



Qualità, sicurezza, risorse umane e ore di lavoro in un'infrastruttura fondamentale per il Paese: il potenziamento e il miglioramento dei collegamenti viari con l'aeroporto di Malpensa

LE OPERE DELLA SUPERSTRADA MALPENSA-BOFFALORA

Giorgio Tagliabue* Arturo Ercole**
Luigi Sordi*** Dario Gazzoli****
Giovanni Rocca*****
Viviana Bandieramonte*****

Il collegamento stradale dalla S.S. 527 "Bustese" alla S.S. 11 "Padana Superiore" con raccordo alla A4 "Casello di Boffalora", lungo il limite amministrativo del Parco del Ticino tra lo svincolo con la S.S. 527 e la S.S. 11 "Padana Superiore", è stato aperto al traffico lo scorso 30 Marzo (si veda articolo a pagina XXX).

L'opera in oggetto è stata aggiudicata all'Associazione Temporanea di Imprese costituita dall'Impresa mandataria Adanti SpA di Bologna e dall'Impresa mandante Consorzio Ciro Menotti di Ravenna. Per l'esecuzione dei lavori è stata costituita una Società consortile denominata CO.MA.BO. Scarl tra Adanti SpA e CEA, Società cooperativa indicata dal Consorzio Ciro Menotti per l'esecuzione dei lavori.

La progettazione strutturale delle opere in calcestruzzo armato è stata affidata allo Studio di Ingegneria Civile Matildi di Bologna.

I soggetti principali dell'Impresa Mandataria risultano essere:

◆ il Presidente Dott. Ing. Paolo Zedda;

- ◆ il Direttore Tecnico Dott. Ing. Giorgio Tagliabue;
- ◆ il Direttore Tecnico di Cantiere Geom. Massimo Zullo;
- ◆ il Responsabile Qualità e Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione Dott. Ing. Arturo Ercole.



Figura 1

Figura 2





La prima consegna parziale dei lavori è avvenuta nell'Aprile del 2004; nel Febbraio e nel Marzo 2005 sono avvenute altre due consegne parziali; solo nel Giugno del 2005 è avvenuta la consegna totale di detti lavori.

Dopo l'approvazione della seconda perizia di variante nel Marzo del 2007, si è potuto procedere al completamento dei lavori al fine di rispettare la data di consegna del 7 Aprile 2008 prevista dal Committente. Il rispetto di tale termine così ravvicinato - e per giunta anticipato al 30 Marzo 2007 - ha determinato un impegno tale di risorse tale da consentire una produzione media mensile di oltre sei milioni di Euro.

La qualità ha rivestito sempre un ruolo importante nelle scelte e nelle strategie aziendali finalizzate al risultato finale dell'opera: molteplici sono state le verifiche e i controlli eseguiti su tutte le tipologie di materiali utilizzati; per quanto concerne i cementi armati, sono stati eseguiti 31.000 serie di provini di calcestruzzo e 3.400 provini sulle barre di armatura da sottoporre a controlli di accettazione, suddivisi per mix-design, per fornitura generale e per opera d'arte. Sui movimenti terra sono state eseguite oltre 1.000 prove di piastra e di densità in sito. Nella stessa ottica si è proceduto per gli stabilizzanti, per la stabilizzazione a cemento in sito, per le impermeabilizzazioni, per i conglomerati bituminosi, per le barriere di sicurezza, ecc..

Priorità assoluta è stata data inoltre alla sicurezza, valutando le singole fasi lavorative e puntando sulla formazione, sull'informazione e sull'addestramento dei lavoratori nell'ottica di ridurre il rischio infortunistico sempre al minimo. Tali scelte aziendali hanno consentito di riscontrare un bassissimo indice di frequenza degli incidenti sui luoghi di lavoro e la completa assenza di incidenti gravi e mortali nonostante l'elevato numero di ore di lavoro. Le risorse umane impegnate hanno determinato un monte ore lavoro di circa 1.500.000 con l'utilizzo di Personale tecnico, amministrativo, operai specializzati, qualificati, carpentieri, muratori, ferraioli, operatori di mezzi d'opera, autisti e operai generici. Notevole è stata l'incidenza delle ore lavorate dai mezzi d'opera che ammontano a circa 700.000, in considerazione anche dell'imponente mole di lavoro rappresentata dai movimenti terra in cui sono stati lavorati circa 5.300.000,00 m³ oltre a 1.800.000,00 m³ per i rilevati e i ritombamenti. Notevole importanza va data alla realizzazione delle opere d'arte eseguite in calcestruzzo armato: sono stati gettati in opera circa 350.000 m³ di calcestruzzi e impiegati 21.800.000 kg di ferro lavorato.



Figura 3

Quattro km di gallerie con Hünnebeck Italia SpA

Hünnebeck, Azienda leader nella produzione, vendita e noleggio di casseforme e ponteggi, è stata scelta per la realizzazione delle gallerie artificiali gettate in opera.

Il raccordo, come accennato, si sviluppa ai margini del Parco del Ticino: pertanto, si sono rese necessarie numerose opere di mitigazione ambientale, al fine di ridurne al minimo gli impatti, tra cui 16 gallerie artificiali progettate per garantire corridoi ecologici alla fauna locale. Le casseforme a trave sono state utilizzate per il getto in opera delle pareti verticali delle gallerie. I pannelli, di 6,50 m di altezza e 15 m circa di lunghezza, sono costituiti da sei moduli minori posizionati lungo la struttura e congiunti mediante un profilo di collegamento a un carro di traslazione appositamente costruito.



Figura 4

Il carro si sposta su una particolare rotaia fissata sul dado della fondazione dell'opera e sostiene le casseforme agevolando la movimentazione sia nelle fasi di armo e disarmo sia nelle fasi di riposizionamento per il getto successivo.

E' stato previsto un carro per ogni piedritto, cioè uno per il setto centrale di divisione delle carreggiate e due per quelli esterni della galleria. Tale accorgimento richiesto dall'Impresa Adanti, studiato ad hoc dall'Ufficio Tecnico di Hünnebeck, ha permesso di procedere contemporaneamente alla realizzazione di tutte le pareti della galleria, garantendo notevoli vantaggi in termini di rispetto dei tempi, sicurezza ed economicità.



Figura 5

I solai di chiusura della galleria artificiale sono stati costruiti utilizzando 12 tavoli a portale, prodotti su misura in carpenteria metallica e sei tavoli realizzati con il sistema Hünnebeck LTT per le file centrali delle carreggiate. Inoltre i tavoli a portale, assemblati in cantiere, sono stati traslati in posizione di getto con l'ausilio di una gru e concepiti per consentire il transito in sicurezza degli automezzi al di sotto della struttura in opera, in qualsiasi momento.

I tavoli, posizionati in un apposito binario predisposto a terra che ne contiene il piede, sono regolabili tramite aste filettate, (quindi da terra ed in piena sicurezza). Una volta completato il getto, è previsto il disarmo dei tre moduli di tavoli Hünnebeck LTT centrali che vengono poi traslati in avanti lasciando ai lati i 3+3 tavoli a portale in armo. Nello spazio rimanente viene inserito un tavolo rompitratta, formato da quattro puntelli ad alta portata (45 t/cad.), che permette il disarmo e la traslazione per il getto successivo.

L'accorgimento, studiato ad hoc, del carro di traslazione e la versatilità delle attrezzature Hünnebeck hanno permesso la costruzione dell'opera in modo efficiente e veloce, garantendo contestualmente il rispetto delle tempistiche di lavorazione richieste.

Le opere in acciaio della BIT SpA

Le opere in acciaio sono state realizzate dalla BIT Costruzioni Metalliche di Cordignano (TV): sono stati infatti realizzati impalcato in acciaio Corten per 4.000.000 kg circa. Tali opere riguardano un viadotto a doppia via della lunghezza di 130 m, un viadotto a quattro vie della lunghezza di 130 m, sedici sovrappassi stradali della lunghezza di 45 m e si concretizzano in 4.000 t di acciaio verniciato, 116.000 bulloni ad alta resistenza, migliaia di metri lineari di saldature, oltre all'impegno consistente di ogni settore dell'Azienda.

Sulla base del progetto redatto dallo Studio di Ingegneria Civile Matildi di Bologna, dall'anno 2004 l'Ufficio Tecnico della BIT SpA ha intrapreso lo studio di approfondimento per addivenire ai preliminari di esecuzione, da sottoporre all'approvazione dei Progettisti. Superate brillantemente le fasi soggette all'approvazione del progetto esecutivo, è stato redatto il progetto costruttivo di officina e si è proceduto alacremente agli approvvigionamenti e alla costruzione in stabilimento, con particolare riguardo alle sequenze di programma, che dovevano succedersi in perfetta armonia con lo sviluppo delle opere civili in cantiere.

I materiali lavorati dai reparti di produzione, considerati l'ingombro e il peso, sono stati spediti

in cantiere a mezzo di trasporti eccezionali, per i quali sono state predisposte vie di accesso provvisorie ed apposite piazzuole per lo scarico e la movimentazione. Nelle immediate vicinanze delle opere sono state realizzate delle aree, opportunamente dimensionate, stabilizzate e costipate, per l'assemblaggio a terra degli elementi e per il piazzamento dei mezzi di sollevamento necessari al varo. Lunghi 45 m, i sovrappassi - ovvero gli impalcato di scavalco destinati alla viabilità adiacente per evitare incroci a raso - sono stati interamente assemblati a terra per il loro successivo varo in unica soluzione (Figura 6). A questo scopo l'Ufficio Tecnico ha studiato e realizzato un sistema di imbracature e bilancini che ha consentito di sollevare l'intero impalcato, mantenendolo in stabile equilibrio, fino alla sua perfetta collocazione sugli apparecchi di appoggi predisposti in quota.

Prima del varo di ogni sovrappasso, ad impalcato completamente assemblato a terra, sono stati effettuati i controlli del serraggio dei bulloni con chiave dinamometrica e la verifica delle controfrecce di progetto, e si è quindi proceduto al completamento del ciclo di verniciatura con la mano finale.

I viadotti, necessari a oltrepassare la rotonda di svincolo (Figura 7), l'autostrada e la linea ferroviaria (Figura 8), lunghi 130 m, con schema statico di travate continue su tre luci, sono stati parzialmente assemblati a terra e completati in quota.

La campata centrale è lunga 60 m, mentre le due campate laterali sono lunghe 35 m ciascuna. I conci di impalcato metallico assemblati a terra, della lunghezza minima di 12 m e massima di 23 m ciascuno, sono stati varati con l'ausilio di pile provvisorie intermedie che ne hanno consentito il posizionamento in quota, in attesa di essere accoppiati con i conci successivi fino al raggiungimento dell'appoggio sulla seconda spalla (Figura 9).



Figura 7 - Il viadotto Santella Gesiola



Figura 6 - Il varo in corso dell'intero impalcato

Tali pile provvisorie sono state opportunamente dimensionate a fungere da appoggio intermedio, rispettando la geometria futura del viadotto e le quote a cui deve giungere l'impalcato secondo gli schemi di progetto.



Figura 8 - Il viadotto Opera 25

Figura 9 - Dalla pila provvisoria alla pila definitiva, una campata centrale da 60 m



Figura 10 - Un particolare delle pile provvisorie

Quando l'insieme dei conci ha raggiunto l'appoggio definitivo, la pila provvisoria viene rimossa per essere adattata e riposizionata secondo la necessità di progressione dell'impalcato.

Anche per i viadotti sono stati effettuati, in corso d'opera, i controlli del serraggio dei bulloni con chiave dinamometrica e la verifica delle controfreccce di progetto: in questo caso i controlli sono avvenuti parzialmente a terra e completati in quota. La verniciatura a finire è stata ese-

guita interamente in quota. A montaggi ultimati sono state eseguite le verifiche di corrispondenza topografica, geometrica e altimetrica, e le prove prescritte dai capitolati sulla verniciatura.

Allo scopo di ridurre al minimo i disagi alla normale circolazione stradale e autostradale, nei casi di interferenza con le attività di montaggio si è proceduto mediante vari notturni, con parzializzazioni o brevi interruzioni delle carreggiate interessate (Figura 11).

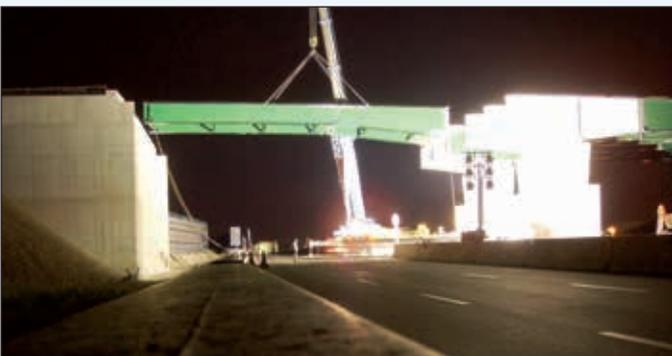


Figura 11 - Il varo notturno in sede autostradale





La stabilizzazione a cemento in sito

La variante di progetto si riferisce a una proposta migliorativa proposta dall'Impresa Adanti SpA, rispetto al progetto posto a base di gara, inerente la realizzazione delle pavimentazioni dell'infrastruttura.

Tale proposta di variante è stata studiata dal Prof. Ing. Maurizio Crispino, Docente di Strade, Ferrovie ed Aeroporti nel Politecnico di Milano, in coordinamento con l'Ing. Giorgio Tagliabue e l'Ing. Arturo Ercole dell'Impresa Adanti SpA.

Tale soluzione ha riguardato la realizzazione della fondazione delle pavimentazioni tramite l'utilizzo di materiale presente in sito da trattare e consolidare a cemento al fine di ottenere un piano di appoggio degli strati in conglomerato bituminoso di elevata portanza e in grado di sopportare i cicli di carico su base ventennale richiesto dal progetto posto a base di gara. Tale proposta ha consentito peraltro di soddisfare i requisiti prestazionali previsti dal progetto senza alcun incremento di spesa, velocizzando notevolmente le lavorazioni.

Attraverso la realizzazione di uno specifico campo prove, eseguito in presenza dei Responsabili dell'ANAS, si è potuto verificare l'effettiva realizzabilità della proposta di variante, la sua efficacia e soprattutto la sua rispondenza ai requisiti posti.

Il progetto posto a base di gara prevedeva la realizzazione di pavimentazioni caratterizzate da diverse stratigrafie, differenziate a seconda dello specifico obiettivo funzionale/strutturale. Si possono identificare due tipologie distinte: la prima inerente il tracciato principale, la seconda relativa alla tratta denominata S.S. 341 (d'ora in poi "pavimentazione principale"); la seconda tipologia contiene anche le pavimentazioni relative alle rampe di svincolo, alla viabilità minore e alla deviazione delle strade vicinali. Entrambe le tipologie di pavimentazione (principale e secondaria) prevedevano la preparazione del piano di posa secondo le quote e le pendenze definite negli elaborati grafici di progetto, la realizzazione di uno strato di fondazione in misto granulare stabilizzato, il cui modulo di deformazione all'estradosso doveva essere, secondo quanto indicato nelle prescrizioni di Capitolato, superiore ad 80 MPa. Il progetto prevedeva poi, solo per la pavimentazione principale, la stesa di uno strato in misto cementato confezionato in impianto dello spessore finito di 20 cm con resistenza a compressione compresa tra 2,5 e 4,5 MPa. Per entrambe le tipologie era poi prevista la stesa di tre strati in conglomerato bituminoso ordinario rispettivamente di base, binder e usura a completamento della sovrastruttura.

La proposta tecnica di variante del progetto ha riguardato lo strato di fondazione e lo strato di misto cementato della pavimentazione della viabilità principale. Per la pavimentazione della viabilità secondaria - ma solo per quelle circostanze in cui se ne ravvisava la necessità - è stata studiata una soluzione alternativa (a quella prevista del progetto) consistente nella stabilizzazione dello strato di fondazione. In particolare, per quanto concerne la pavimentazione della viabilità principale si è proposto di sostituire lo strato di fondazione in misto granulare stabilizzato granulometricamente dello spessore di 25 cm e lo strato in misto cementato dello spessore di 20 cm con un unico strato costituito dal materiale presente in sito trattato e consolidato tramite additivazione con cemento per uno spessore finito medio di 40 cm.

Per la pavimentazione della viabilità secondaria la soluzione studiata prevede la sostituzione dello strato di fondazione in misto granulare stabilizzato granulometricamente dello spessore di 30 cm con uno strato di 20 cm di spessore finito di misto naturale presente in sito trattato e consolidato tramite additivazione con cemento.

La stesa del materiale è stata effettuata tramite idonea attrezzatura miscelatrice di tipo pulvimixer, dotata di controllo computerizzato del dosaggio sia della percentuale di acqua sia della percentuale di ce-

mento; tali quantità sono state determinate a seguito di una campagna di prove di laboratorio sui campioni di terreno naturale prelevato in sito atte a individuare le percentuali ottime degli elementi costituenti la miscela di terra trattata e consolidata di seguito descritte. La lavorazione è stata condotta sempre considerando opportunamente l'umidità in sito del terreno da miscelare per conoscere la quantità di acqua necessaria da aggiungere alla miscela da trattare e consolidare. La proposta tecnica di variante presenta diversi e notevoli vantaggi; tra questi si citano:

- ◆ la valorizzazione e l'utilizzo dei materiali presenti in sito;
- ◆ l'incremento significativo della produttività di cantiere;
- ◆ l'elevata indipendenza delle lavorazioni dalle condizioni climatiche;
- ◆ la maggiore durabilità dell'opera finita.

Anticipando i risultati delle calcolazioni sulle pavimentazioni, si evidenzia che la proposta tecnica di variante ha portato alla costruzione di pavimentazioni in grado di avere una vita utile di 20 anni con un maggiore "fattore di sicurezza" rispetto al progetto posto a base di gara (oppure, in modo equivalente, di avere una maggiore durabilità a parità di "fattore di sicurezza").

Nel seguito si descrive la metodologia utilizzata per la validazione della proposta tecnica di variante.

Sono state analizzate innanzitutto le sezioni trasversali della pavimentazione principale e della pavimentazione secondaria; ciò ha permesso di valutare le profondità di prelievo dei campioni da sottoporre a indagini di laboratorio. Il materiale prelevato è stato sottoposto a prove di laboratorio suddivise in due distinte fasi successive di analisi: la prima fase è servita per classificare il materiale presente in sito e per valutare il grado di eterogeneità dello stesso; la seconda, eseguita subito dopo la prima, ha avuto lo scopo di definire le caratteristiche ottimali della miscela per il trattamento e il consolidamento in sito.

La proposta tecnica di variante riguardante la pavimentazione della viabilità principale ha previsto la realizzazione di una sovrastruttura di spessore pari a 63 cm, formata da uno strato di 23 cm di conglomerato bituminoso ordinario e da 40 cm di fondazione in misto naturale trattato e consolidato a cemento, strato che costituisce il principale elemento di variante rispetto al progetto posto a base di gara. Lo spessore di conglomerato bituminoso è costituito da tre strati realizzati con bitume ordinario (coincidenti con quelli previsti dal progetto posto a base di gara) e così costituiti: strato di usura (5 cm), strato di collegamento (6 cm) e strato di base (12 cm); gli strati in conglomerato bituminoso non sono stati modificati dalla proposta di variante rispetto alle previsioni progettuali originarie.

Per la pavimentazione della viabilità secondaria l'alternativa alla soluzione progettuale - laddove se ne fosse ravvisata la necessità - prevedeva una sovrastruttura di spessore pari a 37 cm, formata da 17 cm di strati in conglomerato bituminoso e da 20 cm di fondazione in misto naturale trattato e consolidato in sito con cemento. Lo strato di misto granulare di 30 cm di spessore presente nel progetto posto a base di gara sarebbe perciò stato sostituito con uno strato di 20 cm di misto naturale trattato e consolidato con cemento e poggiante sul terreno di sottofondo.

Anche in questo caso gli strati in conglomerato bituminoso sono tre, realizzati con bitume ordinario e coincidenti con quelli previsti dal progetto posto a base di gara e così definiti: strato di usura (3 cm), strato di collegamento (4 cm) e strato di base (10 cm).

La proposta tecnica di variante inerente le pavimentazioni sia della viabilità principale sia della viabilità secondaria ha comportato, sulla base di una verifica di tipo razionale, che le stesse sono in grado di sopportare un numero di sollecitazioni significativamente superiori rispetto a quello del progetto posto a base di gara.



I modesti valori di sollecitazione all'interno degli strati in conglomerato bituminoso, per effetto dei carichi prodotti dai mezzi pesanti sulla pavimentazione, sono mantenuti bassi dalla elevata portanza che lo strato di misto naturale trattato e consolidato in sito con cemento offre alla pavimentazione sovrastante. A ciò si aggiunge l'incremento di spessore dello strato legato a cemento che passa da 25 a 40 cm medi. La proposta di variante in definitiva consente, sia per la pavimentazione della viabilità principale sia per la pavimentazione della viabilità secondaria, di sopportare il carico di traffico ventennale di progetto con un fattore di sicurezza molto più ampio rispetto al progetto posto a base di gara.



Figura 12 - Il treno di stabilizzazione a cemento con botte acqua

Le opere di stabilizzazione a cemento

La realizzazione delle opere di stabilizzazione a cemento della viabilità principale sono state eseguite dall'impresa Locatelli SpA che ha lavorato in subappalto per l'ATI aggiudicataria della commessa. Le lavorazioni si sono svolte a cavallo dell'estate 2007 e Gennaio 2008, e hanno interessato l'asta principale della viabilità.

Per le lavorazioni sono state utilizzate macchine specializzate di alta potenza e grande produttività unite a macchinario specializzato per lo spargimento del cemento a controllo costante. Lo strato di materiale soggetto alla particolare lavorazione è stato mediamente di 40 cm.

Prima dell'intervento della macchina stabilizzatrice si è proceduto alla regolarizzazione del piano su cui si doveva intervenire mediante l'intervento di grader che hanno provveduto a "tirare" il materiale in eccesso e riportare ove mancante (Figura 13) il controllo del piano ottenuto è stato poi verificato da professionisti con strumenti topografici a controllo GPS che ha permesso una puntuale verifica dei risultati attesi in termini di sagoma complessiva e pendenze di progetto.

Questo tipo di lavorazione all'apparenza banale è invece di fondamentale importanza per permettere poi la corretta lavorazione della stabilizzatrice; infatti, un piano pressoché non perfetto, non può poi essere corretto da parte della stabilizzatrice il cui scopo è mescolare il materiale e non livellarlo. La macchina in sostanza mescola ciò che trova e seppur con-



Figura 13 - La regolarizzazione preventiva del piano di lavoro con il grader

trollata elettronicamente non è in grado di modificare un piano, compito che è demandato a mezzi dedicati tipo i grader appunto. Dopo la fase di regolarizzazione previa una leggera rullatura si è proceduto alla lavorazione vera e propria.

Di particolare importanza prima dell'inizio dei lavori è la valutazione e l'analisi del tasso di umidità presente nel terreno prima del passaggio della macchina stabilizzatrice. La buona riuscita della lavorazione è infatti influenzata dall'umidità e quindi dalla percentuale di acqua finale presente che deve essere quella prevista a progetto. Una parte di acqua si trova naturalmente presente nel terreno a seconda della stagione climatica e dell'irraggiamento solare conseguente e una parte viene invece meccanicamente aggiunta al passaggio della fresa tramite una botte apposita che dosa a seconda delle necessità la corretta quantità eventualmente richiesta. Effettuata la valutazione e l'analisi di cui sopra si procede allo spargimento mediante apposito mezzo del cemento in polvere direttamente sul terreno.

Il macchinario utilizzato è in grado di dosare con precisione la quantità di cemento prevista a progetto, un ulteriore controllo è poi effettuato tramite pesatura meccanica del materiale sparso che si effettua per mezzo di un recipiente di superficie nota che viene lasciato sul terreno al passaggio della macchina spargitrice e poi pesato per controllo.

Cosparsi il terreno di cemento nella quantità prevista a progetto, interviene la fresa che unitamente alla botte per l'acqua, vincolata ad essa, procede al trattamento vero e proprio del materiale per la profondità impostata.

La fresa si abbassa quindi fino al raggiungimento della quota preimpostata da trattare, in questo caso -40 cm, e inizia per mezzo del proprio tamburo a mescolare il terreno in modo omogeneo e completo.

La presenza di inerti di varia grandezza in alcune zone (mai superiori al 200) non ha impedito il corretto lavoro del tamburo che, complice anche l'elevata potenza della macchina, ha proceduto speditamente nelle proprie lavorazioni. Subito dopo il passaggio della fresa il terreno trattato è immediatamente compattato per mezzo di rulli pesanti (minimo 20 t tipo monotamburo) che procedono alla lavorazione secondo un piano di passaggi prestabilito e senza comunque eccedere per evitare di "rompere" il fondo che deve maturare per raggiungere la prestazione richiesta in termini di portanza e di modulo di deformazione.

Il progetto infatti prevede - dopo almeno 12 ore dalla fine della stesa - un valore del modulo di deformazione misurato con piastra da 30 cm superiore a 150 MPa valori che sono stati ottenuti con costanza su tutta la superficie trattata senza particolari problemi. I lavori si sono svolti in coordinamento e collaborazione con la Ditta che ha realizzato le pavimentazioni in conglomerato bituminoso; infatti l'organizzazione del cantiere è stata di tipo sequenziale, mano a mano che venivano pronti i campi stabilizzati a cemento e previo controllo di conformità alle prescrizioni di capitolato mediante effettuazione di prove di piastra, la Ditta esecutrice delle pavimentazioni in conglomerato bituminoso procedeva all'immediata copertura con il primo strato di materiale.

I lavori si sono svolti così abbastanza celermente pur nella difficoltà di operare in un cantiere piuttosto complesso a causa di numerose interferenze dovute alla presenza in contemporanea in alcuni casi di più Ditte esecutrici di parti di lavoro varie.



Figura 14 - Un particolare del passaggio del tamburo-fresa con cemento

Le opere di pavimentazione bituminosa

La realizzazione delle opere di pavimentazione bituminosa della viabilità principale sono state interamente effettuate dall'impresa C.I.C. Compagnia Italiana Costruzioni SpA che ha lavorato in subappalto per l'ATI aggiudicataria della commessa.

La nuova arteria appena ultimata ha uno sviluppo per quanto riguarda le pavimentazioni bituminose della viabilità principale di oltre 420.000 m², il pacchetto stradale a spessori finiti è composto da 12 cm di tout venant bitumato realizzato con bitume tradizionale, 6 cm di binder realizzato con bitume tradizionale e 5 cm di conglomerato bituminoso di tipo drenante realizzato con bitume modificato. I lavori di pavimentazione bituminosa si sono svolti senza interruzione nel periodo compreso tra i primi di settembre 2007 e il 20 Marzo 2008 procedendo secondo un cronoprogramma molto stretto e impegnativo.



Figura 15 - Un particolare della stesa di mista bitumata

I lavori come da progetto sono consistiti nella realizzazione di un primo strato di conglomerato bituminoso di tipo tout venant poggiato su uno strato di mista naturale stabilizzata precedentemente a cemento e ricoperta con uno strato di emulsione bituminosa.

Lo spessore è di 12 cm compressi; è stato steso in un unico strato utilizzando finitrici cingolate di elevata potenza per poter garantire la necessaria trazione sul fondo in naturale dotate di allargamenti riscaldati che hanno permesso di stendere in due strisciate, ove possibile, lo strato di conglomerato bituminoso la cui larghezza media è di 11,20 m. Immediatamente dietro alla finitrice hanno lavorato dei rulli gomma-gomma del peso superiore a 18 t che hanno provveduto a costipare lo strato appena steso (Figure 15 e 16).



Figura 16 - Il rullo gomma-gomma al lavoro

Le produzioni medie che si sono riuscite a tenere su tale lavorazione sono state dell'ordine delle 2.400-2.600 t/giorno con punte di oltre 3.000 t nei momenti più favorevoli. Le lavorazioni di stesa della mista bitumata sono state eseguite tenendo conto delle numerose interferenze e situazioni "di conflitto" che su un'opera del genere si possono incontrare, ma la stretta collaborazione realizzata tra tutte le parti attrici ha fatto sì che l'esecuzione della pavimentazione potesse essere realizzata nel rispetto dei tempi e termini di consegna finali.

Il secondo strato di sovrastruttura stradale è composto da 6 cm compressi di binder posati sopra lo strato di tout venant bitumato preventivamente ricoperto da uno strato di emulsione bituminosa. Per questa lavorazione la C.I.C. SpA ha optato per l'utilizzo delle proprie finitrici di tipo gommato che meglio si prestano al tipo di lavoro richiesto garantendo maggiore flessibilità di impiego e di maneggevolezza; in questo caso lo strato di conglomerato è stato steso in tre strisciate per sfalsare i giunti longitudinali e permettere un migliore controllo delle pendenze (Figura 17).



Figura 17 - La stesa del binder effettuata nell'Ottobre 2007

La stesa del materiale è avvenuta, per necessità contingenti legate allo sviluppo delle opere del cantiere principale, a cavallo del periodo invernale in regime comunque di controllo dal punto di vista delle temperature del materiale sia in arrivo dall'impianto di confezionamento dei conglomerati bituminosi sia alla stesa dietro il banco della finitrice mediante apposita strumentazione di rilievo temperature di tipo digitale; le produzioni medie ottenute si sono comunque attestate su circa 1.800-2.200 t/giorno. Il terzo e ultimo strato è in conglomerato bituminoso di tipo drenante realizzato con l'utilizzo di bitume modificato (Figura 18).



Figura 18 - La posa del drenante



Figura 19 - Un particolare del drenante

Lo spessore finito è di 5 cm compattati, la stesa è stata effettuata previa stesa di una mano di attacco in bitume modificato e seguente spargimento sulla sua superficie di materiale inerte tipo filler onde poter permettere ai mezzi di operare senza rompere lo strato di bitume precedentemente spruzzato che una volta raffreddato forma una guaina (Figura 19).

La successiva stesa del conglomerato bituminoso drenante con il proprio calore (superiore ai 170°, Figura 20) riporta il film di bitume steso allo stato semiliquido permettendo un ottimo ancoraggio con lo strato sottostante e quindi la tenuta del sistema realizzato.

La peculiarità ormai nota del conglomerato bituminoso di tipo drenante è quella di permettere un rapido ed efficace smaltimento delle acque durante le precipitazioni atmosferiche, e quindi maggiore sicurezza per il traffico che si trova a transitare su una viabilità con ridotto o nullo effetto "muro d'acqua" sollevato dalle autovetture in transito.

Nella realizzazione della sovrastruttura stradale particolare cura è stata posta nel controllo e nel rispetto delle pendenze sia trasversali sia longitudinali, tra i vari accorgimenti, sono state all'uopo utilizzate le "sbarre" sulle finitrici il cui scopo è di aiuto ai normali controlli di livello elettronico di cui le nostre macchine sono normalmente dotate (Figura 21).

L'intervento così realizzato ha tenuto impegnate per oltre sei mesi due squadre complete per le finitrici, due finitrici una cingolata e una gommatata dotate di allargamenti per lavorare sino a larghezze di oltre 6,50 m, cinque rulli di peso compreso tra 9 e 18 t sia di tipo gomma-gom-



Figura 20 - La misura delle temperature del drenante



Figura 21 - Un particolare della stesa con sbarra dello strato di binder

ma che ferro-ferro adatti alle necessità del cantiere. Si sono inoltre avvicendati sul cantiere vari mezzi d'opera a seconda dei bisogni quali botti per emulsione e botti per lo spargimento del bitume e del filler, nonché i mezzi per il trasporto continuo e in quantità sufficiente del conglomerato bituminoso dal polo di approvvigionamento che è situato sul punto estremo a inizio lotto, cosa che ha permesso un rapido approvvigionamento del materiale con evidenti vantaggi in termini di lavorabilità e rispetto delle temperature di stesa previste dal Capitolato. Ad ultimazione dei lavori, eseguiti in tempi molto ristretti e in condizioni particolari, resta la soddisfazione di avere contribuito per una parte altamente specializzata, alla realizzazione di un'opera così complessa e importante per la viabilità della Lombardia e del Paese tutto.

Le barriere Tubosider SpA

In sintesi i numeri della commessa:

- ◆ 3.200.000 kg di acciaio pari a oltre 80.000 m di barriere stradali di protezione necessarie per la tratta principale e per la viabilità secondaria;
- ◆ sette tipologie diverse di barriere per soddisfare le varie esigenze di sicurezza;
- ◆ 150.000 kg di acciaio pari circa 4.000 m di reti antilancio;
- ◆ cinque squadre di installatori pari a 30 operai al giorno;
- ◆ quattro mesi e mezzo di lavoro per una produzione media di circa 800 m al giorno.



Figura 22 - Le barriere di protezione Tubosider

I lavori di verniciatura di Seven Service Srl

I lavori di verniciatura delle gallerie poste sulla S.S. 336 dir. sono stati seguiti da Sevenservice Srl, Subappaltatore; sono iniziati il 10 Marzo 2008 e terminati il 28 Marzo.

Il ciclo epossiacrilico con bande rosse - come previsto dalla Circolare ANAS del Novembre 2006 - ha comportato una stesa di 76.000 m². L'esecuzione è avvenuta a mezzo rotolavaggio a pressione dei piedritti; la verniciatura è stata effettuata completamente in automatico sia per il colore bianco sia per le bande rosse. Per ultimare in tempo per l'inaugurazione sono state coinvolte tre squadre di operai con l'impiego di circa 1.500.000 attrezzature speciali. ■

* *Ingegnere Direttore Tecnico della Adanti SpA*

** *Ingegnere Responsabile Qualità e Sicurezza della Adanti SpA*

*** *Ingegnere Responsabile Tecnico della C.I.C. SpA*

**** *Geometra Supervisore Cantieri della BIT SpA*

***** *Geometra Responsabile Tecnico della Locatelli SpA*

***** *Ufficio Stampa Hünnebeck*

Ringraziamenti

Un importate contributo alla realizzazione di tali opere è stato dato dall'Impresa Fercarbo Srl di Chiari (BS) specializzata nella fornitura e nella posa di acciaio per c.a. e nella movimentazione di casseforme speciali per l'esecuzione di manufatti gettati in opera.

Si ringrazia in particolare, per l'alta professionalità dimostrata nell'organizzazione - che ha consentito il rispetto delle tempistiche assegnate -, l'Impresa Busi di Bologna che ha eseguito in subappalto le opere impiantistiche. Si ringraziano inoltre l'Impresa Edile commerciale per la realizzazione dei calcestruzzi, l'Impresa Cogeti per gli asfalti sulla viabilità secondaria, la Cooperativa Aristeia per le opere di segnaletica verticale e orizzontale, l'Impresa Rindone per le opere speciali di fondazione, le Imprese Cipriani e Morello per i movimenti terra, l'Impresa Tiemme per le opere in verde, l'Impresa Covisa per le impermeabilizzazioni.

La Redazione desidera rivolgere uno speciale riconoscimento a tutti gli Autori e a coloro che hanno così attivamente supportato e contribuito alla realizzazione di questa importante relazione.