

COMMITTENTE



COMUNE DI PALERMO
AREA INFRASTRUTTURE E TERRITORIO

PROGETTISTA

ATI:



(Capogruppo Mandataria)



DOMINIQUE PERRAULT
ARCHITECTE

METROPOLITANA AUTOMATICA LEGGERA DELLA CITTA' DI
PALERMO
PRIMA LINEA
TRATTA FUNZIONALE ORETO/NOTARBARTOLO

PROGETTO PRELIMINARE

PROVE DI LABORATORIO SU CAMPIONI DI ROCCIA
PARTE II

COMMESSA	FASE	COMPARTO	DOCUMENTO	REV	SCALA	NOME FILE
MPA1	PP	IND	INPL09	0		IND_INPL09_0.pdf

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	AUTORIZZATO	PROGETTISTA
0	AGOSTO 2006	EMISSIONE ELABORATI OPERE CIVILI PER CONSEGNA FINALE	Speciale	Canzoneri	Checchi	Piscitelli	

Metropolitana Automatica Leggera della Città di Palermo. Prima linea - Oreto-Notarbartolo

Prove di laboratorio

Nel presente elaborato si riportano i risultati delle prove di laboratorio effettuate su 24 campioni di roccia prelevati nel corso delle indagini per la realizzazione della Metropolitana Automatica Leggera di Palermo. Prima linea - Oreto-Notarbartolo.

Le prove sono state effettuate su incarico della SYSTRA S.A..

I campioni sono stati descritti singolarmente, specificando il colore, la grana, la porosità, il grado di cementazione e l'eventuale presenza di alterazioni.

La determinazione del peso dell'unità di volume γ è stata effettuata con il metodo del calibro.

Per la determinazione delle caratteristiche di resistenza sono state effettuate 18 prove di compressione semplice e 37 prove di carico puntuale.

Le prove sono state eseguite utilizzando una macchina universale GALDABINI PMA 60, matricola n. 33201, di portata 600 kN, classe 1. La verifica semestrale di taratura è stata eseguita dal Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica dell'Università di Palermo il 21/6/2006.

Le prove di compressione semplice sono state eseguite su campioni di forma cilindrica ricavati mediante sagomatura, in accordo con quanto previsto dalla Normativa ISRM (1978). La tensione normale applicata σ_v è stata misurata mediante una cella di carico elettronica e l'accorciamento verticale del campione per mezzo di un trasduttore elettronico.

Le prove di carico puntuale sono state eseguite in accordo con quanto previsto dalla Normativa ISRM (1985).

Sono state effettuate prove *assiali* applicando il carico parallelamente all'asse, su provini di forma cilindrica, con D e 2L rispettivamente altezza media e diametro medio.

Dal momento che la roccia non presentava laminazioni, stratificazioni, scistosità o comunque anisotropie in genere, non è stato determinato il valore dell'indice di anisotropia.

Nel modulo allegato, oltre ai valori delle grandezze geometriche e del carico di rottura P, si riportano il diametro equivalente D_e , l'indice di carico puntuale I_S , il fattore di correzione di forma F e l'indice di carico puntuale standard $I_{S(50)}$.

Nelle pagine seguenti sono riportati, nell'ordine, l'elenco dei simboli adottati le descrizioni e le schede relative alle prove eseguite sui singoli campioni.

Palermo, agosto 2006

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Gabriele Speciale

ELENCO DEI SIMBOLI

γ	Peso dell'unità di volume	σ_1	Tensione assiale
γ_{sat}	Peso dell'unità di volume del campione saturo	σ_3	Pressione di confinamento
γ_i	Peso dell'unità di volume all'inizio della prova	σ_{1f}	Tensione assiale a rottura
γ_f	Peso dell'unità di volume alla fine della prova	σ_t	Tensione di trazione
w	Contenuto d'acqua	$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$	Tensione deviatorica a rottura
w_{sat}	Contenuto d'acqua del campione saturo	τ	Tensione tangenziale
w_i	Contenuto d'acqua all'inizio della prova	τ_f	Tensione tangenziale a rottura
w_f	Contenuto d'acqua alla fine della prova	τ_r	Resistenza residua
w_{opt}	Contenuto d'acqua all'ottimo di costipamento	u	Pressione neutra
G	Analisi granulometrica	u_f	Pressione neutra a rottura
U	Coefficiente di uniformità	ε	Deformazione
d	Dimensione del grano	ε_f	Deformazione a rottura
l_0	Altezza del campione all'inizio della prova	δ_x, δ_y	Componenti dello spostamento orizzontale secondo le direzioni x e y
γ_d	Peso secco dell'unità di volume	δ	Spostamento orizzontale assoluto
$\gamma_{d\text{max}}$	Peso secco dell'unità di volume all'ottimo di costipamento	δ_o, δ_v	Spostamenti orizzontali e verticali
γ_s	Peso specifico dei grani	δ_{of}	Spostamento orizzontale a rottura
e	Indice dei vuoti	E_t	Modulo di Young tangente per $\sigma_v = \frac{\sigma_f}{2}$
e_o	Indice dei vuoti all'inizio della prova	E_s	Modulo di Young secante per $\sigma_v = \frac{\sigma_f}{2}$
e_f	Indice dei vuoti alla fine della prova	v_δ	Velocità media di deformazione per minuto in percentuale
n	Porosità	c_v	Coefficiente di consolidazione
n_e	Porosità effettiva delle rocce	E_{ed}	Modulo di compressione edometrica
S	Grado di saturazione	k	Coefficiente di permeabilità
w_p	Limite di plasticità	I_s	Indice di resistenza a carico puntuale
w_l	Limite di liquidità	P	Carico puntuale di rottura
I_p	Indice di plasticità	I_{dr}	Indice di durabilità
I_c	Indice di consistenza	I_v	Coefficiente di imbibizione
w_r	Limite di ritiro	z	Profondità dalla testa del tubo inclinometrico
SO	Contenuto di sostanza organica	M_d	Modulo di deformazione
CaCO_3	Contenuto di carbonato di calcio	Φ	Azimut
σ'	Pressione effettiva		
σ_v	Tensione normale		
σ_f	Tensione normale a rottura		

CS	Prova di compressione semplice	Cost	Prova di costipamento
CE	Prova di compressione edometrica	AS	Modalità AASHO Standard
SW	Prova di rigonfiamento	AM	Modalità AASHO Modificato
TD	Prova di taglio diretto	PEN	Modalità Proctor Energia Normale
TR	Prova di compressione triassiale	PED	Modalità Proctor Energia Doppia
UU	Prova non consolidata non drenata	PET	Modalità Proctor Energia Tripla
CU	Prova consolidata non drenata	CBR	Indice di portanza Californiana
CD	Prova consolidata drenata	ES	Equivalente in sabbia

NORMATIVE SEGUITE PER L'ESECUZIONE DELLE PROVE

ASTM	American Society for Testing Materials
BSI	British Standard Institution
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche
ISRM	International Society for Rock Mechanics
UNI	Unificazione Nazionale Italiana

Rif. verbale di accettazione 04/2006

Richiedente: SYSTRA S.A.

Lavoro: Metropolitana Automatica Leggera di Palermo - Oreto-Notarbartolo

RICONOSCIMENTO E DESCRIZIONE

(Normativa ISRM 1975)

Sondaggio	SA5	Descrizione
Campione	A	Calcarenite di colore giallastro, a grana fina, debolmente cementata, con patine ocra.
Profondità [m]	5.20 ÷ 5.60	
Prove eseguite	CP	
Sondaggio	SA6	Descrizione
Campione	A	Calcarenite di colore variabile dal giallastro al biancastro, a grana fina, porosa, a tratti vacuolare, mediamente cementata.
Profondità [m]	9.00 ÷ 9.30	
Prove eseguite	CP	
Sondaggio	SA6	Descrizione
Campione	B	Calcarenite di colore giallastro, molto vacuolare, a grana fina, mediamente cementata. Le cavità sono poste generalmente lungo piani perpendicolari all'asse del campione.
Profondità [m]	12.90 ÷ 13.50	
Prove eseguite	CP	
Sondaggio	SA6	Descrizione
Campione	C	Calcarenite di colore biancastro giallastro, molto vacuolare, a grana fina, da debolmente a mediamente cementata.
Profondità [m]	14.10 ÷ 14.30	
Prove eseguite	CP	
Sondaggio	SA10	Descrizione
Campione	A	Quarzarenite di colore grigio chiaro, a grana molto fina, ben cementata, attraversata da vene millimetriche di calcite, parallele rispetto all'asse. Patine di ossidazione.
Profondità [m]	15.00 ÷ 15.20	
Prove eseguite	γ, CS	

 Il Direttore del Laboratorio
 Ing. Gabriele Speciale

Rif. verbale di accettazione 04/2006

Richiedente: SYSTRA S.A.

Lavoro: Metropolitana Automatica Leggera di Palermo - Oreto-Notarbartolo

RICONOSCIMENTO E DESCRIZIONE

(Normativa ISRM 1975)

Sondaggio	SA10	Descrizione
Campione	B	Quarzarenite di colore giallastro, a grana molto fina, ben cementata, attraversata da vene millimetriche di calcite, parallele rispetto all'asse. Patine di ossidazione. All'estremità inferiore è presente una superficie di discontinuità parzialmente aperta. All'altra estremità si rinviene una superficie di discontinuità inclinata di circa 70° rispetto all'asse, scabra ed irregolare.
Profondità [m]	24.50 ÷ 25.00	
Prove eseguite	γ, CS	
Sondaggio	SA10	Descrizione
Campione	C	Quarzarenite di colore grigio giallastro, a grana molto fina, ben cementata, attraversata da vene millimetriche di calcite, parallele rispetto all'asse. Patine di ossidazione.
Profondità [m]	26.00 ÷ 26.50	
Prove eseguite	γ, CS	
Sondaggio	SA10	Descrizione
Campione	D	Quarzarenite di colore variabile dal grigio al giallo ocra, a grana molto fina, ben cementata, attraversata da vene millimetriche di calcite, inclinate di circa 45° rispetto all'asse. Patine di ossidazione.
Profondità [m]	27.30	
Prove eseguite	γ, CS	
Sondaggio	SA16	Descrizione
Campione	A	Calcarenite di colore variabile dal giallastro al biancastro, a grana fina, porosa, a tratti vacuolare, mediamente cementata.
Profondità [m]	2.00 ÷ 2.50	
Prove eseguite	CP	
Sondaggio	SA16	Descrizione
Campione	B	Calcarenite di colore variabile dal giallastro al biancastro, a grana fina, porosa, a tratti vacuolare, mediamente cementata.
Profondità [m]	4.50 ÷ 5.00	
Prove eseguite	CP	

 Il Direttore del Laboratorio
 Ing. Gabriele Speciale

Rif. verbale di accettazione 04/2006

Richiedente: SYSTRA S.A.

Lavoro: Metropolitana Automatica Leggera di Palermo - Oreto-Notarbartolo

RICONOSCIMENTO E DESCRIZIONE

(Normativa ISRM 1975)

Sondaggio	S1B41	Descrizione
Campione	A	Calcarenite a grana fina di colore biancastro giallastro, da debolmente a mediamente cementata, porosa, fossilifera.
Profondità [m]	6.00	
Prove eseguite	γ , CS	
Sondaggio	S1B41	Descrizione
Campione	B	Calcarenite a grana fina di colore biancastro giallastro, da debolmente a mediamente cementata, porosa, vacuolare, fossilifera.
Profondità [m]	7.10	
Prove eseguite	γ , CS	
Sondaggio	S1B41	Descrizione
Campione	C	Calcarenite a grana fina di colore biancastro giallastro, da debolmente a mediamente cementata, porosa, fossilifera.
Profondità [m]	8.80	
Prove eseguite	γ , CS	
Sondaggio	S1B41	Descrizione
Campione	D	Calcarenite a grana fina di colore biancastro giallastro, da debolmente a mediamente cementata, porosa, fossilifera.
Profondità [m]	10.30	
Prove eseguite	γ , CS	
Sondaggio	S1B44	Descrizione
Campione	A	Calcarenite di colore giallo ocra, mediamente cementata, a grana fina, vacuolare.
Profondità [m]	11.00	
Prove eseguite	γ , CS	

 Il Direttore del Laboratorio
 Ing. Gabriele Speciale

Rif. verbale di accettazione 04/2006

Richiedente: SYSTRA S.A.

Lavoro: Metropolitana Automatica Leggera di Palermo - Oreto-Notarbartolo

RICONOSCIMENTO E DESCRIZIONE

(Normativa ISRM 1975)

Sondaggio	S1B44	Descrizione
Campione	B	Calcarenite di colore giallo ocra, mediamente cementata, a grana fina, vacuolare.
Profondità [m]	11.30	
Prove eseguite	γ , CS	
Sondaggio	S2-70	Descrizione
Campione	A	Calcarenite di colore giallastro, a grana fina, da debolmente a mediamente cementata, a tratti vacuolare.
Profondità [m]	4.40 ÷ 4.60	
Prove eseguite	γ , CS	
Sondaggio	S2-70	Descrizione
Campione	B	Calcarenite di colore giallastro, a grana fina, da debolmente a mediamente cementata, a tratti vacuolare.
Profondità [m]	9.60 ÷ 9.80	
Prove eseguite	γ , CS	
Sondaggio	S2-70	Descrizione
Campione	C	Calcarenite di colore giallastro, a grana fina, da debolmente a mediamente cementata, a tratti vacuolare.
Profondità [m]	10.70 ÷ 10.90	
Prove eseguite	γ , CS	
Sondaggio	S2-82	Descrizione
Campione	A	Calcarenite a grana fina, di colore giallastro, mediamente cementata, conchigliare, porosa, vacuolare.
Profondità [m]	6.00	
Prove eseguite	γ , CS	

 Il Direttore del Laboratorio
 Ing. Gabriele Speciale

Rif. verbale di accettazione 04/2006

Richiedente: SYSTRA S.A.

Lavoro: Metropolitana Automatica Leggera di Palermo - Oreto-Notarbartolo

RICONOSCIMENTO E DESCRIZIONE

(Normativa ISRM 1975)

Sondaggio	S2-82	Descrizione
Campione	B	Calcarenite a grana fina, di colore giallastro, mediamente cementata, conchigliare, porosa.
Profondità [m]	6.40	
Prove eseguite	γ , CS	
Sondaggio	S2-82	Descrizione
Campione	C	Calcarenite a grana fina, di colore giallastro, mediamente cementata.
Profondità [m]	7.50	
Prove eseguite	γ , CS	
Sondaggio	S2-83	Descrizione
Campione	A	Arenaria quarzosa di colore grigio, a grana fina, di consistenza lapidea, con qualche patina ocracea.
Profondità [m]	17.40	
Prove eseguite	CP	
Sondaggio	S2-84	Descrizione
Campione	A	Arenaria quarzosa di colore grigio, a grana fina, di consistenza lapidea, con qualche patina ocracea.
Profondità [m]	18.00 ÷ 18.20	
Prove eseguite	CP	

 Il Direttore del Laboratorio
 Ing. Gabriele Speciale

Rif. verbale di accettazione 04/2006

Certificato n. -

Richiedente SYSTRA S.A.

Lavoro Metropolitana Automatica Leggera di Palermo - Oreto-Notarbartolo

PROVA DI COMPRESSIONE SEMPLICE ISRM (1978)

Data prova 2006	Sondaggio	Campione	Profondità [m]	Diametro d [mm]	Altezza h [mm]	Massa M [g]	Peso dell'unità di volume γ [kN/mm ³]	Carico di rottura P [kN]	Resistenza a rottura σ_f [N/mm ²]
25/7	SA10	A	15.00 ÷ 15.20	83	147	1950.2	24.5	377.10	69.7
25/7	SA10	B/1	24.50 ÷ 25.00	82	156	2069.9	25.1	583.40	110.5
25/7	SA10	B/2	24.50 ÷ 25.00	82	162	2097.0	24.5	368.80	69.8
25/7	SA10	C/1	26.00 ÷ 26.50	83	158	2041.7	23.9	489.60	90.5
25/7	SA10	C/2	26.00 ÷ 26.50	83	162	2129.4	24.3	546.10	100.9
25/7	SA10	D	27.30	83	166	2210.7	24.6	598.00	110.5
25/7	S1B41	A	6.00	82	135	1178.0	16.5	23.70	4.5
25/7	S1B41	B	7.10	82	190	1646.3	16.4	17.13	3.2
25/7	S1B41	C	8.80	83	126	1180.0	17.3	29.79	5.5
25/7	S1B41	D	10.30	81	187	1358.3	14.1	21.24	4.1
25/7	S1B44	A	11.00	82	176	1416.5	15.2	22.26	4.2
25/7	S1B44	B	11.30	82	138	1109.4	15.2	15.18	2.9
25/7	S2-70	A	4.40 ÷ 4.60	82	144	1333.4	17.5	20.10	3.8
25/7	S2-70	B	9.60 ÷ 9.80	81	159	1183.8	14.4	13.98	2.7
25/7	S2-70	C	10.70 ÷ 10.90	81	122	926.3	14.7	15.72	3.1
25/7	S2-82	A	6.00	82	173	1916.0	21.0	145.20	27.5
25/7	S2-82	B	6.40	82	144	1429.6	18.8	44.76	8.5
25/7	S2-82	C	7.50	82	158	1480.8	17.7	29.40	5.6

note:

Lo Sperimentatore
Salvatore Febo

Il Direttore del laboratorio
Ing. Gabriele Speciale

Rif. verbale di accettazione 04/2006

Certificato n. -

Richiedente SYSTRA S.A.

Lavoro Metropolitana Automatica Leggera di Palermo - Oreto-Notarbartolo

PROVA DI CARICO PUNTUALE ISRM (1985)
PROVA ASSIALE

Data prova 2006	Sondaggio	Campione	Profondità [m]	2L [mm]	Altezza D [mm]	Carico di rottura P [N]	Diametro equivalente D _e [mm]	Indice di carico puntuale I _s [N/mm ²]	Fattore di correzione F	Indice di carico puntuale standard I _{s(50)₂} [N/mm ²]
12/6	SA5	A/1	5.20 ÷ 5.60	82	37	5985	62.2	1.549	1.103	1.71
12/6	SA5	A/2	5.20 ÷ 5.60	82	35	8250	60.4	2.258	1.089	2.46
12/6	SA5	A/3	5.20 ÷ 5.60	80	36	5370	60.6	1.464	1.090	1.60
12/6	SA6	A/1	9.00 ÷ 9.30	80	39	3960	63.0	0.997	1.110	1.11
12/6	SA6	A/2	9.00 ÷ 9.30	70	36	2430	56.6	0.757	1.058	0.80
12/6	SA6	A/3	9.00 ÷ 9.30	81	24	5085	49.8	2.054	0.998	2.05
12/6	SA6	A/4	9.00 ÷ 9.30	80	30	4125	55.3	1.350	1.046	1.41
12/6	SA6	A/5	9.00 ÷ 9.30	79	37	2925	61.0	0.786	1.094	0.86
26/7	SA6	B/1	12.90 ÷ 13.50	78	30	3000	54.6	1.007	1.040	1.05
26/7	SA6	B/2	12.90 ÷ 13.50	78	36	7290	59.8	2.039	1.084	2.21
26/7	SA6	B/3	12.90 ÷ 13.50	78	35	7215	59.0	2.076	1.077	2.24
26/7	SA6	B/4	12.90 ÷ 13.50	78	40	4380	63.0	1.103	1.110	1.22
26/7	SA6	B/5	12.90 ÷ 13.50	78	28	5985	52.7	2.152	1.024	2.20
26/7	SA6	B/6	12.90 ÷ 13.50	78	38	7320	61.4	1.940	1.097	2.13
26/7	SA6	B/7	12.90 ÷ 13.50	78	46	5235	67.6	1.146	1.145	1.31
26/7	SA6	B/8	12.90 ÷ 13.50	78	42	5657	64.6	1.356	1.122	1.52
26/7	SA6	C/1	14.10 ÷ 14.30	75	44	3156	64.8	0.751	1.124	0.84
26/7	SA6	C/2	14.10 ÷ 14.30	78	28	3666	52.7	1.318	1.024	1.35
26/7	SA6	C/3	14.10 ÷ 14.30	78	45	3975	66.9	0.889	1.140	1.01
26/7	SA6	C/4	14.10 ÷ 14.30	78	35	4335	59.0	1.247	1.077	1.34

note: Provini di forma cilindrica

Lo Sperimentatore
Salvatore Febo

Il Direttore del laboratorio
Ing. Gabriele Speciale

Rif. verbale di accettazione 04/2006

Certificato n. -

Richiedente SYSTRA S.A.

Lavoro Metropolitana Automatica Leggera di Palermo - Oreto-Notarbartolo

PROVA DI CARICO PUNTUALE ISRM (1985)
PROVA ASSIALE

Data prova 2006	Sondaggio	Campione	Profondità [m]	2L [mm]	Altezza D [mm]	Carico di rottura P [N]	Diametro equivalente D _e [mm]	Indice di carico puntuale I _s [N/mm ²]	Fattore di correzione F	Indice di carico puntuale standard I _{s(50)} [N/mm ²]
12/6	SA16	A/1	2.00 ÷ 2.50	80	30	2460	55.3	0.805	1.046	0.84
12/6	SA16	A/2	2.00 ÷ 2.50	80	37	3930	61.4	1.043	1.097	1.14
12/6	SA16	A/3	2.00 ÷ 2.50	76	33	1320	56.5	0.413	1.057	0.44
12/6	SA16	A/4	2.00 ÷ 2.50	78	44	2925	66.1	0.669	1.134	0.76
12/6	SA16	A/5	2.00 ÷ 2.50	81	37	7095	61.8	1.859	1.100	2.04
12/6	SA16	A/6	2.00 ÷ 2.50	78	39	1500	62.2	0.387	1.104	0.43
12/6	SA16	A/7	2.00 ÷ 2.50	76	28	930	52.1	0.343	1.018	0.35
12/6	SA16	B/1	4.50 ÷ 5.00	80	34	3165	58.8	0.914	1.076	0.98
12/6	SA16	B/2	4.50 ÷ 5.00	74	23	2940	46.6	1.357	0.968	1.31
12/6	SA16	B/3	4.50 ÷ 5.00	80	22	5010	47.3	2.236	0.976	2.18
12/6	SA16	B/4	4.50 ÷ 5.00	81	19	3885	44.3	1.983	0.947	1.88
26/7	S2-83	A/1	17.40	75	48	855	67.7	0.187	1.146	0.21
26/7	S2-83	A/2	17.40	75	64	4179	78.2	0.684	1.223	0.84
26/7	S2-83	A/3	17.40	75	33	990	56.1	0.314	1.053	0.33
26/7	S2-83	A/4	17.40	75	44	3720	64.8	0.885	1.124	1.00
26/7	S2-84	A/1	18.00 ÷ 18.20	75	57	420	73.8	0.077	1.191	0.09
26/7	S2-84	A/2	18.00 ÷ 18.20	75	77	2235	85.7	0.304	1.275	0.39

note: Provini di forma cilindrica

Lo Sperimentatore
Salvatore Febo

Il Direttore del laboratorio
Ing. Gabriele Speciale