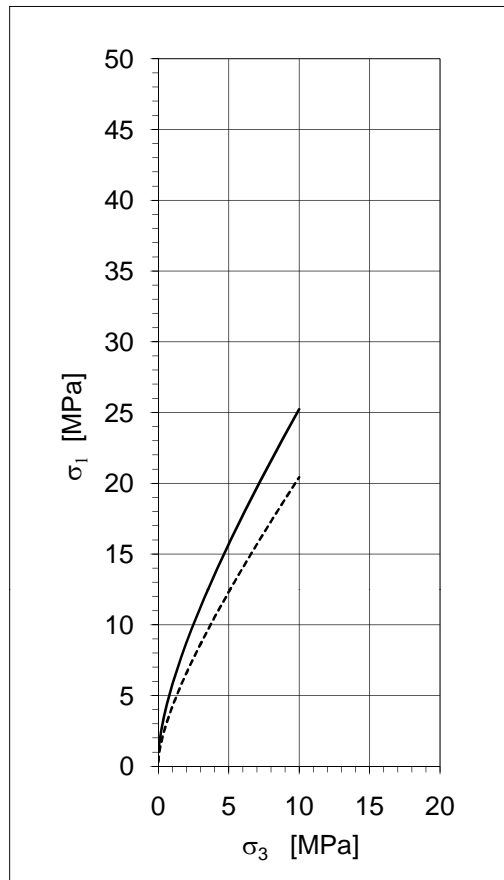
**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO**

$\sigma_3$ [MPa]	picco	post- rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [MPa]	$\varphi_i$ [°]	$c_i$ [MPa]	$\varphi_i$ [°]
0,00	0,98	0,30	0,00	0,13	0,00	0,03	0,14	57	0,04	62
0,05	1,47	0,81	0,08	0,27	0,02	0,07	0,18	52	0,08	50
0,10	1,86	1,14	0,20	0,44	0,14	0,25	0,22	49	0,11	45
0,15	2,19	1,41	0,32	0,58	0,25	0,37	0,25	47	0,15	42
0,20	2,49	1,64	0,43	0,70	0,36	0,47	0,28	45	0,17	40
0,25	2,77	1,86	0,54	0,81	0,46	0,56	0,31	43	0,20	38
0,30	3,02	2,06	0,65	0,92	0,56	0,64	0,34	42	0,23	36
0,35	3,27	2,25	0,75	1,01	0,66	0,71	0,37	41	0,25	35
0,40	3,50	2,43	0,86	1,11	0,75	0,78	0,39	40	0,27	34
0,45	3,72	2,61	0,96	1,19	0,85	0,84	0,42	39	0,29	33
0,50	3,94	2,77	1,06	1,27	0,94	0,90	0,45	38	0,31	32
0,60	4,34	3,09	1,16	1,35	1,03	0,96	0,50	37	0,35	31
0,70	4,73	3,39	1,36	1,50	1,21	1,07	0,54	35	0,39	29
0,80	5,10	3,68	1,55	1,64	1,38	1,17	0,59	34	0,42	28
0,90	5,45	3,96	1,74	1,77	1,55	1,27	0,63	33	0,46	28
1,00	5,79	4,22	1,92	1,90	1,72	1,36	0,67	33	0,49	27
1,10	6,12	4,48	2,10	2,02	1,89	1,44	0,71	32	0,52	26
1,20	6,44	4,74	2,28	2,13	2,05	1,52	0,75	31	0,55	25
1,30	6,75	4,98	2,46	2,24	2,21	1,60	0,79	31	0,58	25
1,40	7,05	5,22	2,64	2,35	2,37	1,67	0,82	30	0,61	24
1,50	7,35	5,46	2,81	2,45	2,53	1,74	0,86	29	0,64	24
1,60	7,64	5,69	2,99	2,55	2,69	1,81	0,90	29	0,66	23
1,70	7,92	5,92	3,16	2,64	2,84	1,88	0,93	28	0,69	23
1,80	8,20	6,14	3,33	2,73	2,99	1,95	0,96	28	0,72	22
1,90	8,48	6,37	3,50	2,83	3,15	2,01	1,00	28	0,74	22
2,00	8,75	6,58	3,66	2,91	3,30	2,07	1,03	27	0,76	22
2,20	9,28	7,01	3,83	3,00	3,45	2,13	1,09	26	0,81	21
2,40	9,79	7,43	4,16	3,17	3,75	2,25	1,16	26	0,86	20
2,60	10,29	7,84	4,49	3,33	4,04	2,36	1,21	25	0,90	20
2,80	10,79	8,24	4,81	3,48	4,33	2,46	1,27	25	0,95	19
3,00	11,27	8,63	5,13	3,63	4,62	2,57	1,33	24	0,99	19
3,20	11,74	9,02	5,44	3,77	4,91	2,67	1,38	24	1,03	18
3,40	12,21	9,41	5,75	3,91	5,19	2,76	1,44	23	1,07	18
3,60	12,66	9,78	6,06	4,04	5,47	2,85	1,49	23	1,11	18
3,80	13,11	10,16	6,37	4,18	5,75	2,94	1,54	22	1,14	17
4,00	13,56	10,52	6,68	4,30	6,03	3,03	1,59	22	1,18	17
4,20	14,00	10,89	6,98	4,43	6,30	3,12	1,64	22	1,22	17
4,40	14,43	11,25	7,28	4,55	6,58	3,20	1,69	21	1,25	17
4,60	14,86	11,61	7,58	4,67	6,85	3,28	1,74	21	1,29	16
4,80	15,28	11,96	7,88	4,78	7,12	3,36	1,78	21	1,32	16
5,00	15,70	12,31	8,18	4,90	7,39	3,44	1,83	21	1,35	16
5,50	16,73	13,18	8,47	5,01	7,66	3,52	1,94	20	1,44	15
6,00	17,74	14,02	8,77	5,28	8,33	3,70	2,05	19	1,51	15
6,50	18,72	14,86	9,92	5,54	8,99	3,88	2,15	19	1,59	14
7,00	19,69	15,68	10,64	5,78	9,65	4,05	2,25	18	1,66	14
7,50	20,65	16,49	11,35	6,02	10,30	4,21	2,35	18	1,73	14
8,00	21,58	17,29	12,05	6,25	10,94	4,37	2,45	18	1,80	13
8,50	22,51	18,09	12,74	6,48	11,58	4,52	2,54	17	1,87	13
9,00	23,42	18,87	13,44	6,69	12,22	4,67	2,63	17	1,93	13
9,50	24,33	19,65	14,12	6,90	12,86	4,82	2,72	17	2,00	12
10,00	25,22	20,42	14,81	7,11	13,49	4,96	2,80	16	2,06	12

## Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso

Tunnel di Fontanabuona  
Arboccò

RG 8 - parametri medi



### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	84,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	8,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>40</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura			
	$m_b$ [-]	0,30	0,14
	$s$ [-]	1,7E-04	1,7E-05
	$a$ [-]	0,51	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,05	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,98	0,30
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	5,76	3,92
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	3,35 - 4,40	

**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO ( $\sigma_3 = 0 - 1 \text{ MPa}$ )**

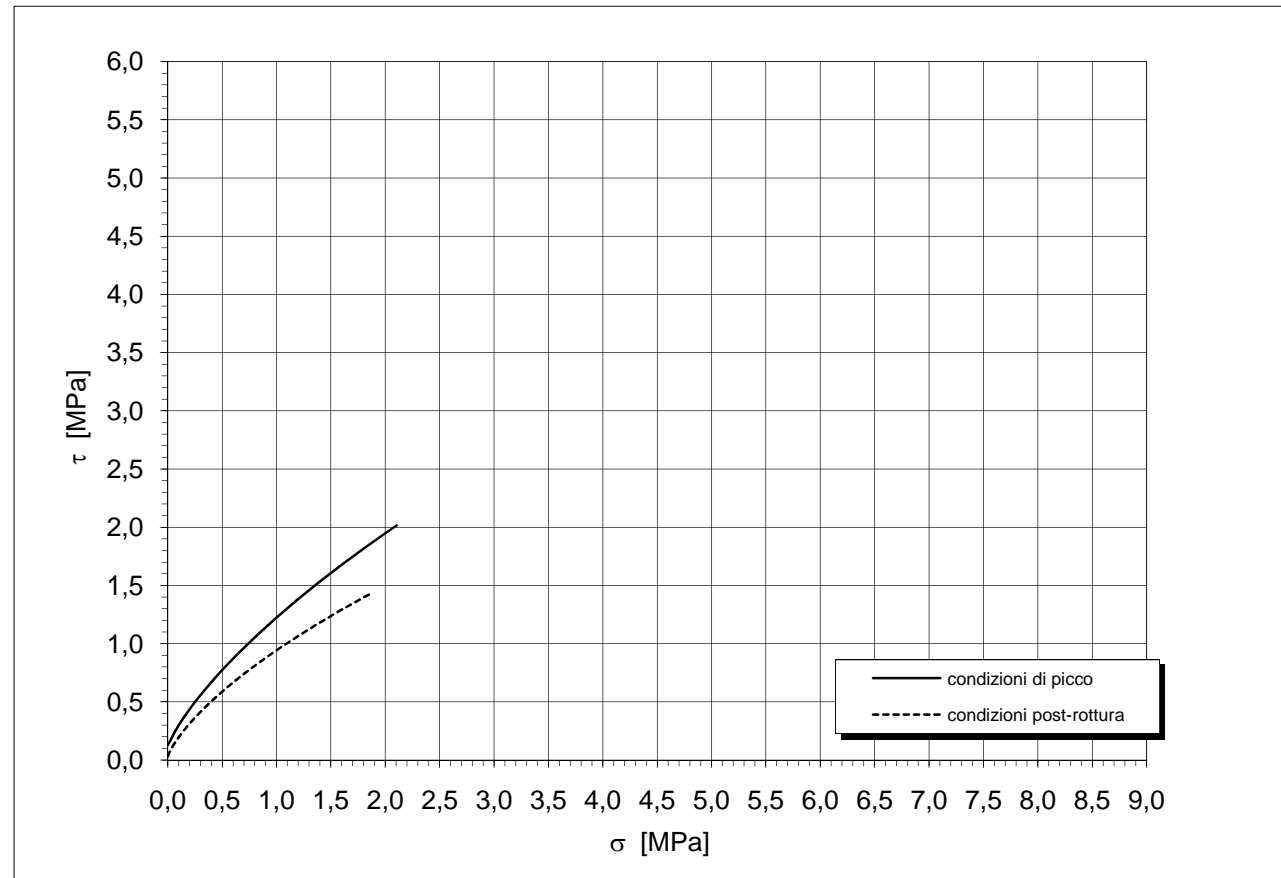
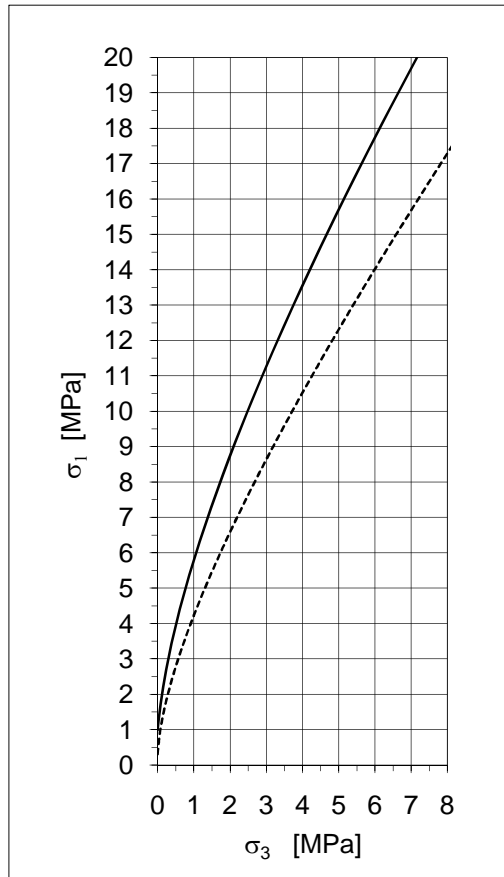
	picco	post-rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
$\sigma_3$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]
0,00	0,98	0,30	0,00	0,13	0,00	0,03	144	57	37	62
0,01	1,10	0,44	0,10	0,30	0,04	0,11	151	56	46	58
0,02	1,20	0,55	0,13	0,34	0,07	0,15	159	55	55	55
0,03	1,29	0,65	0,15	0,37	0,09	0,19	166	54	64	53
0,04	1,39	0,73	0,18	0,41	0,12	0,22	173	53	72	51
0,05	1,47	0,81	0,20	0,44	0,14	0,25	180	52	80	50
0,06	1,55	0,88	0,22	0,47	0,16	0,27	187	51	87	49
0,07	1,63	0,95	0,25	0,50	0,19	0,30	195	51	94	48
0,08	1,71	1,02	0,27	0,52	0,21	0,32	202	50	101	47
0,09	1,79	1,08	0,29	0,55	0,23	0,34	209	49	108	46
0,10	1,86	1,14	0,32	0,58	0,25	0,37	216	49	115	45
0,11	1,93	1,19	0,34	0,60	0,27	0,39	222	48	121	44
0,12	2,00	1,25	0,36	0,63	0,30	0,41	229	48	128	44
0,13	2,06	1,30	0,39	0,65	0,32	0,43	236	47	134	43
0,14	2,13	1,36	0,41	0,68	0,34	0,45	242	47	140	42
0,15	2,19	1,41	0,43	0,70	0,36	0,47	249	47	146	42
0,16	2,25	1,46	0,45	0,73	0,38	0,49	255	46	152	41
0,17	2,31	1,50	0,47	0,75	0,40	0,50	262	46	158	41
0,18	2,37	1,55	0,50	0,77	0,42	0,52	268	45	163	40
0,19	2,43	1,60	0,52	0,79	0,44	0,54	274	45	169	40
0,20	2,49	1,64	0,54	0,81	0,46	0,56	281	45	174	40
0,22	2,60	1,73	0,58	0,86	0,50	0,59	293	44	185	39
0,24	2,71	1,82	0,63	0,90	0,54	0,62	305	43	195	38
0,26	2,82	1,90	0,67	0,94	0,58	0,65	317	43	205	37
0,28	2,92	1,98	0,71	0,98	0,62	0,68	328	42	215	37
0,30	3,02	2,06	0,75	1,01	0,66	0,71	340	42	225	36
0,32	3,12	2,14	0,80	1,05	0,70	0,74	351	41	235	36
0,34	3,22	2,21	0,84	1,09	0,74	0,76	362	41	244	35
0,36	3,31	2,29	0,88	1,12	0,77	0,79	373	41	253	35
0,38	3,41	2,36	0,92	1,16	0,81	0,82	384	40	262	34
0,40	3,50	2,43	0,96	1,19	0,85	0,84	395	40	271	34
0,42	3,59	2,50	1,00	1,23	0,89	0,87	405	39	279	34
0,44	3,68	2,57	1,04	1,26	0,92	0,89	416	39	288	33
0,46	3,77	2,64	1,08	1,29	0,96	0,92	426	39	296	33
0,48	3,85	2,71	1,12	1,32	0,99	0,94	436	38	305	33
0,50	3,94	2,77	1,16	1,35	1,03	0,96	446	38	313	32
0,55	4,14	2,93	1,26	1,43	1,12	1,02	471	37	333	31
0,60	4,34	3,09	1,36	1,50	1,21	1,07	495	37	352	31
0,65	4,54	3,24	1,45	1,57	1,30	1,12	519	36	371	30
0,70	4,73	3,39	1,55	1,64	1,38	1,17	542	35	389	29
0,75	4,92	3,54	1,64	1,71	1,47	1,22	564	35	407	29
0,80	5,10	3,68	1,74	1,77	1,55	1,27	586	34	424	28
0,85	5,27	3,82	1,83	1,84	1,64	1,31	608	34	441	28
0,90	5,45	3,96	1,92	1,90	1,72	1,36	629	33	458	28
0,95	5,62	4,09	2,01	1,96	1,81	1,40	650	33	474	27
1,00	5,79	4,22	2,10	2,02	1,89	1,44	671	33	490	27



## Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso ( $0 < \sigma_3 < 1 \text{ MPa}$ )

**Tunnel di Fontanabuona  
Arboccò**

**RG 8 - parametri medi**



**Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown**

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	84,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	8,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>40</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,30	0,14
	$s$ [-]	1,7E-04	1,7E-05
	$a$ [-]	0,51	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,05	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,98	0,30
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	5,76	3,92
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	3,35 - 4,40	

**DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOMECCANICI DI RESISTENZA E DEFORMABILITA'**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanabuona
<b>Località</b>	Arboccò
<b>Data</b>	14/09/11
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 9 - parametri medi

**Litologia e descrizione geologica generale**

Calcari marnosi grigio scuro, nocciola in alterazione, in strati decimetrici con sottili interstrati marnosi di spessore millimetrico. [Formazione di Monte Antola]

**Tipo di ammasso roccioso secondo la classificazione di Hoek e Marinos, 2000 e parametri di base del materiale roccia**

tipo ammasso	alternanze	classe	B	litotipo a	litotipo b
resistenza a compressione monoassiale		$\sigma_{ci}$ [MPa]		67	50
parametro dell'inviluppo di rottura		$m_i$ [-]		8	7
rapporto del modulo		MR [-]		900	375
percentuale relativa		[%]		95	5

**Parametri del materiale roccia assunti per la classificazione e la parametrizzazione**

resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	67,0
parametro dell'inviluppo di rottura	$m_i$ [-]	8
rapporto del modulo	MR [-]	900

**Q System (Grimstad e Barton, 1993)**

RQD	$J_r$	$J_w$
[%]	[-]	[-]
10	2,0	1,0

**RQD** : Rock Quality Designation       **$J_w$**  : Joint Water Reduction Factor

**$J_n$**  : Joint Set Number

**SRF** : Stress Reduction Factor

**$J_r$**  : Joint Roughness Number

$J_n$	$J_a$	SRF
[-]	[-]	[-]
12,0	2,0	2,5

**$J_a$**  : Joint Alteration Number

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
Q'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
0,83	E	molto scadente

**Q'** : indice di qualità intrinseco dell'ammasso roccioso ( $J_w = 1$  e  $SRF = 1$ )

**RMR System - Geomechanics Classification (Bieniawski, 1989)**

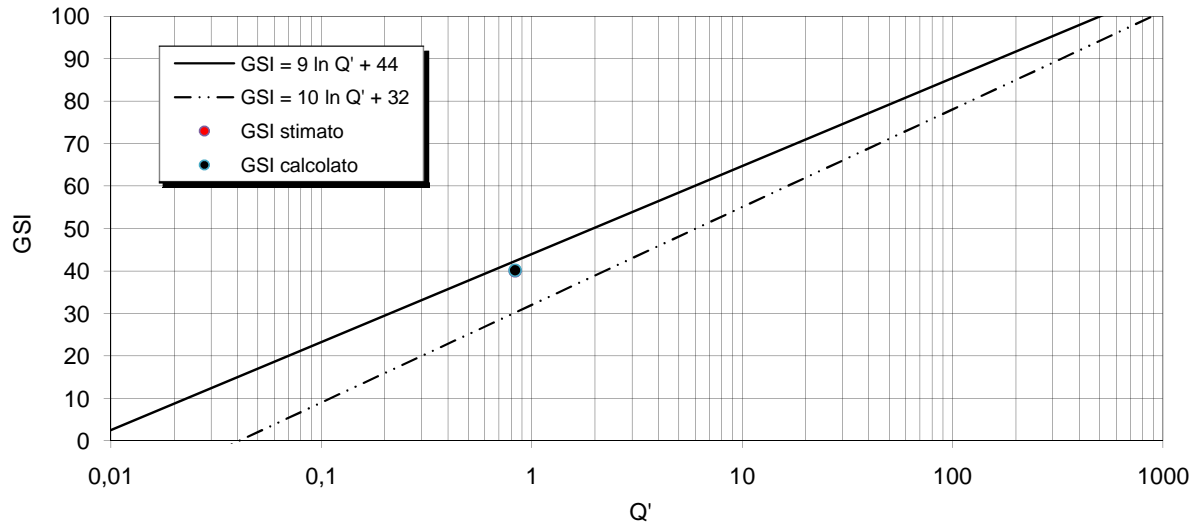
Resistenza a compressione monoassiale $\sigma_{ci}$ [MPa]		
	67	7
Rock Quality Designation RQD [%]		4
	10	
N° di famiglie di discontinuità [-]		6
	4	
Spaziatura delle discontinuità [cm]		
	5	
Condizioni delle discontinuità:		
lunghezza [m]	20	0
apertura [mm]	1	1
rugosità:		
descrizione [-]	lisce	
JRC [-]	6	1
riempimento:		
tipo [-]	duro	
spessore [mm]	1	4
alterazione [-]	debolmente alterate	5
Condizioni idriche [-]	umido	10

**Rock Mass Rating intrinseco**      **RMR'**      **43**

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
RMR'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
43	III	discreta

Geological Strength Index (Hoek e Marinos., 2000)	GSI	calcolato	40
		stimato	40

### Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso



### PARAMETRI GEOMECCANICI

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	67,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	8
rapporto del modulo	$MR$ [-]	900

Coefficiente di disturbo	$D$ [-]	0,7
--------------------------	---------	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,30
	$s$ [-]	1,7E-04
	$a$ [-]	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,04
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,79
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	4,59

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,14
	$s$ [-]	1,7E-05
	$a$ [-]	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,24
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	3,13

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb

$$\tau = c' + \sigma \text{tg} \varphi'$$

Campo tensionale di validità [MPa]	0,0	0,1
------------------------------------	-----	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	54,76
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,12

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	50,81
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,05

#### Modulo di deformabilità

(Serafim e Pereira, 1983; Hoek et al., 2002)	$E_m$ [GPa]	2,99
(Hoek e Diederichs, 2006)	$E_m$ [GPa]	3,51

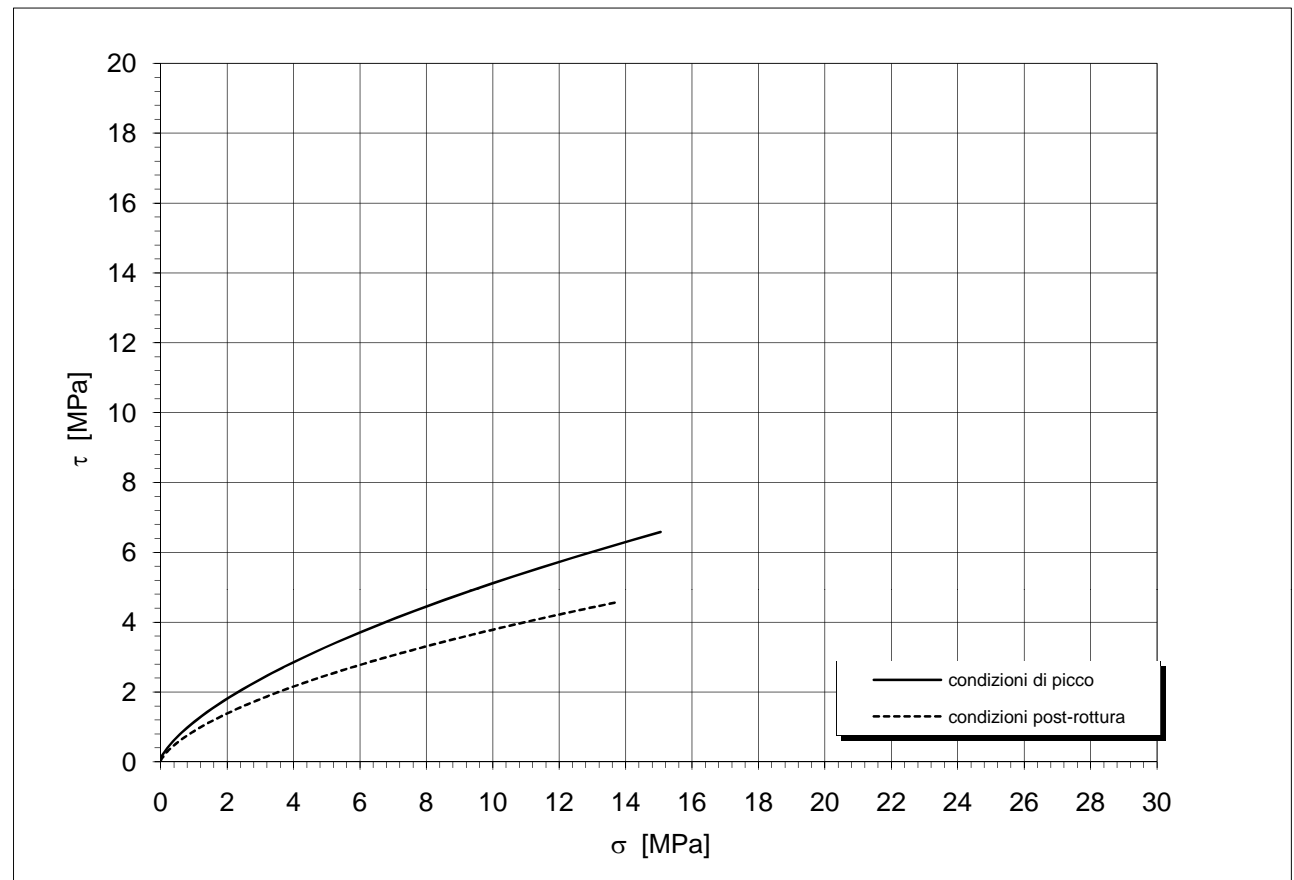
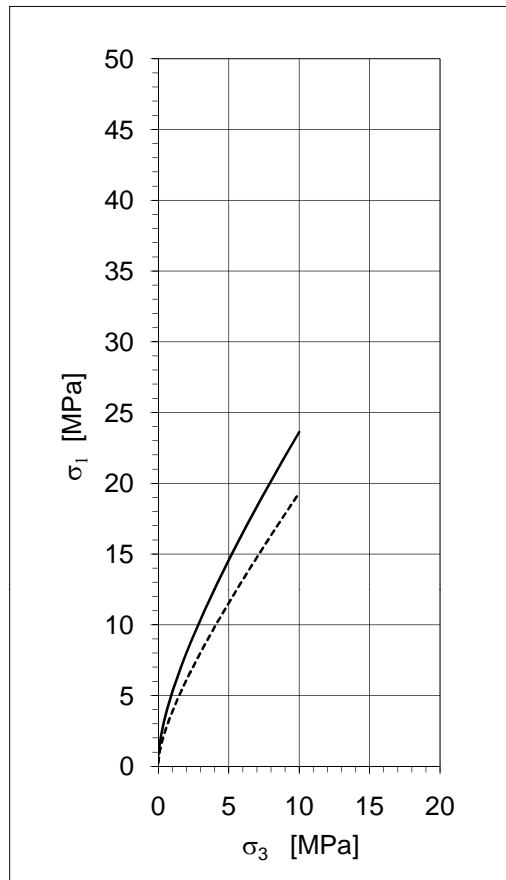
**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO**

$\sigma_3$ [MPa]	picco	post- rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [MPa]	$\varphi_i$ [°]	$c_i$ [MPa]	$\varphi_i$ [°]
0,00	0,79	0,24	0,00	0,10	0,00	0,03	0,12	57	0,03	62
0,05	1,26	0,72	0,06	0,21	0,01	0,06	0,15	51	0,07	48
0,10	1,62	1,02	0,18	0,38	0,13	0,22	0,19	48	0,10	43
0,15	1,93	1,27	0,30	0,51	0,24	0,33	0,22	45	0,13	40
0,20	2,21	1,49	0,41	0,63	0,35	0,43	0,25	43	0,16	38
0,25	2,47	1,69	0,52	0,73	0,45	0,51	0,28	42	0,18	36
0,30	2,70	1,87	0,62	0,83	0,55	0,58	0,30	40	0,21	34
0,35	2,93	2,05	0,73	0,92	0,64	0,65	0,33	39	0,23	33
0,40	3,14	2,22	0,83	1,00	0,73	0,71	0,36	38	0,25	32
0,45	3,35	2,38	0,93	1,08	0,82	0,77	0,38	37	0,27	31
0,50	3,55	2,53	1,03	1,16	0,91	0,82	0,41	36	0,29	30
0,60	3,93	2,83	1,12	1,23	1,00	0,88	0,45	35	0,33	29
0,70	4,28	3,11	1,31	1,37	1,17	0,97	0,49	34	0,36	28
0,80	4,63	3,38	1,50	1,49	1,34	1,07	0,54	33	0,39	27
0,90	4,95	3,63	1,68	1,61	1,51	1,15	0,58	32	0,42	26
1,00	5,27	3,88	1,86	1,72	1,67	1,23	0,61	31	0,45	25
1,10	5,57	4,13	2,04	1,83	1,83	1,31	0,65	30	0,48	24
1,20	5,87	4,36	2,22	1,94	1,99	1,38	0,69	29	0,51	24
1,30	6,16	4,59	2,39	2,03	2,15	1,45	0,72	29	0,54	23
1,40	6,44	4,82	2,56	2,13	2,30	1,52	0,76	28	0,56	23
1,50	6,72	5,04	2,73	2,22	2,46	1,58	0,79	28	0,59	22
1,60	6,99	5,26	2,90	2,31	2,61	1,64	0,82	27	0,61	22
1,70	7,25	5,48	3,06	2,40	2,76	1,70	0,86	27	0,64	21
1,80	7,52	5,69	3,23	2,48	2,91	1,76	0,89	26	0,66	21
1,90	7,77	5,90	3,39	2,56	3,05	1,82	0,92	26	0,68	20
2,00	8,03	6,10	3,55	2,64	3,20	1,87	0,95	26	0,70	20
2,20	8,52	6,51	3,72	2,72	3,35	1,93	1,01	25	0,75	19
2,40	9,00	6,90	4,04	2,87	3,64	2,03	1,06	24	0,79	19
2,60	9,48	7,29	4,35	3,01	3,92	2,13	1,12	24	0,83	18
2,80	9,94	7,67	4,66	3,15	4,21	2,23	1,17	23	0,87	18
3,00	10,39	8,04	4,97	3,28	4,49	2,32	1,22	23	0,91	17
3,20	10,84	8,41	5,28	3,41	4,77	2,41	1,27	22	0,94	17
3,40	11,27	8,78	5,58	3,54	5,04	2,49	1,32	22	0,98	17
3,60	11,70	9,14	5,88	3,66	5,32	2,57	1,37	21	1,01	16
3,80	12,13	9,49	6,18	3,78	5,59	2,66	1,42	21	1,05	16
4,00	12,55	9,84	6,48	3,89	5,86	2,73	1,46	21	1,08	16
4,20	12,96	10,19	6,77	4,00	6,13	2,81	1,51	20	1,12	15
4,40	13,37	10,53	7,07	4,11	6,40	2,89	1,55	20	1,15	15
4,60	13,78	10,87	7,36	4,22	6,66	2,96	1,59	20	1,18	15
4,80	14,18	11,21	7,65	4,32	6,93	3,03	1,64	19	1,21	15
5,00	14,57	11,55	7,93	4,42	7,19	3,10	1,68	19	1,24	15
5,50	15,55	12,37	8,22	4,52	7,45	3,17	1,78	18	1,31	14
6,00	16,50	13,18	8,93	4,76	8,10	3,33	1,88	18	1,38	14
6,50	17,44	13,98	9,63	5,00	8,75	3,49	1,97	17	1,45	13
7,00	18,36	14,77	10,33	5,22	9,39	3,64	2,07	17	1,52	13
7,50	19,26	15,55	11,02	5,43	10,03	3,79	2,15	17	1,58	12
8,00	20,16	16,32	11,70	5,64	10,66	3,93	2,24	16	1,64	12
8,50	21,04	17,08	12,38	5,84	11,29	4,07	2,33	16	1,70	12
9,00	21,91	17,84	13,06	6,03	11,91	4,20	2,41	16	1,76	12
9,50	22,77	18,59	13,73	6,22	12,53	4,33	2,49	15	1,82	11
10,00	23,62	19,33	14,39	6,40	13,15	4,45	2,57	15	1,88	11

# Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso

Tunnel di Fontanabuona  
Arboccò

RG 9 - parametri medi



## Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	67,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	8,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>40</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura			
	$m_b$ [-]	0,30	0,14
	$s$ [-]	1,7E-04	1,7E-05
	$a$ [-]	0,51	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,04	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,79	0,24
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	4,59	3,13
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	2,99 - 3,51	

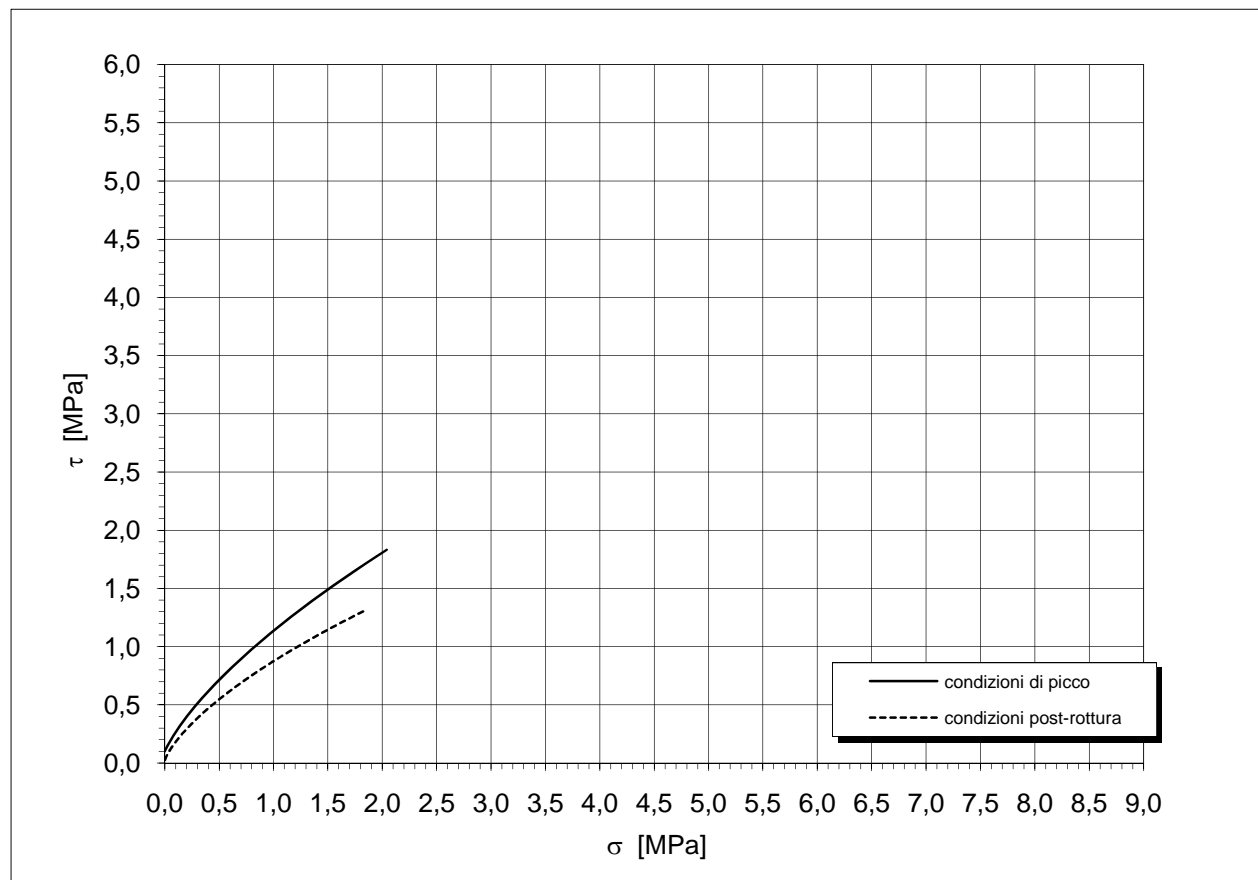
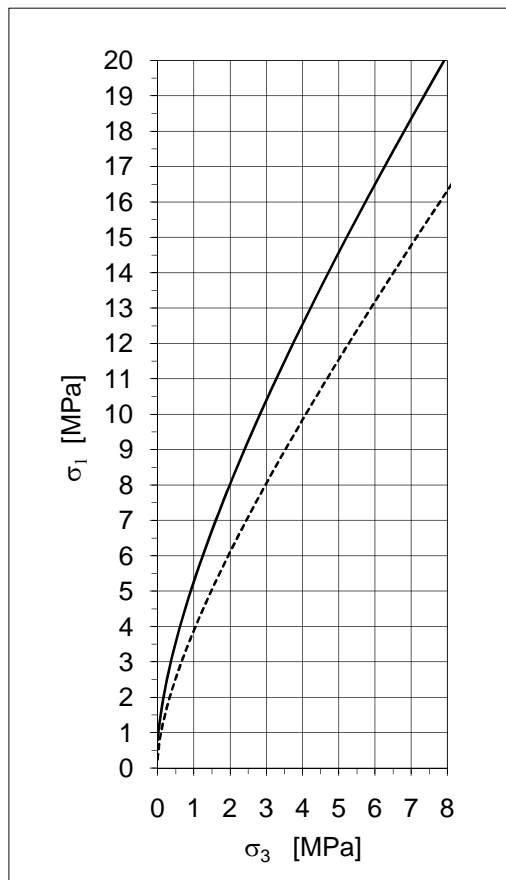
**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO ( $\sigma_3 = 0 - 1 \text{ MPa}$ )**

	picco	post-rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
$\sigma_3$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]
0,00	0,79	0,24	0,00	0,10	0,00	0,03	115	57	30	62
0,01	0,89	0,38	0,09	0,25	0,04	0,10	122	56	39	57
0,02	1,00	0,48	0,11	0,28	0,06	0,14	129	54	48	54
0,03	1,09	0,57	0,14	0,32	0,09	0,17	137	53	56	52
0,04	1,18	0,65	0,16	0,35	0,11	0,20	144	52	64	50
0,05	1,26	0,72	0,18	0,38	0,13	0,22	151	51	71	48
0,06	1,34	0,79	0,21	0,41	0,16	0,25	158	50	78	47
0,07	1,41	0,85	0,23	0,44	0,18	0,27	165	50	85	46
0,08	1,48	0,91	0,25	0,46	0,20	0,29	172	49	92	45
0,09	1,55	0,97	0,28	0,49	0,22	0,31	179	48	98	44
0,10	1,62	1,02	0,30	0,51	0,24	0,33	186	48	105	43
0,11	1,69	1,07	0,32	0,54	0,27	0,35	192	47	111	43
0,12	1,75	1,12	0,34	0,56	0,29	0,37	199	46	117	42
0,13	1,81	1,17	0,37	0,58	0,31	0,39	205	46	122	41
0,14	1,87	1,22	0,39	0,61	0,33	0,41	212	46	128	41
0,15	1,93	1,27	0,41	0,63	0,35	0,43	218	45	134	40
0,16	1,99	1,31	0,43	0,65	0,37	0,44	224	45	139	40
0,17	2,05	1,36	0,45	0,67	0,39	0,46	230	44	145	39
0,18	2,10	1,40	0,48	0,69	0,41	0,48	236	44	150	39
0,19	2,16	1,44	0,50	0,71	0,43	0,49	242	43	155	38
0,20	2,21	1,49	0,52	0,73	0,45	0,51	248	43	160	38
0,22	2,31	1,57	0,56	0,77	0,49	0,54	260	42	170	37
0,24	2,42	1,65	0,60	0,81	0,53	0,57	271	42	180	36
0,26	2,51	1,72	0,64	0,85	0,57	0,59	283	41	189	36
0,28	2,61	1,80	0,69	0,88	0,60	0,62	294	41	199	35
0,30	2,70	1,87	0,73	0,92	0,64	0,65	305	40	208	34
0,32	2,80	1,94	0,77	0,95	0,68	0,67	315	40	216	34
0,34	2,89	2,01	0,81	0,99	0,72	0,70	326	39	225	33
0,36	2,97	2,08	0,85	1,02	0,75	0,72	336	39	234	33
0,38	3,06	2,15	0,89	1,05	0,79	0,75	347	38	242	33
0,40	3,14	2,22	0,93	1,08	0,82	0,77	357	38	250	32
0,42	3,23	2,28	0,97	1,11	0,86	0,79	367	38	258	32
0,44	3,31	2,34	1,01	1,14	0,90	0,81	376	37	266	31
0,46	3,39	2,41	1,04	1,17	0,93	0,83	386	37	274	31
0,48	3,47	2,47	1,08	1,20	0,97	0,86	396	37	281	31
0,50	3,55	2,53	1,12	1,23	1,00	0,88	405	36	289	30
0,55	3,74	2,68	1,22	1,30	1,09	0,93	428	36	307	30
0,60	3,93	2,83	1,31	1,37	1,17	0,97	451	35	325	29
0,65	4,11	2,97	1,41	1,43	1,26	1,02	473	34	343	28
0,70	4,28	3,11	1,50	1,49	1,34	1,07	494	34	359	28
0,75	4,46	3,24	1,59	1,55	1,43	1,11	515	33	376	27
0,80	4,63	3,38	1,68	1,61	1,51	1,15	536	33	392	27
0,85	4,79	3,51	1,77	1,67	1,59	1,19	556	32	408	26
0,90	4,95	3,63	1,86	1,72	1,67	1,23	576	32	423	26
0,95	5,11	3,76	1,95	1,78	1,75	1,27	595	31	438	25
1,00	5,27	3,88	2,04	1,83	1,83	1,31	615	31	453	25

## Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso ( $0 < \sigma_3 < 1 \text{ MPa}$ )

**Tunnel di Fontanabuona  
Arboccò**

**RG 9 - parametri medi**



### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	67,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	8,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>40</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,30	0,14
	$s$ [-]	1,7E-04	1,7E-05
	$a$ [-]	0,51	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,04	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,79	0,24
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	4,59	3,13
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	2,99 - 3,51	

**DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOMECCANICI DI RESISTENZA E DEFORMABILITA'**

<b>Committente</b>	Spea S.p.A.
<b>Commessa</b>	Tunnel di Fontanabuona
<b>Località</b>	Rapallo
<b>Data</b>	14/09/11
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	RG 10 - parametri medi

**Litologia e descrizione geologica generale**

Calcari marnosi grigio scuro, nocciola in alterazione, in strati decimetrici con sottili interstrati marnosi di spessore millimetrico. [Formazione di Monte Antola]

**Tipo di ammasso roccioso secondo la classificazione di Hoek e Marinos, 2000 e parametri di base del materiale roccia**

tipo ammasso	alternanze	classe	B	litotipo a	litotipo b
resistenza a compressione monoassiale			$\sigma_{ci}$ [MPa]	68	50
parametro dell'inviluppo di rottura			$m_i$ [-]	8	7
rapporto del modulo			MR [-]	900	375
percentuale relativa			[%]	95	5

**Parametri del materiale roccia assunti per la classificazione e la parametrizzazione**

resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	68,0
parametro dell'inviluppo di rottura	$m_i$ [-]	8
rapporto del modulo	MR [-]	900

**Q System (Grimstad e Barton, 1993)**

RQD	$J_r$	$J_w$
[%]	[-]	[-]
10	2,0	1,0

**RQD** : Rock Quality Designation       **$J_w$**  : Joint Water Reduction Factor

**$J_n$**  : Joint Set Number

**SRF** : Stress Reduction Factor

**$J_r$**  : Joint Roughness Number

$J_n$	$J_a$	SRF
[-]	[-]	[-]
9,0	2,0	2,5

**$J_a$**  : Joint Alteration Number

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
Q'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
1,11	D	scadente

**Q'** : indice di qualità intrinseco dell'ammasso roccioso ( $J_w = 1$  e  $SRF = 1$ )

**RMR System - Geomechanics Classification (Bieniawski, 1989)**

Resistenza a compressione monoassiale $\sigma_{ci}$ [MPa]		
	68	7
Rock Quality Designation RQD [%]	10	4
N° di famiglie di discontinuità [-]	3	
Spaziatura delle discontinuità [cm]	5	6
Condizioni delle discontinuità:		
lunghezza [m]	20	0
apertura [mm]	1	1
rugosità:		
descrizione [-]	lisce	
JRC [-]	4	1
riempimento:		
tipo [-]	duro	
spessore [mm]	1	4
alterazione [-]	debolmente alterate	5
Condizioni idriche [-]	umido	10

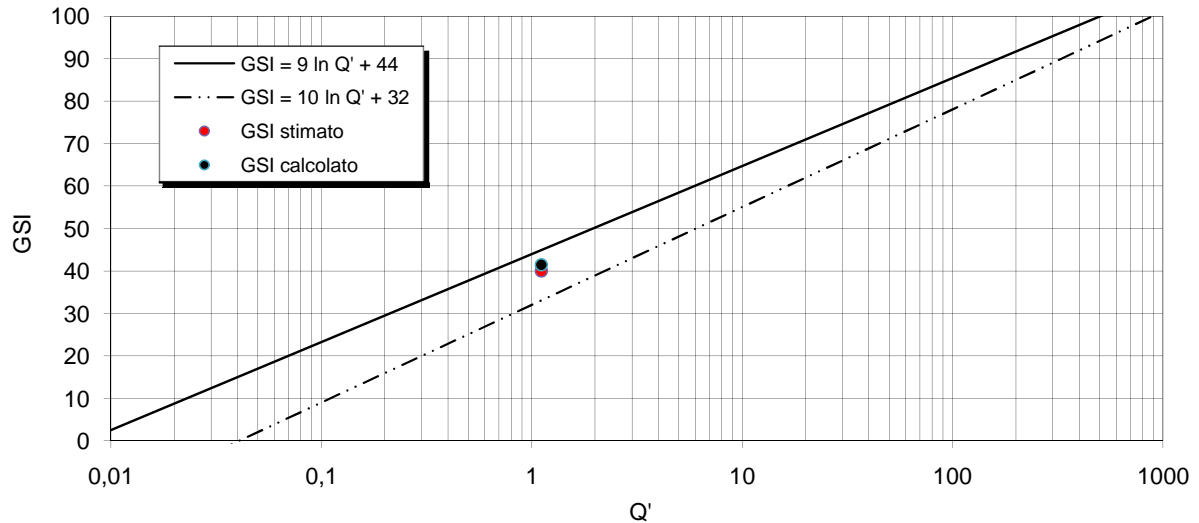
**Rock Mass Rating intrinseco**      **RMR'**      **43**

Qualità intrinseca dell'ammasso roccioso		
RMR'	classe	qualità dell'ammasso
[-]		
43	III	discreta

Geological Strength Index (Hoek e Marinos., 2000)	GSI	calcolato	41
		stimato	40



### Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso



### PARAMETRI GEOMECCANICI

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	68,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	8
rapporto del modulo	$MR$ [-]	900

Coefficiente di disturbo	$D$ [-]	0,7
--------------------------	---------	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,30
	$s$ [-]	1,7E-04
	$a$ [-]	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,04
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,80
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	4,66

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,14
	$s$ [-]	1,7E-05
	$a$ [-]	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,25
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	3,18

#### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb

$$\tau = c' + \sigma \operatorname{tg} \varphi'$$

Campo tensionale di validità [MPa]	0,0	0,1
------------------------------------	-----	-----

Ammasso roccioso - Condizioni di picco		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	54,84
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,12

Ammasso roccioso - Condizioni post-rottura		
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\varphi'$ [°]	50,91
Coesione efficace	$c'$ [MPa]	0,05

#### Modulo di deformabilità

(Serafim e Pereira, 1983; Hoek et al., 2002)	$E_m$ [GPa]	3,01
(Hoek e Diederichs, 2006)	$E_m$ [GPa]	3,56

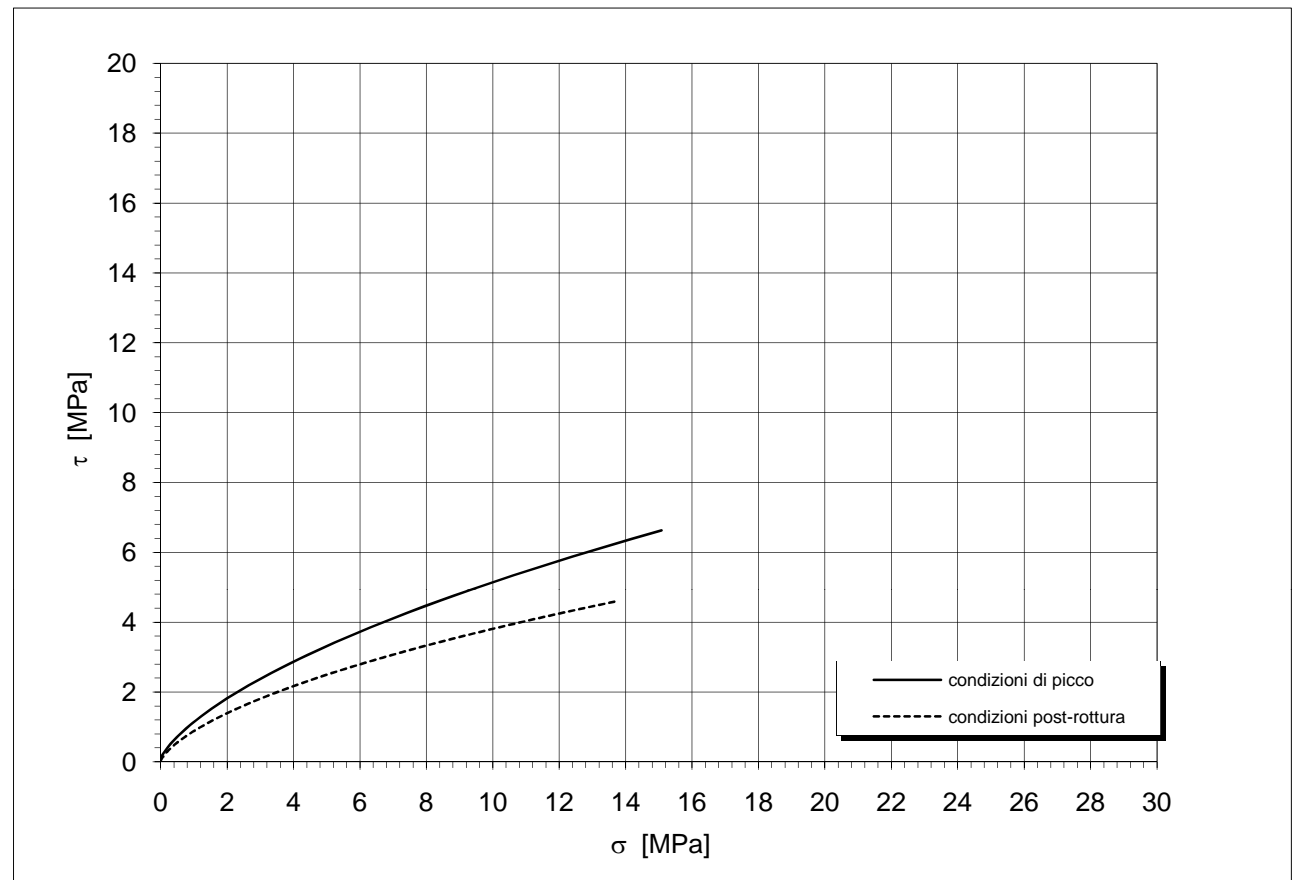
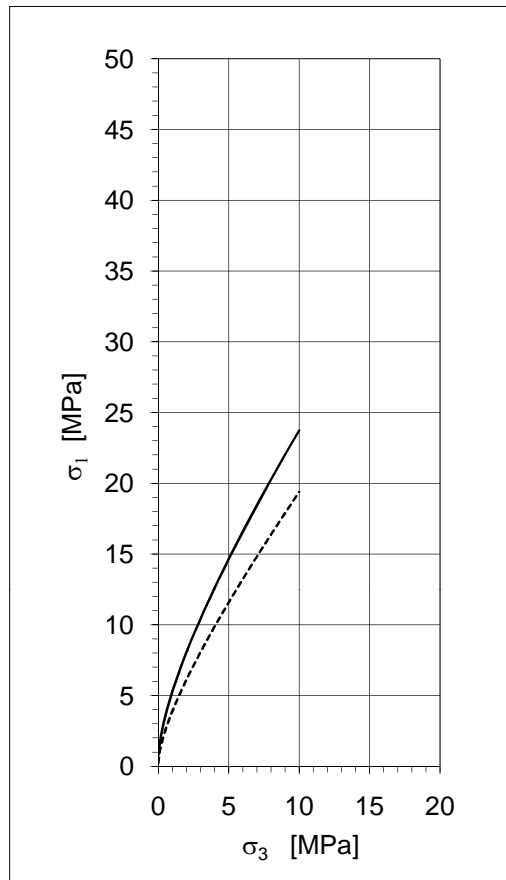
**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO**

$\sigma_3$ [MPa]	picco	post-rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [MPa]	$\varphi_i$ [°]	$c_i$ [MPa]	$\varphi_i$ [°]
0,00	0,80	0,25	0,00	0,10	0,00	0,03	0,12	57	0,03	62
0,05	1,27	0,72	0,18	0,38	0,13	0,22	0,15	51	0,07	48
0,10	1,63	1,03	0,30	0,52	0,25	0,34	0,19	48	0,11	43
0,15	1,95	1,28	0,41	0,63	0,35	0,43	0,22	45	0,13	40
0,20	2,23	1,50	0,52	0,74	0,45	0,51	0,25	43	0,16	38
0,25	2,48	1,70	0,62	0,83	0,55	0,58	0,28	42	0,19	36
0,30	2,72	1,88	0,73	0,92	0,64	0,65	0,31	40	0,21	35
0,35	2,95	2,06	0,83	1,01	0,74	0,71	0,33	39	0,23	33
0,40	3,17	2,23	0,93	1,09	0,83	0,77	0,36	38	0,25	32
0,45	3,37	2,39	1,03	1,16	0,92	0,83	0,38	37	0,27	31
0,50	3,57	2,55	1,12	1,24	1,00	0,88	0,41	36	0,29	30
0,60	3,95	2,84	1,32	1,37	1,18	0,98	0,45	35	0,33	29
0,70	4,31	3,12	1,50	1,50	1,35	1,07	0,50	34	0,36	28
0,80	4,65	3,39	1,69	1,62	1,51	1,16	0,54	33	0,39	27
0,90	4,98	3,65	1,87	1,74	1,68	1,24	0,58	32	0,43	26
1,00	5,30	3,90	2,04	1,84	1,84	1,32	0,62	31	0,45	25
1,10	5,61	4,15	2,22	1,95	1,99	1,39	0,66	30	0,48	24
1,20	5,91	4,39	2,39	2,05	2,15	1,46	0,69	30	0,51	24
1,30	6,20	4,62	2,56	2,14	2,31	1,53	0,73	29	0,54	23
1,40	6,48	4,85	2,73	2,24	2,46	1,59	0,76	28	0,56	23
1,50	6,76	5,07	2,90	2,33	2,61	1,65	0,80	28	0,59	22
1,60	7,03	5,29	3,07	2,41	2,76	1,71	0,83	27	0,61	22
1,70	7,30	5,50	3,23	2,50	2,91	1,77	0,86	27	0,64	21
1,80	7,56	5,72	3,40	2,58	3,06	1,83	0,89	26	0,66	21
1,90	7,82	5,93	3,56	2,66	3,21	1,89	0,92	26	0,69	21
2,00	8,07	6,13	3,72	2,74	3,35	1,94	0,95	26	0,71	20
2,20	8,57	6,54	4,04	2,89	3,64	2,04	1,01	25	0,75	20
2,40	9,05	6,93	4,36	3,03	3,93	2,14	1,07	24	0,79	19
2,60	9,53	7,32	4,67	3,17	4,21	2,24	1,12	24	0,83	18
2,80	9,99	7,70	4,98	3,31	4,50	2,33	1,18	23	0,87	18
3,00	10,45	8,08	5,29	3,44	4,77	2,42	1,23	23	0,91	18
3,20	10,89	8,45	5,59	3,56	5,05	2,51	1,28	22	0,95	17
3,40	11,33	8,82	5,89	3,68	5,33	2,59	1,33	22	0,99	17
3,60	11,76	9,18	6,19	3,80	5,60	2,67	1,38	21	1,02	16
3,80	12,19	9,53	6,49	3,92	5,87	2,75	1,42	21	1,05	16
4,00	12,61	9,88	6,79	4,03	6,14	2,83	1,47	21	1,09	16
4,20	13,03	10,23	7,08	4,14	6,41	2,91	1,51	20	1,12	16
4,40	13,44	10,58	7,37	4,25	6,67	2,98	1,56	20	1,15	15
4,60	13,84	10,92	7,66	4,35	6,94	3,05	1,60	20	1,19	15
4,80	14,25	11,26	7,95	4,45	7,20	3,12	1,65	19	1,22	15
5,00	14,64	11,59	8,24	4,55	7,47	3,19	1,69	19	1,25	15
5,50	15,62	12,42	8,95	4,80	8,12	3,36	1,79	19	1,32	14
6,00	16,58	13,24	9,65	5,03	8,77	3,52	1,89	18	1,39	14
6,50	17,52	14,04	10,35	5,25	9,41	3,67	1,98	18	1,46	13
7,00	18,44	14,83	11,04	5,47	10,04	3,82	2,08	17	1,53	13
7,50	19,35	15,61	11,73	5,68	10,68	3,96	2,17	17	1,59	12
8,00	20,24	16,38	12,41	5,88	11,31	4,10	2,25	16	1,65	12
8,50	21,13	17,15	13,08	6,07	11,93	4,23	2,34	16	1,72	12
9,00	22,00	17,90	13,75	6,26	12,55	4,36	2,42	16	1,77	12
9,50	22,86	18,65	14,42	6,45	13,17	4,49	2,50	15	1,83	11
10,00	23,72	19,39	15,08	6,63	13,79	4,61	2,58	15	1,89	11

## Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso

**Tunnel di Fontanabuona  
Rapallo**

**RG 10 - parametri medi**



**Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown**

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	68,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	8,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>40</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura			
	$m_b$ [-]	0,30	0,14
	$s$ [-]	1,7E-04	1,7E-05
	$a$ [-]	0,51	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,04	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,80	0,25
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	4,66	3,18
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	3,01 - 3,56	

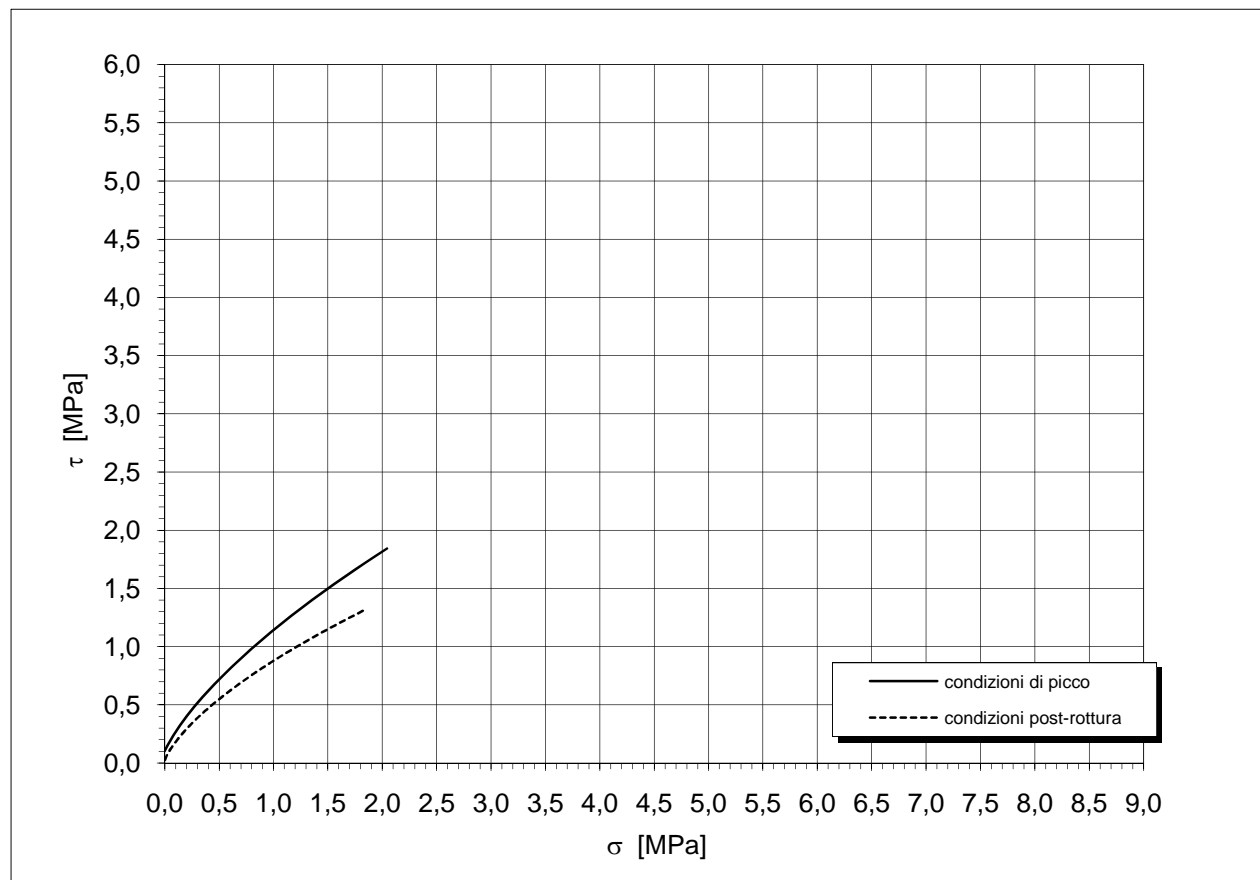
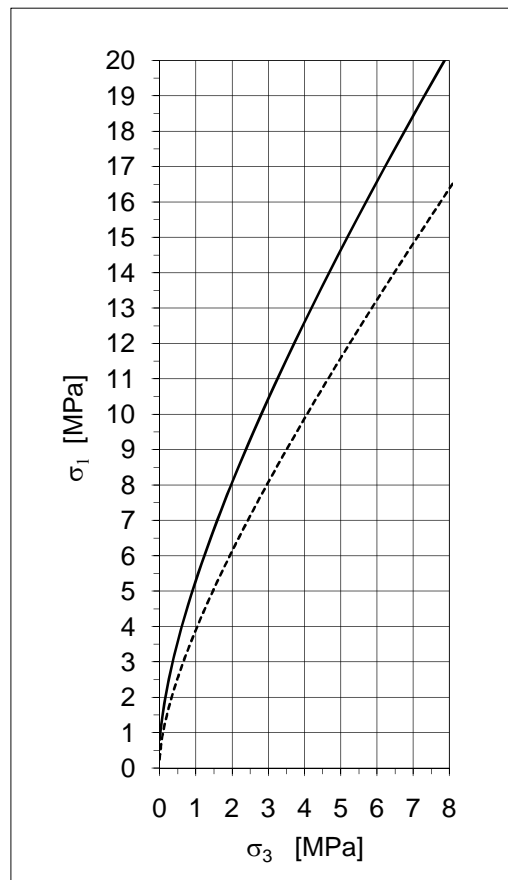
**INVILUPPO DI ROTTURA DELL'AMMASSO ROCCIOSO ( $\sigma_3 = 0 - 1 \text{ MPa}$ )**

	picco	post-rottura	condizioni di picco		condizioni post-rottura		condizioni di picco		condizioni post-rottura	
$\sigma_3$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]	$c_i$ [kPa]	$\phi_i$ [°]
0,00	0,80	0,25	0,00	0,10	0,00	0,03				
0,01	0,91	0,38	0,06	0,22	0,01	0,06	117	57	30	62
0,02	1,01	0,49	0,09	0,25	0,04	0,10	124	56	39	57
0,03	1,10	0,57	0,11	0,29	0,06	0,14	131	54	48	54
0,04	1,19	0,65	0,14	0,32	0,09	0,17	138	53	56	52
0,05	1,27	0,72	0,16	0,35	0,11	0,20	146	52	64	50
0,06	1,35	0,79	0,18	0,38	0,13	0,22	153	51	72	48
0,07	1,42	0,85	0,21	0,41	0,16	0,25	160	50	79	47
0,08	1,50	0,91	0,23	0,44	0,18	0,27	167	50	86	46
0,09	1,57	0,97	0,25	0,47	0,20	0,29	174	49	92	45
0,10	1,63	1,03	0,28	0,49	0,22	0,32	181	48	99	44
0,11	1,70	1,08	0,30	0,52	0,25	0,34	187	48	105	43
0,12	1,76	1,13	0,32	0,54	0,27	0,36	194	47	111	43
0,13	1,83	1,18	0,35	0,57	0,29	0,38	201	47	117	42
0,14	1,89	1,23	0,37	0,59	0,31	0,39	207	46	123	41
0,15	1,95	1,28	0,39	0,61	0,33	0,41	213	46	129	41
0,16	2,00	1,32	0,41	0,63	0,35	0,43	220	45	134	40
0,17	2,06	1,37	0,43	0,66	0,37	0,45	226	45	140	40
0,18	2,12	1,41	0,45	0,68	0,39	0,46	232	44	145	39
0,19	2,17	1,45	0,48	0,70	0,41	0,48	238	44	151	39
0,20	2,23	1,50	0,50	0,72	0,43	0,50	244	44	156	38
0,22	2,33	1,58	0,52	0,74	0,45	0,51	250	43	161	38
0,24	2,43	1,66	0,56	0,78	0,49	0,54	262	43	171	37
0,26	2,53	1,74	0,60	0,82	0,53	0,57	273	42	181	36
0,28	2,63	1,81	0,65	0,85	0,57	0,60	285	41	190	36
0,30	2,72	1,88	0,69	0,89	0,60	0,63	296	41	200	35
0,32	2,82	1,96	0,73	0,92	0,64	0,65	307	40	209	35
0,34	2,91	2,03	0,77	0,96	0,68	0,68	318	40	218	34
0,36	2,99	2,10	0,81	0,99	0,72	0,70	328	39	226	34
0,38	3,08	2,16	0,85	1,02	0,75	0,73	339	39	235	33
0,40	3,17	2,23	0,89	1,06	0,79	0,75	349	39	243	33
0,42	3,25	2,29	0,93	1,09	0,83	0,77	359	38	251	32
0,44	3,33	2,36	0,97	1,12	0,86	0,80	369	38	259	32
0,46	3,41	2,42	1,01	1,15	0,90	0,82	379	37	267	32
0,48	3,49	2,48	1,05	1,18	0,93	0,84	389	37	275	31
0,50	3,57	2,55	1,09	1,21	0,97	0,86	398	37	283	31
0,55	3,77	2,70	1,12	1,24	1,00	0,88	408	36	291	30
0,60	3,95	2,84	1,22	1,31	1,09	0,93	431	36	309	30
0,65	4,13	2,99	1,32	1,37	1,18	0,98	454	35	327	29
0,70	4,31	3,12	1,41	1,44	1,26	1,03	476	34	344	28
0,75	4,48	3,26	1,44	1,44	1,26	1,03	476	34	344	28
0,80	4,65	3,39	1,50	1,50	1,35	1,07	497	34	361	28
0,85	4,82	3,52	1,59	1,56	1,43	1,12	518	33	378	27
0,90	4,98	3,65	1,59	1,62	1,51	1,16	539	33	394	27
0,95	5,14	3,78	1,78	1,68	1,59	1,20	559	32	410	26
1,00	5,30	3,90	1,87	1,74	1,68	1,24	579	32	425	26
			1,96	1,79	1,76	1,28	599	31	440	25
			2,04	1,84	1,84	1,32	618	31	455	25

## Involuppi di rottura dell'ammasso roccioso ( $0 < \sigma_3 < 1 \text{ MPa}$ )

**Tunnel di Fontanabuona  
Rapallo**

**RG 10 - parametri medi**



### Parametri di resistenza secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (\text{Hoek et al., 2002})$$

Materiale roccia		
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_{ci}$ [MPa]	68,0
resistenza a trazione (calcolata)	$\sigma_{ti}$ [MPa]	0,1
parametro dell'involuppo di rottura	$m_i$ [-]	8,0

<b>Geological Strength Index</b> (Hoek e Marinos., 2000)	<b>40</b>
--	-----------

Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso		picco	post-rottura
parametri dell'involuppo di rottura	$m_b$ [-]	0,30	0,14
	$s$ [-]	1,7E-04	1,7E-05
	$a$ [-]	0,51	0,51
resistenza a trazione	$\sigma_t$ [MPa]	0,04	0,01
resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c$ [MPa]	0,80	0,25
resistenza globale	$\sigma_{cm}$ [MPa]	4,66	3,18
modulo di deformabilità	$E_m$ [GPa]	3,01 - 3,56	