

Regione: PUGLIA 	Provincia: FOGGIA 	Comune: Deliceto 	
Committente: <div style="text-align: center; color: red; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">Comune di Deliceto</div>		Progettisti: Studio AC3 Ingegneria S.r.l. (capogruppo) <div style="text-align: center; font-weight: bold;"> STUDIO AC3 INGEGNERIA s.r.l. <small>Via Sandro Pertini, 2 76017 S. FERDINANDO DI P. (BT) Partita IVA: 03177240714</small> </div>	
Oggetto:  <div style="text-align: center; color: red; font-weight: bold; font-size: 2em; margin-top: 10px;">Progetto Esecutivo</div> <div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-top: 20px;"> LAVORI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO ZONA ARENA CAVATA </div> <div style="text-align: center; font-size: 0.8em; margin-top: 10px;">CUP: C57B16000050002 CIG: 6796111835</div>		FINEPRO S.r.l. (coordinatore della sicurezza in fase di progettazione) <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> finepro s.r.l. Legale Rappresentante Arch. Michele Sgobba </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> Ing. Gianfranco LEANDRO  </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> Geol. Sandro MUSCILLO  </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> Ing. Giuseppe CAPUTO  </div>	
Titolo: <div style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">Relazione indagini</div>			Responsabile del Procedimento (UTC)
Codice: <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">B.5</div>	Data: <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Aprile 2018</div>	Geom. Giuseppe CEGLIA	
Scala: <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">-</div>	Revisione: <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">00</div>		



Comune di Deliceto

PROGETTO ESECUTIVO

LAVORI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO ZONA ARENA CAVATA

CUP: C57B16000050002 CIG: 6796111835.

1	PREMESSA.....	2
1.1	INDAGINI GEOLOGICHE	2
1.1.1	Sondaggi geognostici	2
1.1.2	Stratigrafie	4
1.1.3	Prove geotecniche di laboratorio	4
1.1.4	Indagini sismiche ReMi	5
1.1.5	Indagini sismiche a rifrazione	8

PROGETTISTI
RTP :


Studio AC3
Ingegnerias.r.l.
Mandatario


FINEPRO s.r.l.
Mandante

Ing.
Gianfranco
LEANDRO
Mandante

Geol.
Sandro
MUSCILLO
Mandante

Ing.
Giuseppe
CAPUTO
Mandante



1 PREMESSA

La presente *relazione sulle indagini* descrive gli aspetti operativi ed i risultati della campagna di indagini geologiche dirette, indirette e di laboratorio appositamente commissionate per i “*Lavori di Consolidamento interventi di mitigazione del rischio idrogeologico centro urbano zona Arena Cavata*”.

La progettazione in oggetto, di livello definitivo, rientra nell'ambito dei “*Servizi di ingegneria di progettazione definitiva, progettazione esecutiva, relazione geologica, indagini geologiche e geognostiche con prove di laboratorio, coordinamento della sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione, direzione dei lavori, assistenza al collaudo, liquidazione e contabilità, relativi ai lavori di -P.O.R. PUGLIA 2014/2020 – Asse V – Azione 5.1 «Lavori di mitigazione del rischio idrogeologico Zona Arena Cavata» – CUP C57B16000050002 – CIG 6796111835*”.

Le campagne di indagini geologiche dirette ed indirette è stata di seguito articolata:

- n.5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo fino a 30 m di profondità dal p.c. di cui n.3 attrezzati con piezometro. Per ciascun sondaggio sono state effettuate inoltre n.3 prove penetrometriche S.P.T. e prelievo di n.3 campioni indisturbati;
- n. 3 profili sismici con la tecnica passiva MASW (metodo Re.Mi.);
- n.3 indagini simiche a rifrazione in onde P ed onde Sh;

Contestualmente, al fine di appurare compiutamente la presenza di eventuali acquiferi superficiali è stata verificata la presenza di acqua all'interno dei fori di sondaggio.

1.1 INDAGINI GEOLOGICHE

1.1.1 Sondaggi geognostici

I sondaggi sono stati ubicati secondo quanto indicato nella *Tavola 2.7 - Planimetria ubicazione indagini geologiche in scala 1:1.000*.

Il metodo utilizzato per l'esecuzione del perforo è stato quello a rotazione con carotaggio continuo. In pratica la macchina perforatrice è dotata di una testa idraulica che fornisce alla batteria d'aste di perforazione un movimento rotatorio. La spinta necessaria all'attrezzo di perforazione per “tagliare” il terreno è invece prodotto da pistoni idraulici.

Il funzionamento consiste nell'infiungere nel terreno un tubo di acciaio (carotiere), munito al fondo di un utensile tagliente (corona), collegato in superficie mediante una batteria di aste cave; l'infissione



avviene ruotando e spingendo contemporaneamente le aste in superficie mediante sonda. Il metodo di avanzamento è manuale, dato che la pressione viene applicata e regolata dall'operatore. Con la perforazione a rotazione si può attraversare qualsiasi tipo di terreno, con diametro di perforazione di 101 mm. Il tipo di utensile di perforazione più comunemente impiegato consiste in un carotiere la cui estremità inferiore è costituita da una corona tagliente provvista di elementi di metallo duro diamantato.

Durante le perforazioni, per evitare fenomeni franosi del materiale da non poter eseguire una dettagliata ricostruzione stratigrafica del terreno investigato, il foro è stato rivestito con tubi sottili in acciaio, in giunti filettati, che dopo l'esecuzione del sondaggio sono stati rimossi. Il materiale perforato è stato conservato in cassette catalogatrici, in PVC della lunghezza di un metro, munite di scomparti divisorii (1 m di lunghezza con 5 scomparti) e di coperchio.

Per ciascun sondaggio sono state inoltre effettuate n.3 prove penetrometriche al fine di caratterizzarne l'addensamento delle terre.

Sulle cassette è stato indicato in modo indelebile, il numero di sondaggio e le profondità. Sugli scomparti interni sono state scritte le quote di riferimento di ciascuna manovra eseguita. Le cassette sono state documentate da foto allegate alla presente relazione.

Nella tabella di seguito (**Tab.1.1.1**) si riporta l'ubicazione dei sondaggi geognostici in coordinate WGS84-UTM33N con la relativa quota del piano di campagna.

ID Sondaggio	Longitudine (m) Est	Latitudine (m) Nord	Quota (m s.l.m.)	Piezometro
S1	531823.00	4563319.00	596	SI
S2	531735.00	4563194.00	612	SI
S3	531684.00	4563139.00	622	NO
S4	531931.00	4563296.00	582	SI
S5	531829.00	4563256.00	599	NO

Tab.1.1.1: Ubicazione sondaggi geognostici.



1.1.2 Stratigrafie

Si riportano in coda le stratigrafie rilevate nel corso della perforazione, le profondità di prelievo dei campioni sottoposti ad analisi di laboratorio, e le risultanza delle prove penetrometriche SPT.

1.1.3 Prove geotecniche di laboratorio

Durante la perforazione dei sondaggi geognostici sono stati prelevati complessivamente n.6 campioni indisturbati con doppio carotiere.

Sui campioni indisturbati è stata apposta un'etichetta con incisioni sul cantiere, committente, designazione del sondaggio, numero campione, profondità di prelievo, data di prelievo, data di prelievo. I campioni sono stati portati in laboratorio e conservati in celle, che consentono di mantenere una temperatura di 20°C ed una umidità del 90%.

I campioni di terreno, di forma cilindrica, sono stati identificati con codici rappresentativi del sondaggio e del campione. Per ciascun sondaggio geognostico sono stati prelevati ed analizzati n.3 campioni indisturbati per un totale di n.15 campioni.

Il prelievo dei campioni è stato eseguito con un campionatore metallico con diametro pari a 83 mm e lunghezza pari a 500 mm.

Le prove di laboratorio eseguite sono state le seguenti:

- proprietà fisiche
- proprietà indice
- granulometria
- prova di taglio diretto
- Prove Triassiali CD

Si riportano nella tabella di seguito una tabella riepilogativa dei parametri fisici e geotecnici dei 15 campioni indisturbati determinati in laboratorio (**Tab. 1.1.3.1**).



Comune di Deliceto

PROGETTO ESECUTIVO

LAVORI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO ZONA ARENA CAVATA

CUP: C57B16000050002 CIG: 6796111835.

QUADRO RIASSUNTIVO E INTERPRETATIVO DELLE ANALISI GEOTECNICHE																						
OPERE DI COMPLETAMENTO DEL CONSOLIDAMENTO IDROGEOLOGICO NEL CENTRO URBANO ZONA ARENA CAVATA-DELICETO																						
Sond.	camp.	Profondità m	W %	γ_v KN/m ³	γ_d KN/m ³	γ_{sat} KN/m ³	γ_s KN/m ³	e	n %	Sr %	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	LL %	LP %	IP %	TG CD c KN/m ² ψ°	TG CD _{residuo} c KN/m ² ψ°	TRX CD c KN/m ² ψ°	UNI 10006	
1	1	4.00-4.50	19.24	20.12	16.87	20.58	26.80	0.588	37.04	87.65	0.23	36.20	53.14	10.43	36	25	11			10.50 - 18.5°	A - 6 ML	
1	2	10.00-10.50	13.72	20.30	17.85	21.14	26.60	0.490	32.89	74.46	0.96	48.12	42.37	8.55	35	25	10				A - 4ML	
1	3	21.50-22.00	12.32	20.74	18.47	21.60	26.90	0.457	31.36	72.55	0.85	30.40	53.25	15.50	45	29	16	26.57 - 24.9°	15.74 - 19.6°		A - 7 - 6 ML	
2	1	5.50-6.00	32.43	19.51	14.73	19.17	26.49	0.798	44.39	####	2.94	55.84	32.77	8.45	32	22	10			8.50 - 16.5°	A - 4	
2	2	23.50-23.70	12.55	20.45	18.17	21.40	26.82	0.476	32.25	70.70		37.32	47.61	15.07	31	21	10	24.9 - 23.1°	16.57 - 18.1°		A - 4 CL	
2	3	23.50-23.70	14.41	20.27	17.72	21.08	26.70	0.507	33.64	75.88	0.23	34.26	49.41	16.10	40	28	12				A - ML	
3	1	4.50-5.00	22.72	20.40	16.62	20.58	27.51	0.655	39.57	95.44	0.20	6.36	61.04	32.40	53	33	20			15.50 - 20.0°	A - 7 - 5 MH	
3	2	10.00-10.50	14.44	19.78	17.28	20.69	26.21	0.516	34.06	73.29	0.94	64.34	30.32	4.40	24	19	5				A - 2 - 4	
3	3	25.50-26.00	13.47	20.02	17.64	20.86	26.02	0.475	32.19	73.82	0.20	54.52	37.36	7.92	24	19	5	25.46 - 24.8°	17.87 - 20.0°		A - 4	
4	1	7.50-8.00	15.47	20.51	17.76	21.13	26.78	0.508	33.67	81.60		32.70	52.87	14.43	32	23	9			10.50 - 23.5°	A - 4 CL	
4	2	10.50-11.00	21.34	19.82	16.33	20.29	27.04	0.655	39.59	88.04	0.68	26.63	51.95	20.74	40	27	13	15.64 - 21.3°	13.05 - 17.2°		A - 4 CL	
4	3	20.00-20.50	14.19	20.70	18.13	21.56	27.61	0.523	34.34	74.90		3.14	55.74	41.12	66	44	22				A - 7 - 5 MH	
5	1	4.00-4.50	14.42	20.49	17.91	21.08	26.22	0.464	31.70	81.45	0.43	58.73	33.58	7.26	27	19	8			9.00 - 22.5°	A - 4	
5	2	10.00-10.50	13.67	20.19	17.76	21.11	26.72	0.504	33.53	72.42	0.05	35.63	47.08	17.24	32	23	9	23.05 - 25.2°	18.33 - 18.3°		A - 4 CL	
5	3	19.60-20.00	14.16	20.71	18.14	21.32	26.61	0.467	31.83	80.71	0.04	39.83	46.45	13.68	35	27	8	26.01 - 23.7°	17.5 - 18.8°		A - 4 ML	

Legenda:

W= Umidità naturale - γ_v = Peso di volume naturale - γ_d = Peso di volume secco - γ_s = Peso specifico - e= Indice dei vuoti - n= Porosità - Sr=Grado di saturazione - γ_{sat} =peso di volume saturo - LL= Limite liquido
LP= Limite plastico - IP= Indice plastico - c=Coesione - cu=Coesione non drenata - ϕ^o = Angolo di attrito interno P=Pressione sul provino - Cv=coefficiente di consolidazione - K=coefficiente di permeabilità ð.

Legenda:

W= Umidità naturale - γ_v = Peso di volume naturale - γ_d = Peso di volume secco - γ_s = Peso specifico - e= Indice dei vuoti - n= Porosità - Sr=Grado di saturazione - γ_{sat} =peso di volume saturo - LL= Limite liquido
LP= Limite plastico - IP= Indice plastico - c= Coesione - cu= Coesione non drenata - ϕ^* = Angolo di attrito interno P= Pressione sul provino - Cv= coefficiente di consolidazione - K= coefficiente di permeabilità.

Tabella 1.1.3.1: Risultati delle analisi di laboratorio effettuati sui 15 campioni indisturbati prelevati.

1.1.4 Indagini sismiche ReMi

All'interno dell'area di intervento sono state effettuate *n. 3 indagini sismiche con metodologia MASW* passiva meglio conosciuta come tecnica *ReMi (Refraction Microtremor)* lungo profilidi 120 metri.

Le indagini sismiche ReMi sono state programmate tenendo conto delle dimensioni dell'area d'intervento e dell'assetto geologico della zona, in modo da ottenere il miglior approfondimento conoscitivo delle peculiarità meccaniche del terreno costituente il sottosuolo.

Metodologia ReMi

La metodologia ReMi è una tecnica relativamente nuova che consente di determinare in maniera speditiva, la velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s).

PROGETTISTI
RTP :

ac3
Studio AC3
Ingegnarias.r.l.
Mandatario

ofinepro
FINEPRO s.r.l.
Mandante

Ing.
Gianfranco
LEANDRO
Mandante

Geol.
Sandro
MUSCILLO
Mandante

Ing.
Giuseppe
CAPUTO
Mandante



Questa tecnica è denominata **“Re-fraction Microtremor” (ReMi)** o **“Noise Analysis of Surface Waves” (NASW)** (Louie, 2001). In questo caso si usa una schiera di sensori di frequenze sufficientemente basse (tipicamente 4-8Hz) per registrare rumore microsismico di frequenza da 2 Hz in su; i geofoni vanno disposti lungo una spaziatura (intervallo di “takeout”) relativamente lunga (8-20 m).

I fondamenti teorici sui quali questa tecnica si basa risiede nelle proprietà “dispersive” delle onde di superficie (onde di Rayleigh) quando si propagano in un mezzo stratificato.

Le onde analizzate sono quindi quelle di Rayleigh ma è dimostrato che la loro velocità è pari a circa il 95-97% delle onde di taglio.

Lo stendimento ReMi è simile a quello utilizzato per la tradizionale sismica a rifrazione: 12 o più geofoni vengono posizionati sul terreno in linea retta e con interdistanza variabile tra 1 e 2÷3 metri, secondo la profondità d'investigazione richiesta.

A differenza della tecnica MASW il terreno non viene energizzato con una sorgente in quanto sfrutta il rumore naturale proveniente da sorgenti naturali (vento, moto ondoso) ed antropiche (traffico veicolare, vibrazioni). Le onde generate dalle sorgenti assunte provenienti da tutte le direzioni vengono rilevate dai geofoni e trasmesse al sismografo che deve essere dotato di un'elevata dinamica (Geode della Geometrics a 24 bit). I sismogrammi vengono registrati nell'hard disk di un portatile collegato al sismografo tramite una scheda di rete.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Per ottenere un profilo verticale di velocità V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura ReMi sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione. Questa metodologia può essere efficace anche solo con dodici canali di registrazione collegati a geofoni verticali a bassa frequenza (4,5 Hz).

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà



elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura ReMi può sintetizzarsi in tre fasi distinte (**Fig. 7.1.3.1**):

1. acquisizione dei dati sperimentali;
2. estrazione della curva di dispersione;
3. inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s (profilo 1-D), che descrive la variazione di V_s con la profondità.

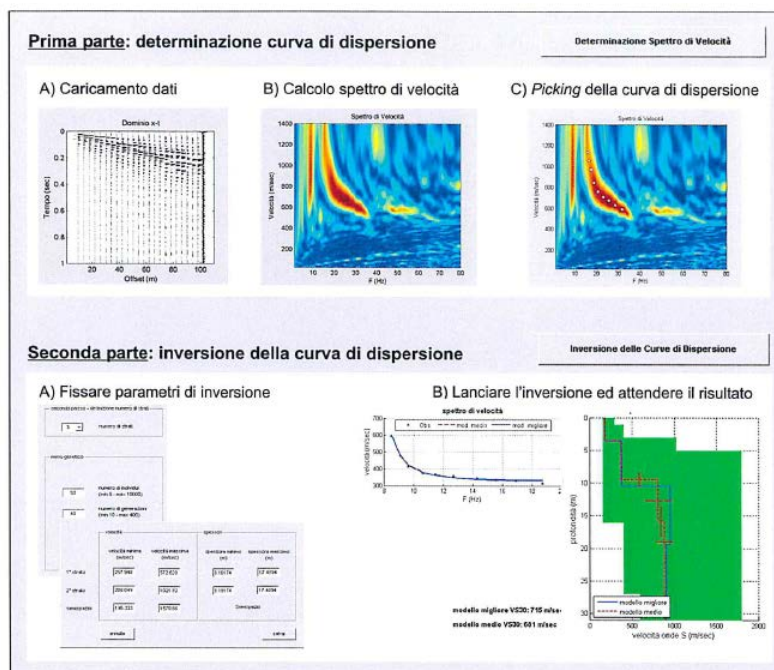


Figura 1.1.4.1: Procedura di calcolo delle V_{s30} mediante indagine ReMi.

Una mappa bidimensionale (mappa 2-D) può essere costruita accostando e sovrapponendo più profili 1-D consecutivi.

I vantaggi di tali prove consistono in :

- fornire il profilo di velocità delle onde di taglio V_s oltre 30 metri di profondità;
- individuare il tipo di suolo sismico;
- a differenza della sismica a rifrazione, si usano in qualunque situazione stratigrafica pseudorizzontale, anche in presenza di falda;
- non sono invasive, infatti, non occorre eseguire perforazioni;
- non implicano nessun danneggiamento allo stato dei luoghi e delle cose;
- rapidità, facilità di esecuzione e di elaborazione dati;
- ingombro limitato delle attrezzature per l'esecuzione delle prove;



- mobilità: trasporto agevole della strumentazione necessaria per eseguire le prove;
- elevato rapporto affidabilità/costi.

Risultati delle indagini ReMi

I dettagli relativi all'esecuzione delle indagini ReMi sono riportati nell'elaborato "Relazione Indagini".

- Dalle indagini ReMi è emerso un valore di V_{s30} rispettivamente:

ReMi 1 - $V_{s30} = 297 \text{ M/S}$ → Categoria di sottosuolo C

ReMi 2 - $V_{s30} = 357 \text{ M/S}$ → Categoria di sottosuolo C

ReMi 3 - $V_{s30} = 317 \text{ M/S}$ → Categoria di sottosuolo C

- Pertanto il valore delle V_{s30} calcolato per l'area di intervento, come da riferimento alla nuova normativa sismica (Ordinanza 3274 del 20/03/2003 e N.T.C. del 14/01/2008), ricade in **Categoria C "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu,30 < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)".**

1.1.5 Indagini sismiche a rifrazione

La sismica a rifrazione consiste nel provocare delle onde sismiche che si propagano nei terreni, con velocità che dipendono dalle caratteristiche di elasticità degli stessi. In presenza di particolari strutture, possono essere rifratte e ritornare in superficie, dove, tramite appositi sensori (geofoni), posti a distanza nota dalla sorgente lungo una linea retta, si misurano i tempi di arrivo delle onde longitudinali (onde P) e delle onde trasversali (onde S), al fine di determinare la velocità (V_p) e (V_s) con cui tali onde coprono le distanze tra la sorgente e i vari ricevitori.

I dati, così ottenuti, si riportano su diagrammi cartesiani aventi in ascissa le distanze ed in ordinata i tempi dei primi arrivi dell'onda proveniente dalla sorgente.

In questo modo si ottengono delle curve (dromocrone) che, in base ad una metodologia interpretativa basata essenzialmente sulla Legge di Snell, ci permettono di determinare, lungo la linea dei geofoni e in verticale, la velocità di propagazione delle onde e le costanti elastiche dei



terreni attraversati. È altresì possibile rilevare l'esistenza di zone anomale nel terreno, legate a variazioni litologiche o alterazioni.

Risultati delle indagini sismiche a rifrazione

L'elaborazione dei dati ha permesso di ricostruire il sottosuolo in 3 "sismostrati", così caratterizzati:

Il primo sismostrato (con una profondità di 2.5-3.0 mt dal p.c.) ha velocità Vp compresa tra 410-440 m/s e Vsh compresa tra 100-130 m/s;
Il secondo sismostrato (con una profondità di 5-6 mt dal p.c.) ha velocità Vp compresa tra 820-930 m/s e Vsh compresa tra 160-230 m/s;
Il substrato rifratore ha velocità Vp compresa tra 1610-1830 m/s e Vsh compresa tra 265-360 m/s.

Per quanto concerne la correlazione delle caratteristiche fisico-dinamiche con quelle geologico-tecniche del sottosuolo esplorato, si può ritenere che:

1. Il primo sismostrato è associabile a terreno di riporto frammisto e terreno agrario;
2. Il secondo sismostrato è associabile a calcarenite e litotipi sabbioso-limosi;
3. Il substrato rifratore è associabile ad alternanze di argille sabbiose e sabbie-argillose.

Il geologo

Dott. Geol. *Sandro Muscillo*



Comune di Deliceto

PROGETTO ESECUTIVO

LAVORI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO ZONA ARENA CAVATA

CUP: C57B16000050002 CIG: 6796111835.



PROGETTISTI
RTP :



Studio AC3
Ingegnarias.r.l.
Mandatario



FINEPRO s.r.l.
Mandante

Ing.
Gianfranco
LEANDRO

Mandante

Geol.
Sandro
MUSCILLO

Mandante

Ing.
Giuseppe
CAPUTO

Mandante