



# Manufatto ferroviario varato a spinta sotto la A1

*LA REALIZZAZIONE DI UN'OPERA CON METODO DI INFIESSIONE A SPINTA OLEODINAMICA PER L'AVANZAMENTO DEL MANUFATTO CON L'AUTOSTRADA IN ESERCIZIO*

Alessandro Grassi\*  
Alessandro Villa\*\*

Vincenzo Costantino\*\*\*  
Luca Petrucci\*\*\*\*

1. Il manufatto a spinta



Il manufatto scatolare varato a spinta sotto l'Autostrada A1 nei pressi di Modena Nord al km 156+800 si inserisce come parte d'opera di una nuova galleria artificiale ferroviaria posta sulla rilocalizzazione della linea storica RFI tra Cittanova e Modena San Cataldo di lunghezza complessiva pari a circa 2 km. La realizzazione, per conto di TAV (Treno Alta Velocità) è stata affidata all'Impresa Grandi Lavori Fincosit facente parte del Consorzio CEPAV UNO mentre il Progettista incaricato è la Società di Ingegneria Technital. Data la particolarità dell'opera, l'Impresa affidataria ha subappaltato la sola spinta all'Impresa ATROS

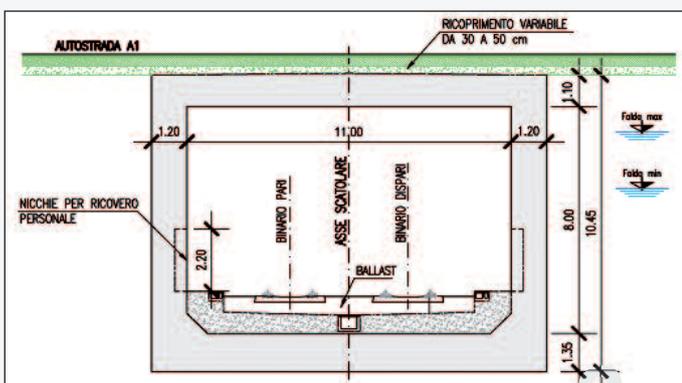
Costruzioni, proprietaria del brevetto. La realizzazione del manufatto con il metodo di infiezione a spinta oleodinamica consente l'avanzamento del manufatto con l'autostrada in esercizio; è stata eseguita garantendo per entrambe le carreggiate autostradali la funzionalità di quattro corsie per tutta la durata dei lavori, oltre alla corsia di emergenza in carreggiata Sud. La configurazione dei flussi richiesta dal gestore autostradale, ovvero 4+4 corsie di marcia più una corsia di emergenza, è stato un fatto completamente innovativo in quanto, ad oggi, mai richiesto ed eseguito.



### Il progetto

La struttura di tipo scatolare prevista per l'infissione a spinta sotto la sede della A1, monolite, e tale da ospitare la linea ferroviaria, presenta lunghezza pari a 55 m, realizzata in due tratte da 18 m e 37 m, ha dimensioni interne pari 11x8 m e spessore della soletta superiore pari a 1,10 m, delle pareti laterali pari a 1,20 m e della soletta inferiore pari a 1,35 m.

Sulla parte anteriore del manufatto è stato realizzato, per poi essere demolito a fine spinta, un rostro di lunghezza pari a 11 m; nella parte posteriore è stato invece previsto un retrobecco della lunghezza di circa 3 m necessario per il posizionamento delle apparecchiature di traino e di contrasto delle piattaforme mobili per l'ultima fase di spinta.



2. La sezione trasversale del manufatto a spinta

L'adozione della tecnologia dell'infissione comporta la primaria importanza di ridurre i pesi strutturali del monolite: pertanto è stato scelto di eseguire il monolite in calcestruzzo  $R_{ck}$  40, in modo da ridurre gli spessori e di prevedere le nicchie di ricovero del personale all'interno dello spessore dei piedritti.

La livelletta del tracciato ferroviario presentava una pendenza dello 0,8% mentre il manufatto era previsto in orizzontale; l'altezza interna ha compensato la pendenza garantendo comunque i franchi minimi verticali prescritti pari a 6 m superiore al p.f. e 1,35 m inferiore allo stesso.

Per compensare eventuali disallineamenti plano-altimetrici in fase di spinta e per la necessità di ospitare le nicchie di ricovero si è reputato in fase progettuale di incrementare ulteriormente l'altezza di circa 20 cm e di maggiorare la larghezza della sezione di circa 1 m.



4. Il manufatto visto dall'interno

Il ricoprimento minimo dal piano dell'Autostrada all'estradosso della struttura è variabile tra 30 e 50 cm.

Per quanto riguarda i dettagli relativi all'impermeabilizzazione del manufatto in esame, che è per metà immerso nella falda, si è adottato l'utilizzo di una resina epossicatramosa sulle pareti verticali e l'esecuzione di una guaina bituminosa sulla soletta superiore.

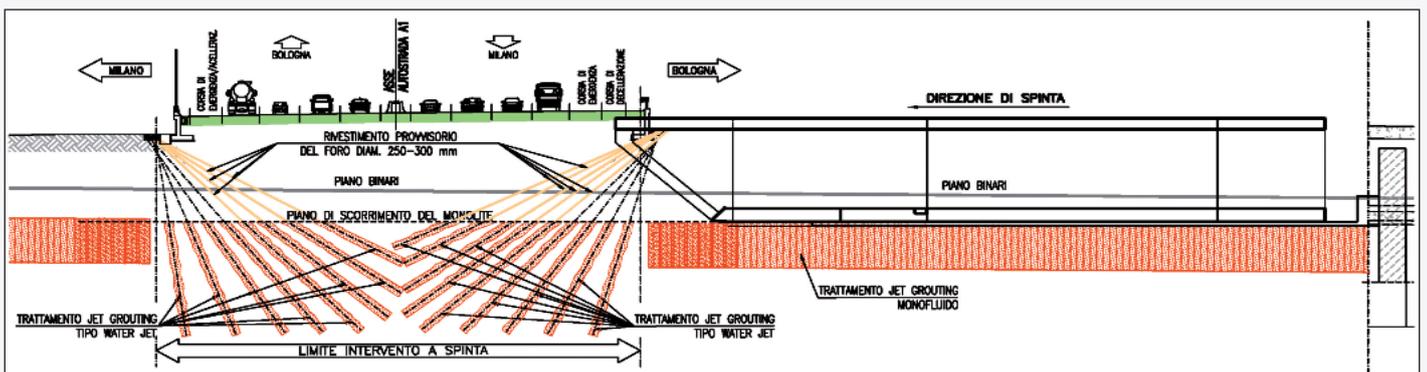
La spinta totale è stata prevista pari a circa 108.000 kN comprensiva sia del peso del manufatto e sia degli attriti laterali e inferiori; dato che il manufatto è diviso in due pezzi la spinta è stata suddivisa in 43.000 kN sul concio anteriore e 65.000 kN sul concio posteriore.

### Il contesto geotecnico e idrologico

La zona interessata dalla costruzione del monolite è interessata da sedimenti terrigeni di età terziaria e depositi alluvionali quaternari provenienti dall'erosione delle catene alpina e appenninica che hanno contribuito, in seguito ad una fase tettonica compressiva, a colmare e livellare le maggiori depressioni del bacino padano.

Elemento fondamentale per il trasporto e, quindi, per la formazione dei terreni che costituiscono la coltre superficiale è il fiume Secchia, che in questa area scorre quasi parallelamente all'opera secondo una configurazione a meandri.

Generalmente il sottosuolo è caratterizzato, per spessori di alcune centinaia di metri, dalla presenza di depositi fluviali: a va-



3. La sezione longitudinale del monolite e del trattamento di consolidamento con colonne jet-grouting



**Stratigrafia di progetto**

Profondità		Liv.	g	$c_u$	OCR	cv	$c'$	$f'$	$M_0$	E	$k_x$	$k_y$
da m	a m		kN/m <sup>3</sup>	kPa	-	m <sup>2</sup> /s	kPa	gradi	MPa	MPa	m/s	m/s
0	5	A	19	80	2	1,00E-06	15	28	6		5,00E-07	5,00E-08
5	12	A	19	50	1,5	1,00E-06	15	28	4,5		5,00E-07	5,00E-08
12	19,3	A	19	50	1	3,00E-07	15	28	4,5		5,00E-07	5,00E-08
19,3	22	B	20					34		25	5,00E-06	5,00E-06
22	30,2	C	20					38		30	2,00E-04	2,00E-04
30,2	32,8	B	20					34		40	5,00E-06	5,00E-06
32,8	42,8	D	20					40		40	2,00E-04	2,00E-04
42,8	45,7	B	20					34		45	5,00E-06	5,00E-06
45,7	50	D	20					40		50	2,00E-04	2,00E-04

## 5. La stratigrafia di progetto

Livelli: A - Limi argillosi e/o argille e/o argille limose; B e C - Sabbie e/o sabbie limose; D - Ghiaie e/o ghiaie sabbiose

rie profondità si rinvenivano corpi ghiaiosi lenticolari (ghiaia immersa in una matrice sabbiosa), rappresentanti barre di canale, passanti lateralmente a sedimenti limosi (limi sabbiosi e argillosi) di piana inondabile.

Il profilo stratigrafico limitato alle parte d'opera in esame presenta uno strato superficiale di circa 20 m costituito da materiale argilloso, con frequenti intercalazioni di limo sabbioso.

Alla base di questo strato è presente un materiale granulare di natura ghiaiosa-sabbiosa.

Il livello di falda è variabile a partire da un metro sotto il piano campagna fino a 3 m sotto lo stesso.

## Il metodo di spinta

Il varo del manufatto è stato effettuato utilizzando una tecnologia brevettata che, tramite l'ausilio di piattaforme mobili con spostamenti controllati da posizionare sull'estradosso della struttura, ha consentito l'avanzamento del manufatto con la sede autostradale in esercizio.

Dopo ciascuna fase di avanzamento del monolite è stata montata all'estradosso dello stesso una piastra autocentrante in acciaio, sulla quale veniva ricostituita la pavimentazione autostradale per consentire quindi il transito dei veicoli.

Dal punto di vista del mantenimento in esercizio della sede della A1, infatti, con questo metodo si ha interferenza con le sole corsie di marcia che si stanno attraversando in ciascuna fase di avanzamento, mentre tutte le altre o sono già state oltrepassate e insistono quindi sulla piastra autocentrante, oppure debbono essere ancora raggiunte e si trovano in condizioni indisturbate e di sicurezza: nei due casi su di esse può svolgersi il normale esercizio. E' pertanto sufficiente una interruzione temporanea del gruppo di corsie al di sotto delle quali sta avanzando il rostro del monolite in cui la pavimentazione viene progressivamente demolita durante l'avanzamento.

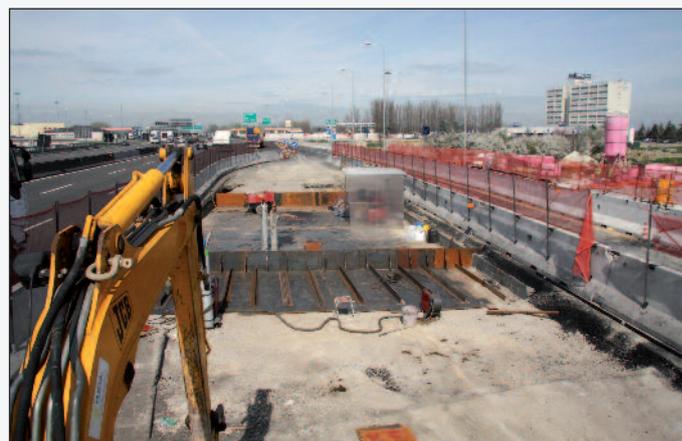
Per ridurre l'entità delle opere provvisorie da predisporre come contrasto alla forza esplicata dai martinetti, è stato scelto di interporre una stazione intermedia di spinta, a circa 2/3 della lunghezza totale del monolite (sono quindi spinti due manufatti distinti, uno di lunghezza 27+10 m e uno di lunghezza 18 m più il rostro). Si è alternata quindi una spinta dalla stazione intermedia e una a tergo del manufatto; a varo avvenuto, il giunto verticale posto sulla stazione intermedia è stato riempito con resine idroe-

spansive sigillanti garantite per numerosi cicli di idratazione. Per il varo sono stati utilizzati 30+36 martinetti da 2.000 kN per un totale massimo di forza spingente pari a 132.000 kN.

La piattaforma mobile, realizzata sulla soletta superiore è costituita dal pacchetto autostradale steso su delle lamiere di acciaio di fondo saldate fra loro in continuo ed in avanzamento mediante fazzoletti e irrigidite lateralmente da profilati metallici.



6. I pistoni retrattili posteriori posti in soletta superiore



7. Le lamiere laterali e la deviazione autostradale



Lateralmente si sono poste delle lamiere che poggiano parzialmente sul manufatto e sul terreno laterale tale da formare la piattaforma fissa.

L'estremità posteriore della piattaforma mobile autocentrante era agganciata mediante catene e pistoni retrattili e da ganci annegati nella soletta superiore.

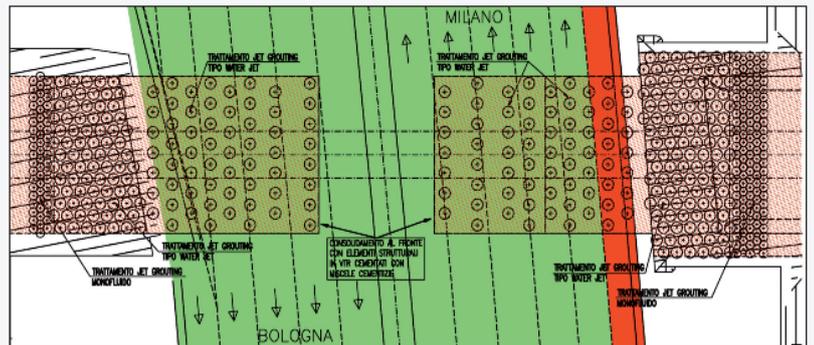
Durante l'infissione l'azione di trascinamento della piattaforma è stata contrastata dai pistoni precedente citati collegati alla centrale principale di spinta.

### Gli interventi per controllo di cedimenti

In seguito alla situazione geotecnica è stato previsto di realizzare un consolidamento del terreno sotto il piano autostradale al fine di garantire un piano stabile al passaggio del monolite e quindi tale da governare le problematiche che si sarebbero potute manifestare in seguito ai processi di filtrazione e ad eventuali cedimenti verticali propri della tecnica adottata.

Il consolidamento è stato realizzato con colonne jet-grouting non compenstrate (interasse 1,20 m) di diametro pari a circa 1.000 mm, lunghe 4,50 m, con perforazioni a vuoto di circa 11 m e realizzate con una tecnologia sperimentale definita waterjet in grado di creare, mediante un prelavaggio ad alta pressione, una via preferenziale allo spurgo e quindi tale da controllare durante l'esecuzione del trattamento il non manifestarsi di sollevamenti del piano autostradale.

Allontanandosi dall'autostrada è stato previsto un trattamento con colonne jet-grouting monofluido 800 compenstrate. Per consolidare il terreno sottostante il sedime autostradale in fase di spinta del monolite, è stato previsto l'utilizzo di VTR con funzione di consolidamento al fronte. Lo schema di distribuzione dei VTR è a raggiera, il numero complessivo per



9. La posizione planimetrica del trattamento di consolidamento

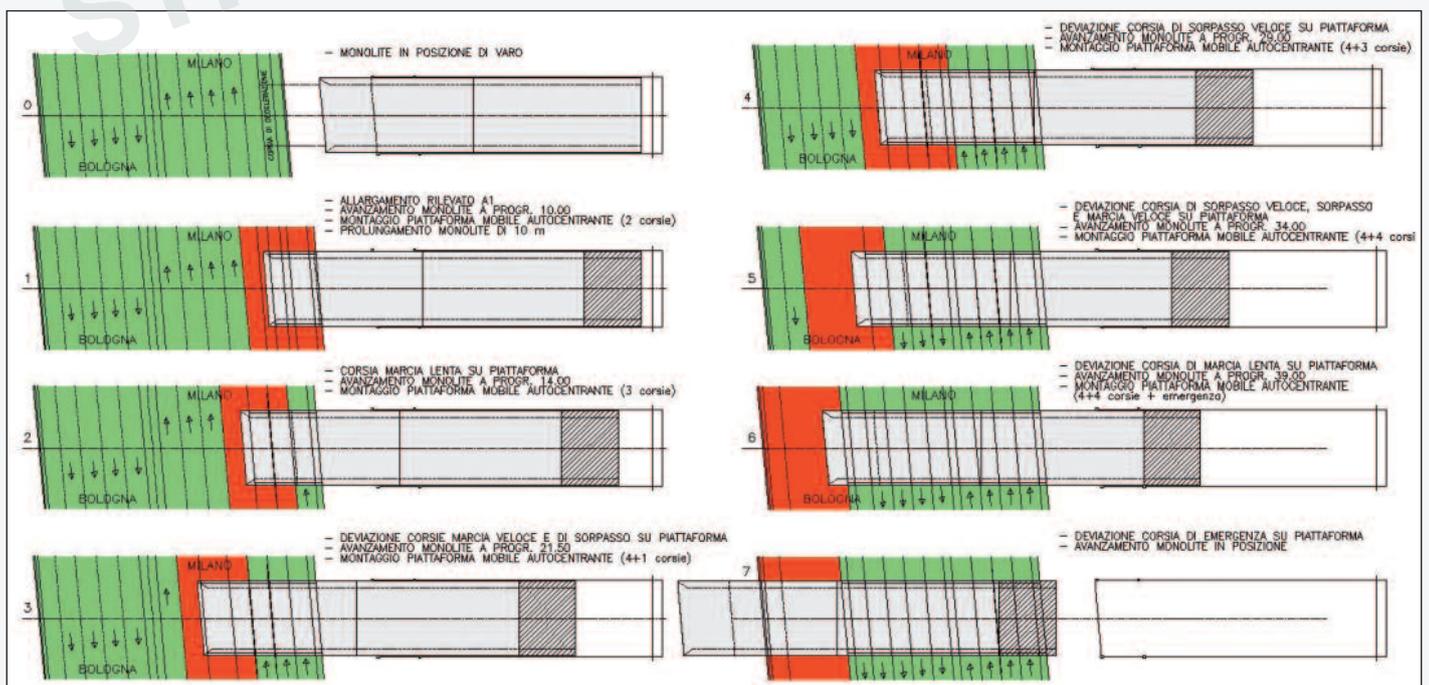
sezione di avanzamento (otto in totale) è pari a 42 VTR mentre la lunghezza degli elementi è di 18 m con una sovrapposizione minima di 10 m.

### La realizzazione

Il manufatto è stato inizialmente varato a Novembre 2009 in modo da farlo addossare alla scarpata autostradale e consentire la realizzazione dei 10 m posteriori; successivamente il varo è stato ripreso a Marzo 2010 e completato a Giugno dello stesso anno.

Le fasi realizzative principali del varo sono state:

- ♦ posizionamento del manufatto mediante spinta fino all'attuale corsia di emergenza e successiva costruzione dei 10 m posteriori;
- ♦ spostamento corsia di marcia lenta nel flessso Nord (posto sopra il manufatto) e successiva spinta del monolite fino alla corsia di marcia lenta;
- ♦ spostamento corsie di marcia veloce e di sorpasso nel flessso Nord e spinta del manufatto fino alla corsia di sorpasso tale da raggiungere il New Jersey bifilare centrale;



10. Lo schema delle fasi realizzative



Parametri operativi Waterjet										
Fase	Ugelli		Pressione della miscela	Portata	Velocità avan/risalita	tempo avan/risalita	Velocità di rotazione	Dosaggi	Volume iniettato	Cemento iniettato
	dir	nxDN mm	bar	l/min.	cm/min.	sec/4 cm	rpm	C/A	l/m	kg/m
<b>Perf</b>	↓	2x3,5 1x3	220	330	100	2,40	35	0,0	330	0
<b>wjet</b>	↓	2x3,5 1x3	220	330	110	2,1	30	0,0	300	0
<b>tratt</b>	↑	2x3,5	410	270	60	4,00	23	1,3	450	410

## 8. I parametri operativi waterjet

- ◆ spostamento corsie di sorpasso e di marcia veloce della carreggiata Sud nel flessio Nord e successiva spinta del manufatto fino a tali corsie;
- ◆ spostamento corsia di marcia lenta della carreggiata Sud nel flessio Nord e successiva spinta dell'opera;
- ◆ ultima fase di spinta fino a oltrepassare la sede autostradale attuale;
- ◆ preparazione pavimentazione e successivo spostamento corsie di marcia veloce, di sorpasso e di sorpasso veloce della carreggiata Nord nella posizione originaria;
- ◆ spostamento corsie di emergenza, di marcia lenta di marcia veloce, di sorpasso e di sorpasso veloce della carreggiata Sud nella posizione originaria.

## Il monitoraggio in fase di spinta

E' stato condotto un monitoraggio di tutte le fasi realizzative che hanno interessato l'opera e l'interferenza con l'autostrada.

Durante la fase di trattamento con jet-grouting è stato monitorato il sollevamento della pavimentazione autostradale a seguito del trattamento con waterjet mediante l'utilizzo di tre estensimetri multibase a quattro basi inclinate sub-orizzontalmente rispetto al piano autostradale (inclinazione di 15°) e di due piezometri anch'essi inclinati sub-orizzontalmente. In aggiunta è stato previsto un monitoraggio topo-

grafico tramite una stazione totale progettato per ottenere un sistema di acquisizione dati che, per il tipo di maglia prescelto (1,50x1,50 m), su un'area di circa 120 m<sup>2</sup> e con un ciclo completo di lettura automatico di 2 min., permettesse di rilevare eventuali scostamenti della pavimentazione autostradale in modo rapido e preciso e dell'ordine del millimetro. L'acquisitore dati è stato predisposto con un sistema di allertamento in grado di attivare segnalazioni luminose presso la postazione di lavoro nel caso alcuni degli strumenti installati misurassero valori superiori alle soglie di sicurezza pre-impostate.

Durante la fase di spinta è stato previsto oltre al rilievo topografico di punti fissi del manufatto anche la lettura di due estensimetri posti al fronte di avanzamento al fine di verificare eventuali instabilità.

## Conclusioni

La soluzione adottata ha ottimizzato i tempi di costruzione dell'opera, e ha minimizzato sia l'interferenza con l'esercizio autostradale sia l'ingombro del territorio adiacente: la vicinanza all'Area di Servizio Secchia e allo svincolo di Modena Nord non avrebbe consentito la realizzazione di una variante. ■

\* *Ingegnere Responsabile Area di Progetto di Technital SpA*

\*\* *Ingegnere Responsabile Progettista incaricato di Technital SpA*

\*\*\* *Ingegnere Direttore della Divisione Infrastrutture di Grandi Lavori Fincosit SpA*

\*\*\*\* *Ingegnere Direttore Tecnico di Cantiere di Grandi Lavori Fincosit SpA*

