

YB

YouBuild

PROGETTARE E COSTRUIRE SOSTENIBILE

FILIPPO TAIDELLI
ARCHITETTO

Roberto Rocca
Innovation Building

INOUT

Parco della darsena

MARGINE

Villa Daphne

LOMBARDINI22

Whitemoon

UNIVERSITÀ DI FRIBURGO

LivMatS Biomimetic Shell

ABRUPTARCHITECTURA

Museo e laboratorio

GLOBAL AWARD

for sustainable architecture

M ALL'AI

corrono
petenze

ca
le

YB

YouBuild

PROGETTARE E COSTRUIRE SOSTENIBILE

Poste Italiane SpA - Sped. in a.p. - D.L. 353/2003 conv. in L. 46/2004, art. 1, c.1 - DCB/Territorio, Virginia Gambino Editore SpA - Viale Monte Ceneri 60 - 20155 Milano - Lombardia, R. e. P.

METANODOTTO RAVENNA CHIETI

Tecnologie senza
scavi Sicim

PONTE STRALLATO SUL DANUBIO

Progetto iconico
per Icm

DAL BIM ALL'AI

Occorrono
competenze

STARPLAST

Custodire la risorsa idrica
Una missione ambientale



Stefano Grandicelli

Ponte sospeso sul Danubio

UNA GRANDE OPERA INFRASTRUTTURALE PER LINZ

Il progetto dell'intersvincolo autostradale è la prima delle tre opere per la realizzazione dell'autostrada A26 a Linz che ha previsto un ponte strallato sul Danubio a collegamento di due tunnel realizzato dalla joint venture Arge A26 composta dalla capofila Gruppo Icm spa, l'italiana Maeg Costruzioni spa e la società austriaca F-Pile

Di Valentina Puglisi, Dipartimento ABC,
Politecnico di Milano

A Linz, in Austria, sono in corso i lavori per la realizzazione di una grande opera infrastrutturale, l'intersvincolo A26 Linzer Autobahn, che risolverà i problemi di traffico della terza città più grande del paese. Il cuore del progetto ha riguardato la costruzione di un ponte sospeso alle porte della città (il quarto ponte sul Danubio di Linz), un'opera spettacolare, sospesa tra due pendii montuosi. Si tratta di una grande sfida, una costruzione realizzata in un ambiente complesso, con uno spazio di lavoro ristretto e un iter di permessi molto articolato.

IL PROGETTO

Il progetto dell'intersvincolo autostradale (lotto 1 - Donau Brücke) è stata la prima delle tre fasi per la realizzazione dell'autostrada A26 a Linz che ha previsto la realizzazione (quasi ultimata) di un ponte

strallato sul Danubio a collegamento di due tunnel. A seguire saranno realizzati altri due lotti: il tunnel Freinberg (lotto 2), compreso il raccordo della stazione e la Unterflurstrasse Waldeggstrasse (che verrà realizzato tra il 2024/2026 e il 2032); il ponte ovest - Westbrücke (lotto 3) e la chiusura del varco verso l'autostrada A7 Mühlkreis (che verranno realizzati tra il 2033 e il 2035).

L'intersvincolo, lungo 4,7 km, è un'importante opera infrastrutturale che ha interessato la zona occidentale della città austriaca di Linz (capitale della regione dell'Alta Austria). I lavori, iniziati nel novembre del 2018, hanno permesso di collegare l'autostrada A7 e la strada statale B127 attraverso un nuovo tratto autostradale fondamentale per migliorare la viabilità dell'intera area.

In particolare, i vantaggi più immediati hanno riguardato la città di Linz; il progetto ha infatti alleggerito

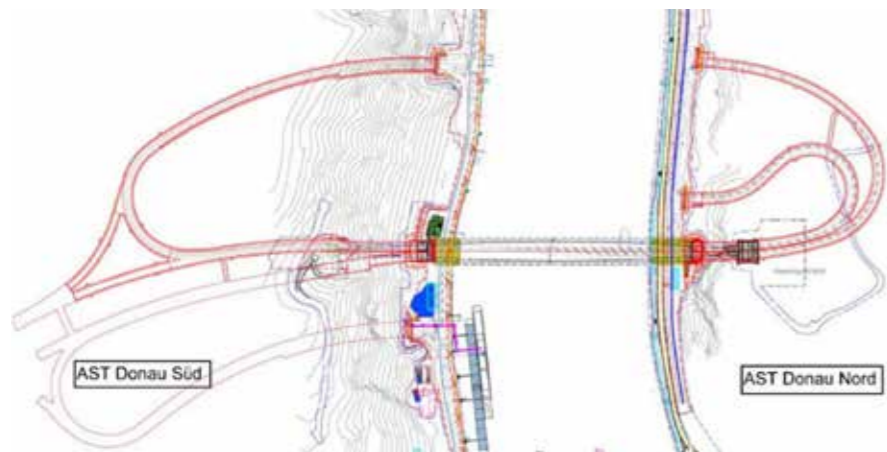
Il ponte strallato sul Danubio, parte dell'intersvincolo dell'autostrada A26 Linzer Autobahn

IL COMMENTO di Giovanni Dolcetta Capuzzo, vicepresidente Gruppo Icm spa

È fonte di grande orgoglio aver portato a termine un progetto iconico e così importante per la città di Linz. Icm in qualità di capogruppo della joint venture e i suoi partner hanno dimostrato di saper cogliere e vincere una sfida tecnica che per certi aspetti non ha eguali.



Il progetto dell'autostrada A26: lotto 1 (Donau Brücke), lotto 2 (tunnel Freinberg) e lotto 3 (Westbrücke). Sotto il progetto del lotto 1 Donau Brücke sull'A26



la rete stradale urbana indirizzando fino a 20.000 veicoli al giorno sulla nuova autostrada A26. Una distribuzione del traffico ottimizzata a beneficio degli abitanti della città e delle migliaia di persone che potranno così percorrere distanze più brevi. Il lotto 1 (Donau Brücke) è stato realizzato dalla joint venture Arge A26 composta dal Gruppo Icm spa (capofila), la realtà italiana Maeg Costruzioni spa e la società austriaca F-Pile. I lavori di costruzione del lotto 1 hanno previsto diverse fasi di intervento:

- la realizzazione di due di tunnel in sotterraneo che hanno occupato l'85% della lunghezza totale del tratto autostradale (3,2 km). Questi hanno permesso di mettere in collegamento, attraverso delle rampe di accesso e di uscita, il nodo autostradale dell'A26 alle strade statali B127 Rohrbacherstrasse e B129 Eferdingerstrasse (rispettivamente a nord e a sud del Danubio);
- la realizzazione di un ponte sospeso in acciaio a quattro corsie sul fiume Danubio, uno dei punti chiave dell'intero progetto. Un ponte di 305 metri di lunghezza per 2.200 tonnellate di peso a collegamento dei due tunnel. Un'opera suggestiva che sembra galleggiare sul fiume, sospesa senza l'ausilio di piloni grazie a un sistema di cavi ancorati direttamente nella roccia sulle due sponde;
- la realizzazione di tre svincoli di collegamento alle strade statali B127 Rohrbacherstrasse e B129 Eferdingerstrasse;
- la costruzione della stazione di controllo del tunnel e altri edifici di supporto necessari per la supervisione dell'infrastruttura, la stabilizzazione della roccia e l'implementazione delle misure di sicurezza.

Obiettivo principale del progetto è stato garantire la protezione delle persone e dell'ambiente circostante attraverso una serie di operazioni:

- il cantiere è stato schermato acusticamente per garantire la massima protezione possibile, limitare la propagazione del rumore e della dispersione delle polveri generate durante le lavorazioni. La rimozione del materiale da demolizione dei tunnel è stata infatti effettuata esclusivamente via nave;
- nella zona ecologicamente sensibile vicino al cantiere sono state messe in vigore ampie misure compensative volte a salvaguardare la vita di animali e piante. Gli habitat esistenti sono stati protetti in modo ottimale e Asfinag ha creato dei luoghi di nidificazione sostitutivi per gli uccelli;
- dei supervisor hanno garantito il rispetto di tutte le misure di protezione, istituendo un punto di contatto indipendente per gestire eventuali

reclami;

- tutti i collegamenti stradali e i sentieri esistenti, le piste ciclabili, gli ingressi di case e terreni, nonché le fermate dei mezzi pubblici sono rimasti utilizzabili.

I TUNNEL

I due tunnel, lunghi in totale 3,2 km e con un raggio di curvatura variabile da un minimo di 50 a un massimo di 750 metri, hanno collegato il nodo autostradale A26 Linz alle strade statali B127 Rohrbacherstrasse e B129 Eferdingerstrasse (a nord e a sud del Danubio) tramite sei imbocchi. Le condizioni topografiche della stretta e ripida scarpata del Danubio a Linz e le proprietà geotecniche favorevoli del massiccio boemo, hanno reso possibile la realizzazione di un'opera unica nel suo genere, un ponte sospeso ancorato alla roccia. Su entrambe le sponde del Danubio sono state scavate delle aree urbane con sezioni trasversali molto ampie. In particolare, nel tratto settentrionale sono state create delle piccole sovrapposizioni di 35-45 metri rispetto alla sezione trasversale, con campate fino a 33 metri e una sezione trasversale scavata di quasi 400 mq. Per il prolungamento finale dell'autostrada A26, sono state scavate in totale sei diramazioni sotterranee a quattro corsie nella stretta valle, partendo dai portali delle gallerie. I tunnel sono stati progettati per garantire la massima sicurezza. Questi sono stati dotati infatti delle più moderne tecnologie di sicurezza: illuminazione, ventilazione, radio, chiamata di emergenza, sistema di allarme antincendio, video con riconoscimento delle immagini e catarifrangenti con tecnologia Led. Il sistema di allarme acustico Akut verrà utilizzato anche nel tunnel di Freinberg. I microfoni intelligenti nel tunnel sono in grado di rilevare eventuali rumori insoliti (come lo stridore degli pneumatici) e di allertare in tempi rapidi i dipendenti Asfinag del centro di monitoraggio più vicino a Wels, consentendo un tempo di risposta ancora più rapido rispetto alla videosorveglianza.

LO SCAVO

Le sezioni di scavo sono state variabili: da quella di dimensioni inferiori (pari a 19 mq) utilizzata per le sezioni di by-pass, fino a quella di sezione maggiore (pari a 201 mq) a ridosso del portale principale. In corrispondenza dei tratti di congiunzione delle canne dei tunnel, le sezioni di scavo hanno raggiunto i 280 mq. Il materiale di scavo è risultato pressoché omogeneo, costituito da rocce granitiche e materiale compatto non abrasivo. A causa della resistenza della roccia boema e dei numerosi cambi di sezione e di curvatura, gli scavi sono stati eseguiti tramite il metodo Natm



Alcune detonazioni avvenute in seguito all'utilizzo del metodo Brill & Blast per il brillamento del fronte di scavo delle gallerie



Il fronte del tunnel appena aperto in seguito alle esplosioni effettuate con il metodo Brill & Blast



Dettaglio dei detonatori installati sul fronte del tunnel, collegati in serie a dei dispositivi esplosivi che hanno provocato delle esplosioni in serie dal centro verso l'esterno del fronte del tunnel



Il sistema di canalizzazione dell'aria che ha immesso aria pulita all'interno dello scavo e fatto uscire l'aria interna del tunnel ricca di polveri e gas

(New Austrian Tunneling Method). In particolare, trattandosi di scavo in roccia, è stato necessario procedere con abbattimenti tramite la tecnologia di brillamento (Drill & Blast). Tale sistema ha previsto uno scavo a sezione parzializzata ammettendo deformazioni tali da scaricare completamente le tensioni al contorno degli scavi. Considerando l'ubicazione delle gallerie, a breve distanza dal centro abitato, le sfide per l'utilizzo della tecnologia di brillamento sono state notevoli, non solo in termini di impatto sul traffico, ma soprattutto in termini di protezione dell'intero quartiere e nella gestione delle emissioni sonore e delle vibrazioni. A questo scopo sono state installate delle barriere antirumore nelle aree dei portali; mentre i portoni in corrispondenza degli imbocchi sono stati attrezzati con pannelli fonoassorbenti e saracinesche scorrevoli. Al fine di ridurre ulteriormente l'inquinamento acustico nelle sezioni trasversali della galleria, in corrispondenza delle zone di imbocco, sono stati installati ulteriori pannelli fonoassorbenti. Un altro accorgimento atto alla riduzione del rumore è stato l'utilizzo di una tecnologia di esplosione recente: le singole detonazioni sono avvenute in oltre cento tempi di innesco individuali e con una carica quanto più ridotta possibile, in modo tale che le vibrazioni e le emissioni sonore secondarie, continuamente controllate in 46 punti di misurazione, consentissero la prosecuzione dei lavori di costruzione.

IL RIVESTIMENTO DEI TUNNEL

Ultimato lo scavo, la superficie potenzialmente instabile è stata rivestita con getti di spritz-beton per evitare la caduta del materiale non consolidato. Una



Realizzazione del rivestimento temporaneo interno del tunnel al fine di stabilizzarne le pareti in seguito alle esplosioni

TECNOLOGIE SOLUZIONI PRODOTTI PRESTAZIONI

SAFE BUILDING

FRCM CRM SYSTEM

Una gamma completa di sistemi certificati con CVT per il rinforzo strutturale e antisismico.

QUALITÀ GARANTITA



Il gruppo **G&Pintech** vanta una storia unica e riconosciuta nel panorama nazionale delle **tecnologie antisismiche** e di **ristrutturazione per la ricostruzione post eventi calamitosi** e per la **prevenzione del costruito esistente**. Un partner ideale per competenza, affidabilità, innovazione per Pubbliche Amministrazioni, progettisti, imprese di costruzioni, applicatori specializzati. Un servizio tecnico di consulenza ingegneristica e assistenza in cantiere garantito su tutto il territorio nazionale.

CI TROVI PRESSO LE MIGLIORI RIVENDITE DI ZONA

www.gpintech.com



NATM | NEW AUSTRIAN TUNNELING METHOD

Natm è un metodo austriaco di tunneling che ha avuto origine negli anni '60, noto anche come metodo di scavo sequenziale (Sequential Excavation Method - Sem) o metodo di rivestimento in calcestruzzo spruzzato (Sprayed Concrete Lining method - Scl). Si tratta di un metodo moderno di progettazione e costruzione delle gallerie che impiega un monitoraggio sofisticato per ottimizzare varie tecniche di rinforzo delle pareti basate sul tipo di roccia incontrata durante l'avanzamento dello scavo. Il metodo prevede lo scavo delle gallerie per porzioni progressivamente più ampie, sino a raggiungere la dimensione di scavo di progetto. Tale procedimento permette di affrontare situazioni geologiche e geomeccaniche complesse, assicurando condizioni di lavoro sicure. Lo scavo avviene per "campi" con singoli cicli di avanzamento da 1 a 2 metri. Al termine di ogni ciclo di scavo, vengono messi in opera i sostegni di prima fase (spritz-beton, chiodi, centine, lance) il cui impiego è modulato in funzione dell'evoluzione del comportamento deformativo del cavo rilevato.

Messa in opera dello strato di impermeabilizzazione e posizionamento dell'armatura (come fase preparatoria al rivestimento definitivo)

volta esaurite le convergenze si è quindi potuto procedere con il rivestimento definitivo. Questo è stato realizzato grazie a un particolare sistema di casseforme costruite su misura. La sfida maggiore in questo campo ha riguardato la variabilità delle sezioni e l'impossibilità di progettare un unico elemento in grado di rivestire in modo uniforme tutta la galleria. Come

fase preparatoria al rivestimento definitivo, sopra lo strato di spritz-beton è stato messo in opera uno strato di impermeabilizzazione e sono stati posizionati i ferri d'armatura. Lo strato di getto è stato di circa 1 metro di spessore e il tempo di avanzamento è stato di circa un getto al giorno, impegnando il personale operativo per quasi più di un anno. Un primo cassero autoreggente (Peri), progettato e predisposto per muoversi su cingoli, ha permesso di coprire raggi con lunghezze variabili tra i 6 e i 12 metri; per le sezioni di raggio maggiore (a ridosso dei portali) sono stati utilizzati dei casseri statici realizzati in legno (Doka). A seguito della realizzazione del getto definitivo è stato possibile proseguire con la costruzione della sovrastruttura stradale e del sistema di sicurezza, del sistema antincendio e delle finiture.

LO SMARINO

Per l'allontanamento del materiale di scavo, nel rispetto delle prescrizioni ambientali previste dal progetto, è stato allestito un porto temporaneo (sulla sponda a sud rispetto al Danubio). Lo smarino è stato trasportato dal fronte di scavo sino al portale tramite l'utilizzo di autocarri. In corrispondenza del portale è stato eseguito un deposito temporaneo di dimensioni tali da garantire continuità e regolarità del trasporto del materiale su acqua. La movimentazione del materiale



Messa in opera del rivestimento definitivo del tunnel, realizzato con un getto di calcestruzzo all'interno di casseri mobili

dal portale del tunnel fino al punto di scarico sulla chiatta è stata effettuata tramite nastri trasportatori. Per trasportare il materiale dal deposito temporaneo al nastro, l'intera quantità del materiale è stata ridotta di pezzatura attraverso un apposito frantoio. Questa metodologia ha permesso di trasportare circa di 800.000 tonnellate di materiale via fiume, risparmiando circa 20.000 viaggi su gomma che altrimenti sarebbero transitati in area urbana.

IL TRATTAMENTO DELLE ACQUE IN USCITA DAL TUNNEL

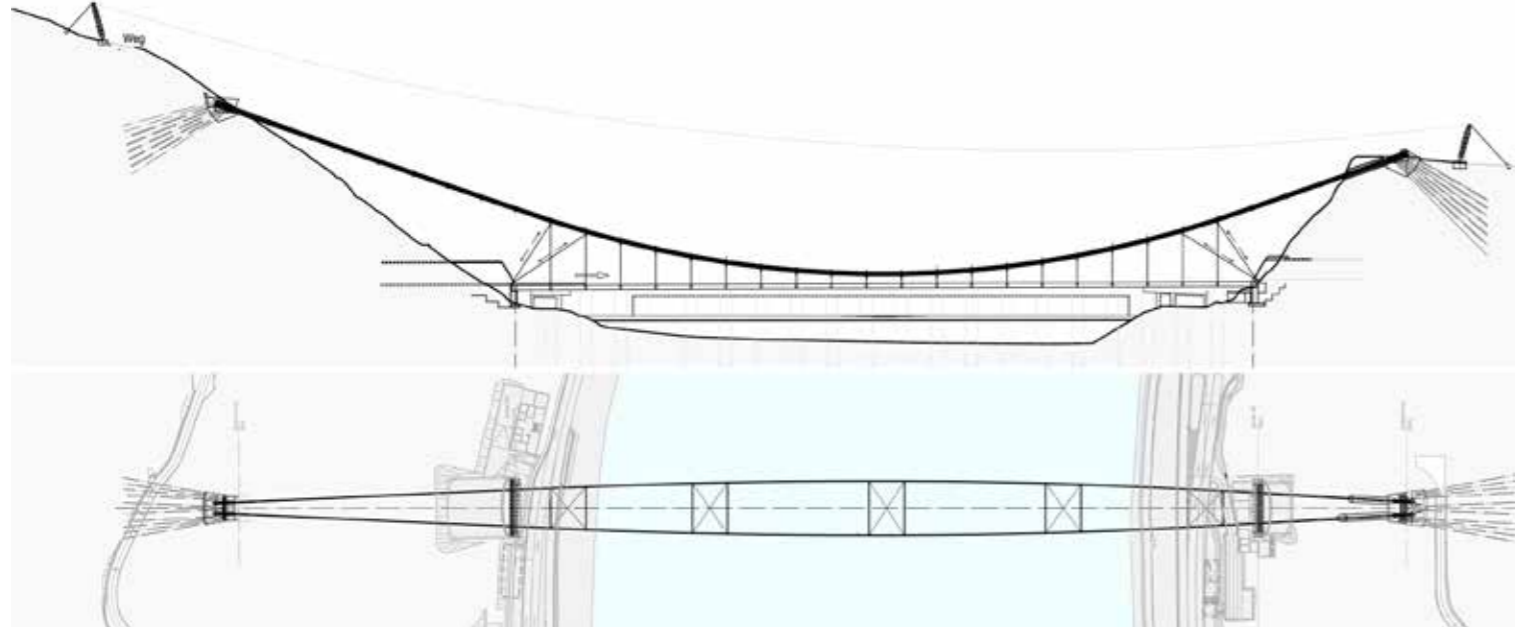
Il progetto ha previsto l'installazione di due unità di depurazione acqua, necessarie per trattare le acque

provenienti dai tunnel e poterle scaricare nel recapito definitivo (fiume Danubio) rispettando i valori previsti dalla normativa. In particolare, l'unità a nord ha trattato 41 l/s, mentre quella a sud 52 l/s. Il sistema di trattamento acque è stato così composto:

- un ingresso dal serbatoio di trasferimento: formato dalla flocculazione nel tubo di ingresso e da un ingresso opzionale dal bacino del funzionamento della Gsa;
- una vasca di sedimentazione: formata da una vasca di distribuzione dimensionata in base all'afflusso di acqua e da un serbatoio di trasferimento;
- un'area di neutralizzazione (inclusiva di misurazione del pH): formata da un fascio di CO₂;



Allontanamento del materiale di scavo del tunnel attraverso l'utilizzo di una chiatta collocata sulla sponda Sud del Danubio



Schematizzazione dell'ultima fase della realizzazione del ponte che prevede l'allargamento dei cavi di sospensione, l'installazione dei connettori e dei pendini e il varo dell'impalcato

- un'area di post-sedimentazione;
 - un contenitore Msr: con funzione di campionamento, controllo, registrazione dei dati di misura e allarme;
 - un'uscita verso l'acqua ricevente (diffusore).
- È stato anche previsto un monitoraggio dei dati onli-

ne: dall'inizio del progetto alla data odierna sono stati immessi circa 600.000 mq di acqua trattata (quindi "pulita") nel Danubio.

3. IL PONTE

L'opera principale, che conferisce il nome al lotto, è

il ponte sospeso sul fiume Danubio (Donau Brücke), costruito con lo scopo di collegare il versante sud e nord della città con maggiore efficienza. La realizzazione del ponte sospeso ha previsto la successione di 4 fasi principali:

- la realizzazione dei due blocchi di ancoraggio sulle due sponde del fiume;
- la messa in opera dei cavi portanti, dei connettori e dei pendini;
- il pre-assemblaggio e il varo dell'impalcato metallico;
- la realizzazione della soletta collaborante in calcestruzzo e delle relative finiture.

Il ponte strallato, largo 24,5 metri e lungo 305,55 metri, è costituito da un impalcato formato da un cassone trapezoidale. I diaframmi (steel cross beams), collocati a un passo di 14,55 metri, supportano la soletta (slab) di calcestruzzo. La struttura del ponte è sorretta da due fasci di cavi portanti lunghi circa 500 metri, composti ciascuno da 12 cavi di acciaio agganciati agli ancoraggi di calcestruzzo immersi nel pendio della montagna, a sua volta ancorati alla roccia. L'allestimento del sito, attività preparatoria per la costruzione dei blocchi di ancoraggio, ha riguardato la messa in sicurezza dei margini del fiume Danubio. In particolare, sono stati eseguiti dei lavori di detonazione (in superficie) dei versanti, la costruzione di barriere paramassi, la realizzazione degli scavi e dei fori per i cavi. Il terreno è stato poi ripulito mediante la rimozione della roccia crosa e realizzato un rinterro in calcestruzzo.



Vista assometrica di un blocco di ancoraggio. Sopra, messa in sicurezza degli argini del fiume: messa in opera delle reti anticaduta massi e rivestimento con spritz-beton

METODO DI SCAVO DRILL & BLAST PER LA COSTRUZIONE DEI TUNNEL

Nel mondo delle costruzioni esistono due metodi principali per lo scavo di gallerie nella roccia: il metodo convenzionale che include la tecnica Drill & Blast e il metodo meccanizzato che prevede l'utilizzo di grandi macchine chiamate Tunnel Boring Machines (Tbm). Il metodo Drill & Blast può essere utilizzato in tutti i tipi di rocce, consentendo di avere costi di esecuzione inferiori rispetto al metodo meccanico con Tbm. Di norma, per scavi di lunghezza superiore a 4÷5 km si utilizza una Tbm, mentre per lunghezze inferiori si utilizza la tecnica Drill & Blast. Prevedendo l'utilizzo di esplosivo per l'apertura del cavo, il metodo Drill & Blast comporta un'importante limitazione alla sua applicazione che è data dai livelli di vibrazione generati. L'energia, sviluppatasi con il brillamento delle mine, si traduce in frantumazione della roccia. Tuttavia, solo una parte dell'energia viene trasformata in onde sismiche che si propagano nel terreno, provocando un'oscillazione del terreno (chiamata vibrazione), la cui intensità dipende dalla quantità di esplosivo fatta brillare. Le fasi di esecuzione del metodo Drill & Blast sono le seguenti.

Perforazione: una macchina chiamata jumbo viene utilizzata per praticare i fori (di lunghezza variabile dai 2 ai 6 metri) sul fronte di scavo del tunnel. I primi set sono fori diritti (taglio parallelo)

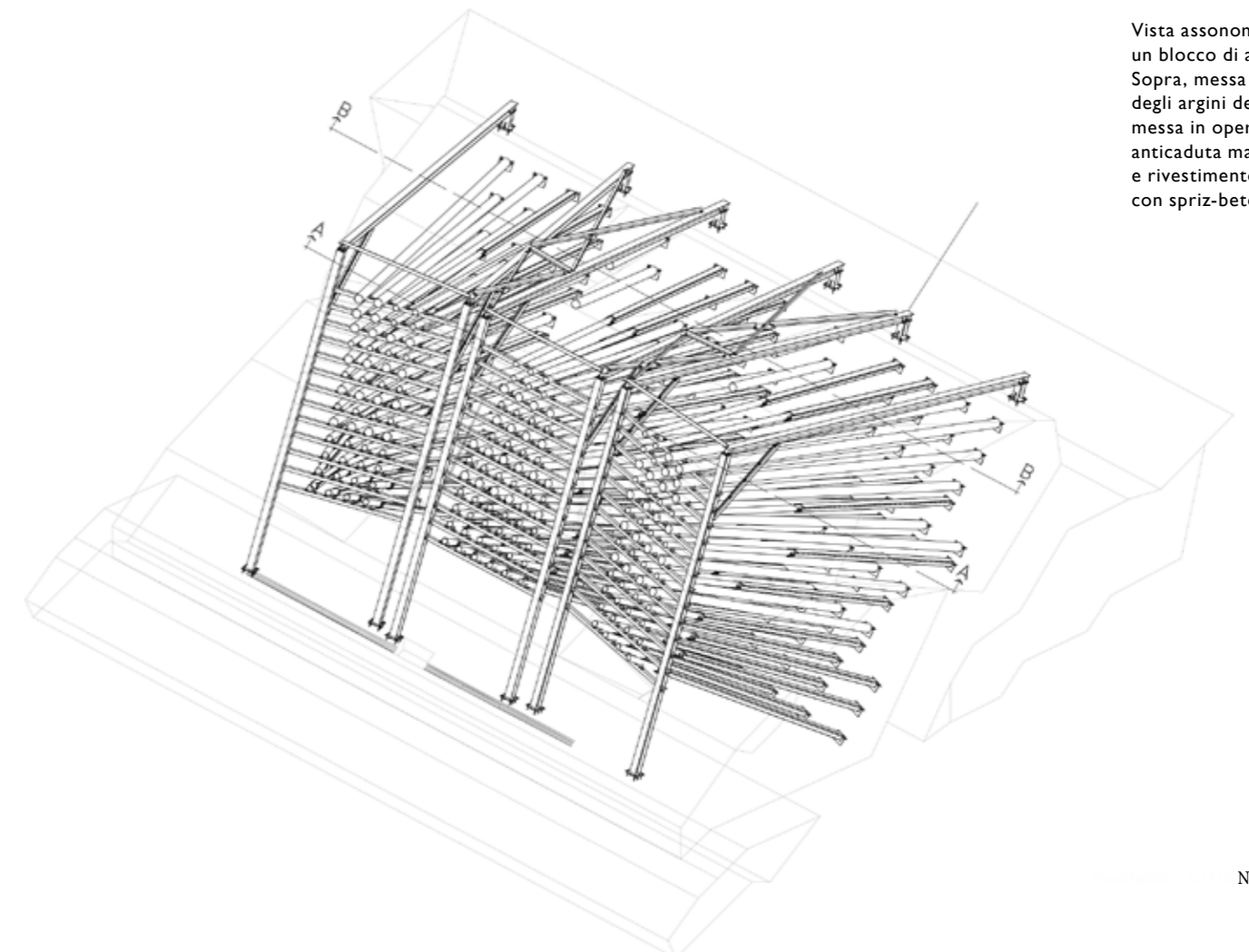
situati sul bordo e al centro della faccia di scavo. Un secondo set (taglio a V) è inclinato verso il centro.

Brillamento: i fori praticati vengono riempiti con dell'esplosivo e collegati a dei detonatori. Questi ultimi sono collegati a loro volta a dei dispositivi esplosivi uniti tra di loro. I fori sono fatti esplodere uno dopo l'altro a distanza di pochi millisecondi dal centro del fronte dello scavo verso l'esterno.

Ventilazione: appositi sistemi di canalizzazione dell'aria (tubi di acciaio o di plastica) immettono l'aria pulita all'interno dello scavo. Grazie alla differenza di pressione che viene generata, l'aria interna al tunnel (ricca di gas e polveri) viene portata verso l'uscita del tunnel.

Smarino: dopo che i pezzi di roccia sciolti sono stati rimossi dal fronte di scavo, le macerie sono portate fuori dal tunnel attraverso autocarri o cassoni installati su rotaie e trasportate dal sito di scavo alla discarica.

Rivestimento: un rivestimento temporaneo a rapida presa (generalmente spritz-beton) viene adoperato per stabilizzare le pareti. In presenza di rocce di scarsa resistenza meccanica potrebbe essere necessario mettere in opera archi di acciaio per sostenere le pareti del tunnel (centinatura). Al termine è possibile rivestire definitivamente il tunnel.





Realizzazione dei blocchi di ancoraggio



I BLOCCHI DI ANCORAGGIO

La presenza di pendii rocciosi nella valle del Danubio ha consentito di ancorare i cavi portanti direttamente alla roccia, evitando la necessità di realizzare pile portanti nel fiume. L'ancoraggio alla roccia è avvenuto grazie a due blocchi posti sui due versanti del fiume, installati mediante una perforazione guidata e controllata. Come metodo di perforazione è stato scelto il metodo del martello fondo foro Wassara che ha permesso di raggiungere la tolleranza richiesta e la deviazione registrata è risultata inferiore all'1%. Per ogni blocco di ancoraggio sono stati eseguiti 100 ancoraggi lunghi fino a 70 metri (spade). Per soddisfare gli elevati requisiti di sicurezza e progettuali, i blocchi di ancoraggio sono stati gettati in un'unica soluzione di circa 600 mc di calcestruzzo armato, completato in un solo giorno. Durante questa fase è stato effettuato un monitoraggio continuo della temperatura del calcestruzzo per prevenire l'eventuale formazione di fessure e la conseguente diminuzione di resistenza. Ogni blocco di ancoraggio ha il compito di sorreggere 12 trefoli di 15,7 mm di diametro e lunghi 500 metri, progettati per sostenere una forza di tiro pari a 1.573 kN.

Una particolarità legata a questa lavorazione riguarda il fatto che durante lo scavo del tunnel, eseguito con metodo Drill & Blast, è stato fondamentale garantire l'integrità degli ancoraggi monitorando le vibrazioni indotte dalle detonazioni degli scavi sugli ancoraggi già installati. Tale monitoraggio è avvenuto applicando sistemi di misurazione agli elementi più prossimi ai colmi del tunnel. Ciò ha permesso di controllare le forze agenti sulle teste degli ancoraggi e la progressione delle forze nella sezione adesiva. Il monitoraggio è stato eseguito tramite la realizzazione di un foro collocato a una distanza di circa 1 metro dai colmi del tunnel. I punti di misurazione sono stati posizionati a 1,5 - 3,0 e 4,5 metri sopra i colmi. Un secondo foro è stato invece creato a circa 10 metri di distanza dai suddetti colmi. In questa fase è stato impiegato un geofono per registrare le effettive velocità di vibrazione generate dall'attività di brillamento. L'insieme dei tiranti, delle spade e dei blocchi di calcestruzzo sono stati fondamentali in quanto hanno costituito il punto di sostegno dell'intero peso del ponte. A partire da questa fase è stato possibile iniziare l'installazione del ponte.

I CAVI PORTANTI

Per realizzare il ponte sospeso è stato necessario installare due fasci da 12 cavi di sospensione ciascuno collegato ai punti di ancoraggio grazie ad una particolare tecnologia a morsa. Questa configurazione ha

permesso di assemblare agevolmente i cavi portanti e ha garantito una migliore manutenibilità degli stessi, mantenendo le prestazioni inalterate nel tempo.

I cavi in acciaio, spiralati con un diametro di 145 mm ciascuno, sono lunghi circa 500 metri e pesano circa 85 tonnellate ciascuno. Per poter realizzare quest'attività è stata installata una funicolare: un drone ha fatto passare oltre il Danubio una fune sintetica da 8 mm che ha trascinato con sé la fune d'acciaio della funicolare. Ogni cavo è stato inserito all'interno di un macchinario che, srotolando dalla bobina, è stato trascinato verso l'altra sponda dalla funicolare, posandosi in delle selle che hanno mantenuto il cavo nella posizione corretta. Una volta raggiunta la sponda, l'estremità di ogni cavo è stata inserita ed agganciata nelle "spade" (ancoraggi di calcestruzzo immersi nel pendio della montagna, a loro volta ancorati alla roccia da oltre cento tiranti ciascuno).

Per assemblare la struttura di supporto dei cavi sono state utilizzate specifiche attrezzature e strutture ausiliarie, quali: due gru a cavo; una teleferica ausiliaria per trasportare i cavi portanti; un avvolgitore motorizzato per lo srotolamento controllato dei cavi;

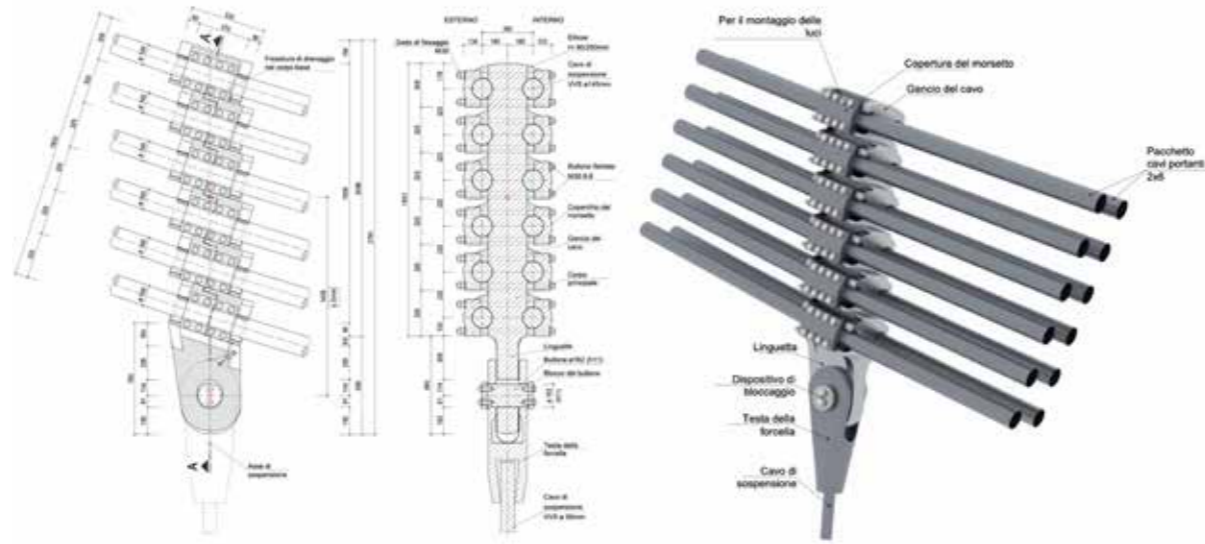


Dettaglio dell'installazione di un connettore. Sopra, il cantiere per la realizzazione dei blocchi di ancoraggio



I 24 cavi di sospensione del ponte (12 per lato) messi in opera da un macchinario trascinato da una funicolare





Prospetto, sezione e assonometria del sistema di connessione tra connettori, pendini e cavi di sospensione. Sotto, dettaglio dei pendini e dei cavi di sospensione appena installati



METODO DEL MARTELLO FONDO FORO WASSARA

Si tratta di un metodo di trivellazione a percussione tra i meno impattanti dal punto di vista ambientale. Esso viene alimentato ad acqua, senza olio per la lubrificazione, evitando quindi che avvengano contaminazioni dell'aria o dell'acqua. L'incompressibilità dell'acqua è un fattore chiave e consente notevoli risparmi energetici rispetto alla tecnologia pneumatica dei martelli DTH convenzionali, poiché l'energia richiesta per alimentare il martello è minore. Con questo sistema è possibile effettuare fori dritti con qualsiasi angolazione (anche in orizzontale) e raggiungere una profondità fino a circa 100 metri. I tre componenti principali del sistema sono: una punta pilota interna che fresa la parte centrale del foro e guida la batteria di perforazione; una scarpa a corona circolare esterna alla punta pilota; un tubo camicia saldato alla scarpa a corona. La perforazione avviene mediante roto-percussione con la possibilità di far avanzare la punta pilota separatamente dalla scarpa di perforazione.

un argano per la tiratura dei cavi da nord a sud; varie attrezzature di sollevamento (gru su rotaia con capacità di sollevamento maggiore di 80 tonnellate, gru a torre, ecc.); numerosi dispositivi di sicurezza. I cavi portanti, ancorati ai blocchi di ancoraggio, sono stati portati in tensione gradualmente:

- è stata applicata una tensione pari al 12% prima di iniziare il montaggio del cavo portante;
- a seguire, prima di continuare con l'assemblaggio del cavo portante, è stata applicata una tensione pari al 30%;
- dopo il completamento della struttura in acciaio lo stato tensionale è stato portato al 75%;
- infine, al termine del completamento della soletta collaborante, la tensione è stata portata al 100%.

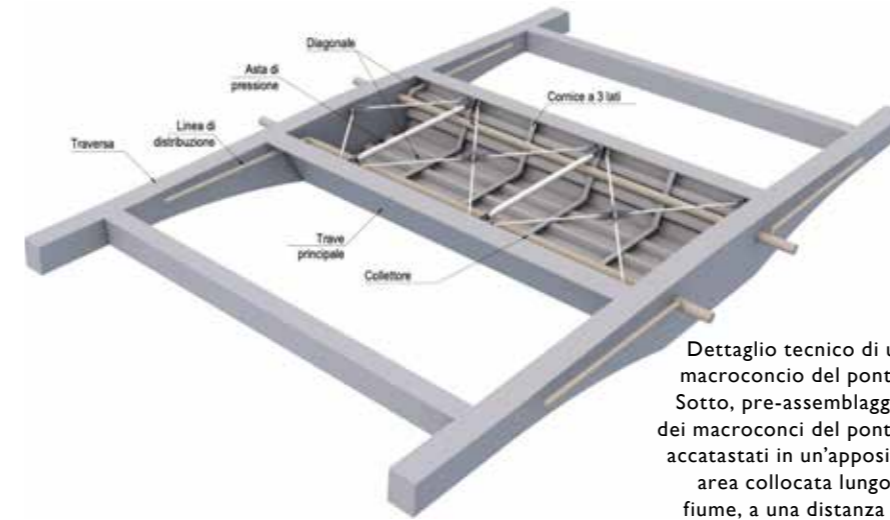
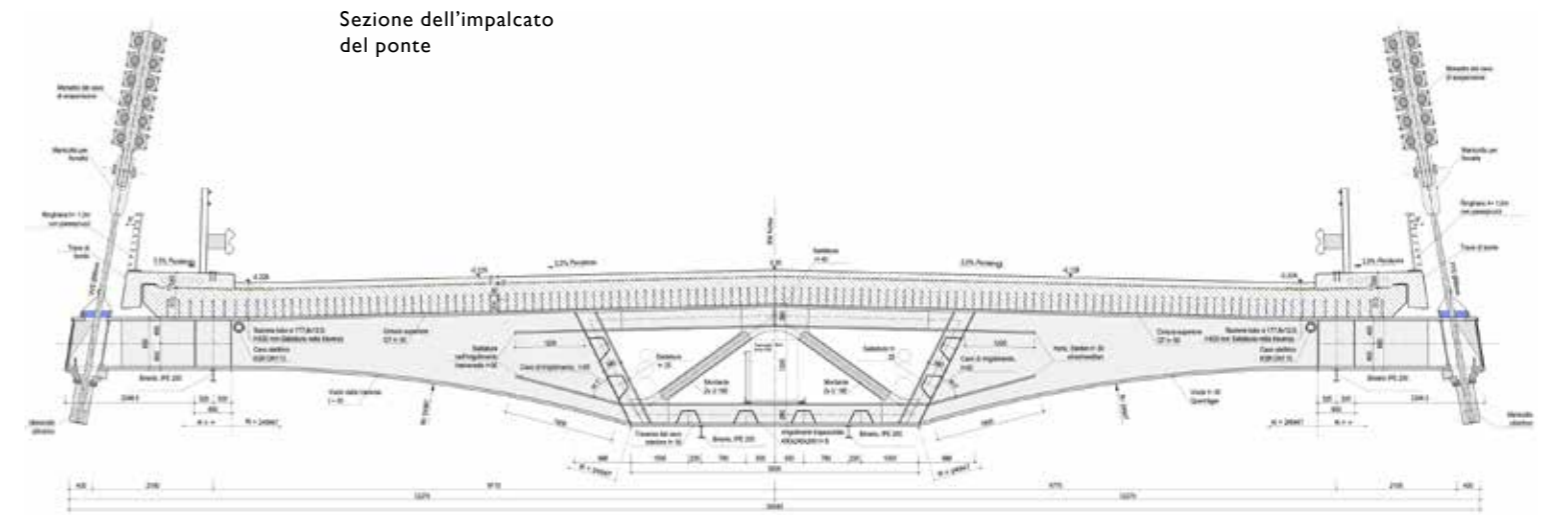
I cavi, una volta installati, hanno assunto una posizione parallela fra di loro. Questi sono stati poi spinti verso l'esterno in modo da poter allargare la mezzeria del ponte, arrivando a coprire una distanza di 15 metri l'uno dall'altro. Per svolgere quest'attività sono state installate delle piattaforme appositamente prodotte che, attraverso dei martinetti posti all'estremità, hanno tirato i cavi verso l'esterno e ne hanno mantenuto la giusta configurazione fino al completamento delle fasi temporanee di installazione dell'opera.

I CONNETTORI

Per agganciare i pendini che sorreggeranno l'impalcato ai cavi di sospensione, sono stati installati 60 connettori e clamps al fine di mantenere i cavi nella loro configurazione finale. Questi elementi sono stati forgiati su misura e sono stati installati ospitando all'interno delle cavità sei cavi per lato, stabilizzandoli tramite morsetti, a loro volta fissati con delle barre.

I PENDINI

Per la posa in opera delle sezioni dell'impalcato è



Dettaglio tecnico di un macroconco del ponte. Sotto, pre-assemblaggio dei macroconci del ponte, accatastati in un'apposita area collocata lungo il fiume, a una distanza di circa 20 km dal cantiere



stato necessario installare dei pendini, la cui funzione è stata quella di raccogliere il peso dell'impalcato e trasmetterlo ai cavi principali. I pendini, che collegano l'impalcato del ponte ai cavi portanti, sono stati realizzati come cavi spiralati dal diametro di 95 mm. Hanno lunghezze variabili da 4,5 a 27 metri e sono intervallati a un passo di 14,55 metri. Questi sono stati imbracati e calati dalla funicolare per essere agganciati alla parte inferiore dei connettori attraverso un perno. Il collegamento dei pendini con i cavi portanti è stato realizzato tramite dei morsetti in acciaio fuso ed eseguiti su misura.

L'IMPALCATO

L'impalcato metallico, largo 24,5 metri e lungo 305 metri, è costituito da 8 conchi di acciaio saldati ed è stato realizzato con la seguente conformazione:

- una trave centrale trapezoidale in acciaio (steel box girder) alta 2,05 metri, larga 7,8 metri nella parte superiore e 5 metri in quella inferiore;
- due travi longitudinali di bordo, progettate come profili cavi saldati;
- dei diaframmi in acciaio progettati come profili cavi saldati aventi un passo di 14,55 metri, una larghezza di 0,8 metri e un'altezza variabile da 0,9 a 2,05 metri. Questi hanno avuto il compito di trasferire le forze della trave principale ai punti di ancoraggio dei cavi portanti;
- una soletta di calcestruzzo stesa principalmente in direzione trasversale con appoggi sulle nervature della trave principale e sulle travi di bordo. In corrispondenza dei bordi è stata messa in opera la soletta di calcestruzzo con uno sbalzo di circa 1,2 metri, soluzione che ha permesso di ridurre la luce tra la trave di bordo e della trave principale.

L'impalcato del ponte ha un peso complessivo di 13.000 tonnellate ed è appoggiato alle spalle tramite un sistema



Messa in opera dei macroconci dell'impalcato tramite delle gru posizionate su una chiatte e dei martinetti collegati ai connettori in quota



Aggancio di due macroconci del ponte che sono stati sollevati dalla chiatte e messi in posizione



di appoggi di cui il punto fisso si trova nella spalla a sud, mentre sul lato nord è presente un appoggio fisso trasversalmente, ma mobile longitudinalmente. Per questioni di spazio all'interno del cantiere, gli elementi strutturali del ponte sono stati pre-assemblati in conci in un'area appositamente dedicata lungo il fiume, a circa 20 km di distanza dal cantiere. Dall'area di pre-montaggio al luogo di installazione, i macroconci sono stati trasportati uno alla volta lungo il fiume utilizzando una chiatte dotata di una piattaforma sollevatrice e di una gru (sopra la quale i macroconci sono stati caricati per mezzo di carrelloni semoventi). Una volta raggiunta la posizione, con l'ausilio delle gru posizionate sulla chiatte e dei martinetti collegati ai connettori in quota, i segmenti del ponte sono stati sollevati e messi in posizione. Raggiunta l'altezza prevista, i macroconci sono stati agganciati ai pendini (hanger cables) inserendo questi ultimi all'interno dei traversi del ponte. Il primo elemento varato è stato il concio centrale, per poi proseguire verso le rispettive sponde a sud e a nord del fiume, fino alla messa in opera dei conci di attacco a ridosso dei portali dei tunnel. Completata questa operazione, i martinetti sono stati rimossi e tutto il carico del ponte è stato definitivamente trasferito ai pendini, ottenendo così un impalcato in posizione,

LA SCHEDA

Committente: Asfinag Bau Management GmbH (gruppo autostrade austriaco)
 Responsabile di progetto: Dipl. Ing. Sempelmann Franz
 Vicedirettore di progetto: Dipl. Ing. Markus Doppelbauer
 Importo lavori: 200 milioni di euro
 Tempi di esecuzione: Inizio lavori: novembre 2018 - fine lavori: entro ottobre 2024
 Appaltatore: Joint Venture Arge A26 Donau Brücke: Gruppo Icm spa, Maeg Costruzioni spa, F-Pile
 Joint Venture Arge A26 Donau Brücke: Gruppo Icm spa, Maeg Costruzioni spa, F-Pile
 Costruttore mandatario: Gruppo Icm spa
 Responsabile di progetto: Ing. Manfredo Papa Gruppo Icm spa
 Costruttore carpenteria metallica del ponte: Maeg Costruzioni spa
 Responsabile di progetto: Ing. Massimo Montaldo
 Progetto ponte: SBP Stoccarda (De)
 Progetto tunnel: ILF Consulting Engineers Innsbruck (A)
 Impresa esecutrice ancoraggi: Dolomiti Rocce srl
 Casserature: Doka GmbH e Peri Se



Giuntura degli 8 macroconci del ponte. Sopra, realizzazione della soletta del ponte

appeso ai cavi principali, a 20 metri di altezza sopra il Danubio. L'ultima fase ha riguardato la giuntatura dei macroconci, resi solidali grazie al tensionamento dei cavi.

LA SOLETTA COLLABORANTE

Al completamento del montaggio della trave del ponte sono state posizionate sul cassone le lastre predalles prefabbricate di spessore 8 cm, depositate sulla struttura tramite l'utilizzo della gru a cavo. A seguire è stata gettata una soletta di calcestruzzo avente uno spessore di 20 cm e, successivamente, sono stati realizzati i marciapiedi. La soletta è stata resa collaborante con l'impalcato grazie a pioli Nelson saldati nell'area di Asten sulle travi longitudinali e sul cassone. Al termine di queste lavorazioni si è proceduto alla realizzazione del pacchetto stradale per permettere la transitabilità dei mezzi. Questo è stato completato posando in un primo momento l'impermeabilizzazione a caldo, mentre in una fase successiva sono stati messi in opera gli strati di asfalto. Terminato il pacchetto stradale è avvenuta la posa dei parapetti e delle barriere antifumo, oltre alla realizzazione delle finiture. A completamento dell'opera sono poi stati predisposti i sistemi di illuminazione e la segnaletica definitiva.

BIBLIOGRAFIA

- Dipl. Ing. Franz Sempelmann, "Ein neues Wahrzeichen für Linz - Die Donaubrücke der A26" in Geomechanics and Tunneling Ernst & Sohn, Vol. 14, Issue 5, ottobre 2021.
- Dipl. Ing. Franz Sempelmann, "A26 Linzer Autobahn - Herausforderungen im Rückblick und Ausblick Verkehrsbelastung für die Stadt Linz" in Geomechanics and Tunneling Ernst & Sohn, Vol. 16, Issue 4, ottobre 2023.
- Dipl. Ing. Mathias Widmayer, Andreas Keil sbp Stuttgart, Germany "A new landmark bridge for Linz, Austria", e-mosty.