

Il sistema autostradale di Milano nei Comuni di Monza e di Cinisello Balsamo

La Galleria di Monza nell'ambito dei lavori della S.S. 36

G. LUNARDI, L. MANCINELLI, M. GATTI, C. NARDONE



Lo svincolo di Cinisello

La Galleria di Monza, tunnel artificiale a doppia canna, si inserisce nell'ambito degli interventi di potenziamento e riqualificazione a viabilità primaria dell'ex Strada Provinciale n. 5, quale completamento della Strada Statale n. 36 "del Lago di Como e dello Spluga", nel tratto terminale di collegamento al sistema autostradale di Milano (A52 - Tangenziale Nord, A4 - Torino - Venezia)

L'adeguamento a strada primaria di questo tratto, di oltre 4 km di sviluppo, nasce dall'esigenza di eliminare cause di congestione del traffico, di pericolo e di degrado ambientale. Questa via di comunicazione, utilizzata da circa 100.000 veicoli che ogni giorno attraversano il territorio dei Comuni di Monza e Cinisello Balsamo, rappresenta un'arteria fondamentale in un'area densamente urbanizzata con presenza diffusa di insediamenti residenziali e industriali. La precedente sede stradale, ca-

ratterizzata da intersezioni a raso, semafori e attraversamenti pedonali, si era resa di fatto inadeguata a soddisfare le attuali esigenze viabilistiche. La nuova configurazione ha previsto la separazione dei flussi di traffico autostradali ed extraurbani da quelli locali, legati ai Comuni di Cinisello Balsamo, Monza e Muggiò. In particolare, i primi sono stati interrati, lasciando i secondi in superficie, riducendo i disagi causati dagli elevati volumi di traffico in transito e riqualificando la zona da un punto di vista territoriale.



Figura 1 – Inquadramento delle opere

Le opere

L'intervento di potenziamento e riqualificazione della Strada Statale n. 36 è consistito nella realizzazione di una serie di opere, tra le quali la galleria di Monza, sotto Viale Lombardia, rappresenta l'opera più importante. Il sistema generale,

sinteticamente rappresentato in Figura 1 e pensato per ottimizzare la corretta fruizione del tunnel, ha richiesto i seguenti interventi di connessione alla rete stradale esistente, programmati in modo da sostenere le richieste del territorio durante le fasi di costruzione del tunnel:

- bretella di Muggiò
- svincolo di Cinisello Balsamo
- nuovo Collettore Alto Lambro
- sistemazione di Viale Brianza

Oltre a questi lavori di carattere stradale, è stato necessario prevedere lo spostamento del collettore fognario "Alto Lambro", originariamente disposto nella zona di futura realizzazione della galleria, all'interno della città di Monza. Il lavoro è stato realizzato con la tecnica dello spingitubo, utile a limitare i disagi alla circolazione veicolare e, in generale, l'impatto del lavoro durante il suo sviluppo.

In sintesi, l'intervento ha compreso lo sviluppo di:

- viabilità principale S.S. 36 per 4.300 m;
 - viabilità secondarie per 6.850 m;
 - svincolo di raccordo tra la S.S. 36 e la A4 per 900 m;
 - **galleria di Monza per 1.805 m;**
 - sottopassi di collegamento trasversale per 780 m;
 - sistemazione del nuovo V.le Lombardia in Monza per 1.900 m;
- con finanziamenti derivanti da ANAS S.p.A. (80% circa) e Regione Lombardia, Provincia di Milano, Comune di Monza, Comune di Cinisello Balsamo, ALSI - Alto Lambro S.p.A., Autostrada Milano Serravalle - Milano Tangenziali S.p.A (20% circa).

Durante le fasi di progettazione e realizzazione, particolare rilevanza hanno avuto i lavori per l'adeguamento alle più recenti disposizioni normative e le attività legate alla rimozione e allo spostamento dei sottoservizi rinvenuti, nonché la predisposizione di una serie di opere civili necessarie a garantire il mantenimento della circolazione stradale urbana ed extraurbana durante lo svolgimento dei lavori.

La galleria di Monza

Nell'ambito dell'intervento di ammodernamento descritto, l'opera di maggior rilievo è stata la costruzione della galleria di Monza, sotto viale Lombardia, attualmente il tunnel urbano più lungo d'Italia (L = 1.805 m).

Figura 3 – Rampa d'ingresso in galleria: tratta puntonata



La rampa di imbocco sud (lato Milano) si sviluppa per circa 185 m, di cui 130 m tra diaframmi a sbalzo (liberi in testa) e 55 m tra diaframmi dotati di puntoni definitivi in testa. La rampa Nord (lato Lecco) vanta caratteristiche analoghe, con diaframmi a sbalzo per 130 m e diaframmi dotati di puntoni definitivi in testa per 40 m.

A Nord la sede stradale in galleria comprende una biforcazione per due possibili direzioni: verso Lecco (Rampa Nord) e verso Monza Nord. Quest'ultimo svincolo è realizzato tramite allargamento della canna Nord che conduce al tratto di uscita vero e proprio, di lunghezza complessiva pari a 238 m, di cui 158 m in galleria, 20 m tra diaframmi dotati di puntoni in testa e 60 m tra diaframmi a sbalzo.

La sezione corrente della galleria presenta una larghezza di 30 m (al lordo dei diaframmi) che aumenta in corrispondenza delle uscite di emergenza o degli allargamenti previsti dal progetto, sino ad un massimo di circa 49 m in corrispondenza della biforcazione tra la rampa Nord (direzione Lecco) e l'uscita Monza Nord.

La sezione stradale adottata prevede tre corsie per ciascun senso di marcia, disposte in due fornici separati di sezione rettangolare. All'interno della galleria sono previsti by-pass, piazzole di sosta e uscite di emergenza per garantire la sicurezza degli utenti.

L'opera presenta, lungo il suo sviluppo, le seguenti strutture accessorie:

- n°13 uscite di sicurezza;
- n°2 by-pass carrabili di larghezza pari a 10 m;
- n°2 centrali di ventilazione e filtraggio;
- n°1 rampa intermedia di accesso emergenza (canna Sud);
- n°2 centrali di raccolta e pompaggio delle acque meteoriche;
- n° 1 vasca di laminazione.

Vista la sua ubicazione in area urbana e in corrispondenza di una importantissima direttrice di traffico, le fasi di costruzione dell'opera sono state articolate in modo da consentire il mantenimento della viabilità



Figura 4 - Sezione trasversale della galleria - Schema

superficiale durante l'intero sviluppo dei lavori, sia in direzione nord-sud (verso Lecco e Milano) sia in direzione est-ovest (attraversamenti verso Monza e Muggiò). Il tutto è stato reso possibile grazie a un dettagliato piano di costruzione, messo a punto fase per fase, che ha previsto la

realizzazione dei due fornici con metodo top-down, in maniera differenziata. Le aree di cantiere sono state ricavate isolando il traffico a est, durante i lavori in carreggiata ovest, e viceversa a ovest per quelli in carreggiata est. Per consentire l'attuazione di questa fiasistica, la gal-

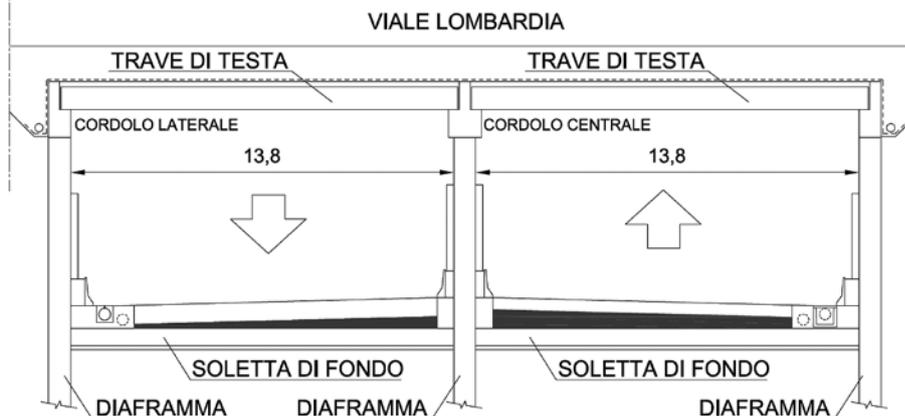
Figura 5 - Fasi di lavoro con viabilità modificata



leria, di tipo artificiale, è stata realizzata mediante tre allineamenti di diaframmi disposti parallelamente al suo asse e sormontati da una copertura prefabbricata. A livello strutturale la galleria presenta una sezione rettangolare in cui è possibile individuare tre elementi fondamentali: le paratie in diaframmi, la soletta di copertura (travi di testa e getto di completamento), la soletta di fondo. Attraverso la variazione dei moduli di copertura è stato possibile adattare la geometria ricavando gli allargamenti necessari per l'alloggiamento delle uscite di emergenza e delle piazzole di sosta, rispettando le geometrie dettate dalla viabilità. In sede progettuale e di dimensionamento delle strutture, sia la soletta di copertura sia quella di fondazione sono state considerate incernierate alle estremità, senza vincoli di incastro, ipotesi poi sostenuta a livello esecutivo con dettagli appositamente concepiti.

Questo accorgimento ha permesso di svincolare il progetto dei diaframmi gettati in opera da quello della soletta di fondazione e, soprattutto, della copertura

Figura 6 – Sezione tipica



prefabbricata. Sulla base dello schema statico considerato, i diaframmi trasmettono agli elementi orizzontali unicamente carichi assiali, generalmente "favorevoli" nella verifiche dell'impalcato di copertura.

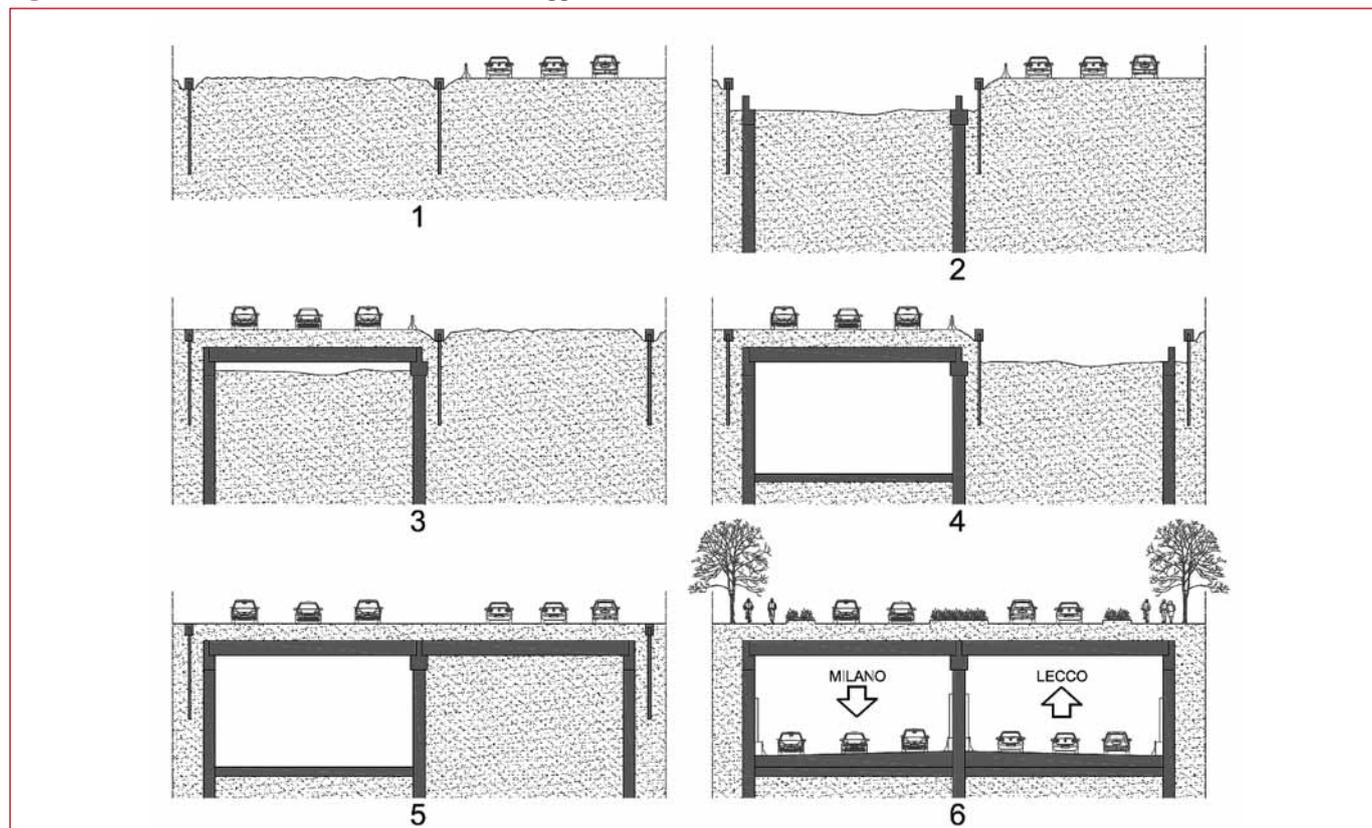
Il contesto geologico di intervento

L'area oggetto di intervento si colloca nel settore settentrionale della pianura lom-

barda, il cui sottosuolo è caratterizzato da una successione di sedimenti marini e continentali depositatisi a partire dal tardo Miocene fino a oggi. Il livello fondamentale, detto anche Diluvium recente o Fluvioglaciale Riissiano II – Würmiano – accoglie per intero le opere in progetto ed è litologicamente costituito da sedimenti ghiaiosi normal consolidati immersi in una matrice sabbiosa.

L'acquifero più superficiale, sede di una falda libera alimentata soprattutto dal si-

Figura 7 – Fasi esecutive dello scavo delle due carreggiate



stema idrografico locale e dalle precipitazioni meteoriche, è tale da non interferire con le opere in sotterraneo, presentando un livello massimo a circa -19 m da piano campagna.

La geotecnica

Dal punto di vista geotecnico, i terreni interessati dalle opere sono costituiti da riporti limosi sabbioso/argillosi, nella parte superficiale, di spessore massimo 3.0 m circa, da uno strato di spessore massimo di circa 6.0 m costituito da sabbie e/o sabbie limose mediamente addensate e da una formazione di base di sabbie e ghiaie addensate. I parametri geotecnici medi di progetto per i diversi terreni, assunti sulla base delle prove in situ e di laboratorio disponibili, sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 1 – Parametri geotecnici medi di progetto

Formazione	γ	c'	φ'	E
	kN/m^3	kPa	$^\circ$	kN/m^2
Riporti	19	5	25	8000
Sabbie limose	19	0	28	30000
Ghiaie	19	0	38	50000

dove:

γ : peso di volume naturale

c' : coesione drenata

φ' : angolo di attrito

E: modulo di Young

Le opere di contenimento degli scavi

Al fine di rispettare le fasi di realizzazione, è stato necessario prevedere opere che permettessero l'esecuzione dello scavo delle due carreggiate in momenti differenti. Il metodo costruttivo è costituito quindi dalla realizzazione di due allineamenti di diaframmi su cui porre la prima porzione di copertura e potervi trasferire il traffico veicolare. Mentre al disotto di questo sistema potevano avanzare i lavori di scavo di una carreggiata, veniva

Altezza di scavo	Lunghezza tubi	ϕ perforazione	Tipo	ϕ tubi	Spessore tubi	Passo
<i>m</i>	<i>m</i>	<i>mm</i>	-	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>cm</i>
2,00	6,00	240	A mensola	127,0	15	30
2,50	6,50	240	A mensola	127,0	15	30
3,00	7,00	240	A mensola	127,0	15	30
3,50	7,00	240	1 ordine tiranti	193,7	12,5	40
4,00	7,50	240	1 ordine tiranti	193,7	12,5	40
4,50	8,00	240	1 ordine tiranti	193,7	12,5	40
5,00	8,50	240	1 ordine tiranti	193,7	12,5	40
5,50	9,00	240	2 ordini tiranti	193,7	12,5	40
6,00	9,50	240	2 ordini tiranti	193,7	12,5	40
6,50	10,00	240	2 ordini tiranti	193,7	12,5	40
7,00	10,50	240	2 ordini tiranti	193,7	12,5	40

Tabella 2 – Abaco soluzioni paratie micropali

completato il terzo allineamento di diaframmi e posta in essere la seconda copertura. Potevano dunque procedere gli scavi al di sotto di questa.

La realizzazione dei diaframmi ha richiesto alcune attività preventive. Infatti, il piano d'imposta delle coperture (e quindi quello di realizzazione dei diaframmi stessi) si intestava a una profondità tale

che, a causa degli esigui spazi a disposizione per la presenza di edifici, interferenze ed esigenze di viabilità, non poteva essere raggiunta con semplici sbancamenti.

Sono state allora impiegate paratie di tipo berlinese costituite da micropali metallici, a sbalzo o stabilizzate con tiranti nei casi dei ribassi più importanti.

Figura 8 – Posizionamento delle travi prefabbricate di copertura



Figura 9 – Posa delle travi prefabbricate di copertura



La copertura prefabbricata

Al fine di limitare al massimo i tempi di esecuzione e agevolare la gestione del cantiere in termini di fasi e alternanza della viabilità, si è previsto di realizzare la copertura della galleria artificiale mediante la posa di travi prefabbricate pre-compresse, con getto di completamento in c.a.. La geometria della sezione è stata scelta a "T rovescia", di 50 cm di base; le altre dimensioni sono state definite in funzione della luce e delle necessità di carattere statico/tecnologico.

Questi elementi costruttivi, durante il montaggio della copertura, hanno permesso una agevole posa senza necessità di ulteriori sostegni (grazie alla loro autoportanza), consentendo di ottenere in maniera molto semplice ed efficace una superficie continua, pronta per il getto

Intervento dell'Impresa Ing. La Falce Spa per lo spostamento del collettore fognario con Sistema Trenchless

Tracciato del vecchio e del nuovo collettore



Uno dei primi problemi da affrontare per la realizzazione della galleria fu la necessità di spostare il collettore fognario Alto Lambro ubicato proprio sul tracciato della galleria in progetto.

Il collettore originario di grandi dimensioni DN 2.500 mm, a servizio di un'area con un'altissima densità abitativa, doveva preventivamente alla sua demolizione, essere sostituito da uno di pari portata che non interferisse con il tracciato della galleria della S.S. 36 in costruzione.

L'Impresa Ing. La Falce Spa, ditta operante nel settore del tunneling (mini e microtunneling) dal 1959, su incarico del Committente, ha effettuato, con il sistema minitunneling, lo spostamento del collettore fognario, realizzando la posa a spinta di una tubazione in c.a. D.I. 2.500 mm - D.E. 3.000 mm su un tracciato di complessivi L= 2.780 m in 11 tratte di lunghezza massima L= 450 m, di cui n° 1 con tracciato curvilineo R= 800 m, operando da n° 8 pozzi di spinta siti nel pieno centro cittadino. Per realizzare in tempi brevi lo spostamento si è operato con n° 4 scudi direzionali aperti con doppi turni su ciascuna postazione di spinta.

La criticità dell'opera legata, sia all'esecuzione della medesima in zone urbane, sia al basso ricoprimento tra l'estradosso della tubazione e la superficie oltre ad un'incompleta conoscenza dei sottoservizi, è stata affrontata scegliendo di operare con scudi direzionali a fronte aperto con controllo diretto del fronte scavo dotati di braccio escavatore e coclea per lo smarino del terreno. Tale attrezzatura si è rivelata, stante il successo dell'intervento

di completamento e solidarizzazione.

Le travi prefabbricate hanno trovato appoggio sui diaframmi gettati in opera, il cui cordolo di testa era stato opportunamente sagomato, previa interposizione di un lamierino d'acciaio inox (protezione della zona di appoggio) per consentirne il perfetto alloggiamento. A livello progettuale l'impalcato di copertura è stato suddiviso in campi diversificati per lo spessore dello strato del rinterro e per le caratteristiche geometriche, legate alle necessità funzionali dell'opera. La tabella 3 riassume alcuni dati geometrici ritenuti di interesse, in cui l'altezza h_{TRAVE} non tiene conto del getto di completamento (di spessore pari a 20 cm), mentre la luce L_{TRAVE} è indicata come valore netto tra gli appoggi (a titolo di esempio, la trave netta tra gli appoggi pari a 14,00 m è indicata con una lunghezza pari a 14,30 m).



Figura 10 – Getti di completamento della copertura

con consegna lavori in anticipo rispetto ai tempi esecutivi previsti, la più idonea per realizzare l'opera. Inoltre, vista la presenza dei terreni alluvionali in sito, tale metodologia ha permesso di limitare la decompressione del terreno interessato dalle spinte in maniera sensibilmente minore rispetto ad altre tecnologie quali l'uso di frese a tutta sezione con smarino idraulico.

Il sistema di evacuazione del terreno utilizzato fu di tipo "a secco" con trasporto del terreno all'esterno della galleria con locomotori elettrici e vagoncini da miniera, che in queste situazioni è il più indicato. Infatti le aree disponibili per i cantieri erano molto limitate, con la relativa impossibilità di installare tutte le attrezzature necessarie per i sistemi con smarino idraulico molto ingombranti, quali vasche di sedimentazione, vagli, dissabbiatori, filtropresse. Inoltre lo smarino a secco eliminava il rischio che lo slurry (acqua e bentonite) dello smarino idraulico, pompato in pressione sul fronte scavo, potesse fuoriuscire in superficie, stante il limitato ricoprimento, con i conseguenti disagi.

Ente appaltante: ANAS Spa

Committente: Impregilo Spa

Impresa: Ing. La Falce Spa

Tecnologia: spingitubo con scudo direzionale aperto DN 3.000 mm dotato di braccio escavatore e coclea per lo smarino del terreno

Tubazioni: in c.a. D.I. 2.500 - D.E. 3.000 mm

Lunghezza complessiva: 2.780 m in 11 tratte (8 pozzi di spinta e 6 di recupero)

Numero tratte: 11

Anno di esecuzione: 2008-2009

Luogo: Monza (Milano)

Note dell'opera: gli attraversamenti sono stati realizzati in terreni con ghiaia mista ad argilla. Sono state realizzate 10 tratte rettilinee e 1 curvilinea, con raggio di curvatura pari a 800 m, utilizzando per il direzionamento il giroscopio. Utilizzati 4 scudi contemporaneamente con doppio turno giornaliero.

scheda tecnica

Fronte scavo



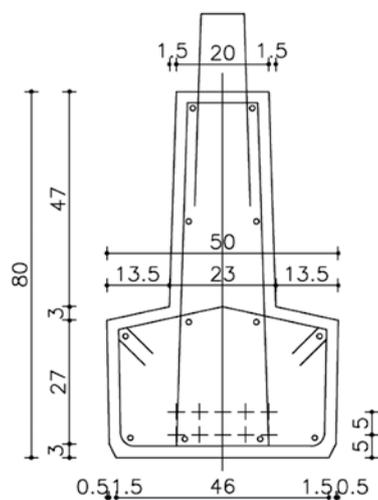
Particolare della condotta in fase di esecuzione



Tabella 3 – Caratteristiche di alcune travi di copertura

h_{TRAVE}	L_{TRAVE}
cm	m
80/100	14,00
100/140	17,45
120	16,86
140	20,30
140	23,20
160	26,20

Figura 11 – Sezione trave $h=80$ cm, $L=14.00$ m



Infine, per mantenere gli schemi isostatici delle coperture delle due canne della galleria, in corrispondenza del diaframma centrale non sono state previste armature di continuità. ■

Ringraziamenti

Con l'occasione di questo contributo tecnico, gli autori desiderano esprimere un ringraziamento a chi ha contribuito al progetto e alla realizzazione della Galleria di Monza. Come testimonia la foto a lato, scattata in occasione dell'inaugurazione dell'opera in data 3 aprile 2013, che ritrae molti dei progettisti coinvolti, sono tante le persone che hanno avuto una parte attiva in questo lavoro e che lo hanno reso possibile, ciascuno con il proprio impegno. Un ringraziamento particolare a: Ing. E. Zorgati, Ing. A. Fosati, Ing. G. Alvisi, Ing. A. Nosari, Ing. M. Buonamico, Ing. M.C. Zecca, Ing. G. Giaggia e a tutti i loro collaboratori.



Figura 12 – Vista interna della galleria completa

STAZIONE APPALTANTE: ANAS S.p.A. Compartimento della Viabilità per la Lombardia

IMPRESA ESECUTRICE: Salini - Impregilo S.p.A.

PROGETTISTA COSTRUTTIVO OPERE CIVILI: Rocksoil S.p.A.

IMPRESA SPECIALIZZATA OPERE DI SOSTEGNO: S.G.F. Inc. S.p.A.

FORNITORE TRAVI PREFABBRICATE PRECOMPRESSE: Zecca Prefabbricati S.p.A.

IMPRESA SPECIALIZZATA SPINGITUBO: La Falce S.p.A.

IMPRESA SPECIALIZZATA PER GLI IMPIANTI: P.S.C. S.p.A.



Figura 13 – Da sinistra a destra: Ing. M.C. Zecca, Ing. F. Sertore, Arch. A. Boletta, Ing. M. Stella, Ing. G. Giaggia, Ing. D. Bovi, Ing. L. Mancinelli, Ing. L. Stantero, Geom. M. Guiducci, Ing. T. Albanesi, Ing. G. Alvisi, Prof. Ing. S. Albanesi, Ing. M. Mancini, Ing. C. Nardone