



Veloce scorre

Quello di San Rocco al Porto è l'unico ponte strallato al mondo concepito per una linea ferroviaria ad alta capacità.

In costruzione sul fiume Po con impalcati in cemento armato

di Giuseppe La Franca

Quasi vent'anni fa, era il 1986, prendeva corpo il primo programma nazionale per l'alta velocità (oggi alta capacità) ferroviaria, il più colossale complesso di lavori mai intrapreso su tutto il territorio italiano. Obiettivo delle linee veloci, attestate su nodi urbani di nuova concezione, permettere la trasformazione della rete ferroviaria in un sistema moderno in grado di consentire la circolazione di un numero quasi doppio di convogli rispetto all'attuale, trasportando parte dei passeggeri e delle merci su distanze medio-lunghe a velocità prossime ai 300 km/h.

Con la costituzione, nel 1991, della società Tav quale committente, il programma fu esteso ad

altre linee di interesse nazionale e di interconnessioni con i Paesi transalpini, mentre la progettazione esecutiva e la realizzazione delle opere fu affidata ai vari general contractor. La tratta Milano-Bologna, ad esempio, fu assegnata al Consorzio Cepav Uno, capeggiato da Eni, che a sua volta affidò gli appalti alle imprese consorziate Snam Progetti, Consorzio Cooperative Costruzioni, Grandi Lavori Fincosit, Impresa Pizzarotti & C., Saipem. Contemporaneamente, nello studio del professore Mario Paolo Petrangeli, iniziava la progettazione dell'opera più importante della linea: il ponte sul Po in località San Rocco al Porto (LO).

Il sistema di opere per l'attraversamento del fiume è costituito, fra i due argini maestri, da tre diverse strutture. La prima, posta in corrispondenza degli argini, è costituita da due viadotti su

più campate a travata continua, con sezione a cassone tricellulare in calcestruzzo armato pre-compresso. La seconda, sul lato piacentino e sopra la golena, è un viadotto realizzato con 48 travi prefabbricate e solidarizzate in opera a gruppi di quattro, per complessive dodici campate ad appoggio semplice. La terza, cioè il ponte sull'alveo ordinario del fiume, è composta da un impalcato tricellulare continuo in calcestruzzo armato, appoggiato sulle pile di riva e sostenuto da 72 stralli, a loro volta agganciati a due antenne con appoggio fisso su una torre e scorrevole sull'altra, per tre campate con luce esterna di 104 m e interna di 192.

Il progetto

Il processo progettuale ha dovuto confrontarsi con una serie di vincoli quali: il contenimento dell'impatto ambientale e paesaggistico, con la richiesta dell'Arni (l'autorità regionale competente) di luci libere di almeno 70 m e del ministero dell'Ambiente di non prevedere una sola pila centrale; la navigabilità del fiume che, in previsione del potenziamento del sistema idroviario padano, ha determinato un franco di 6,8 m sopra il livello massimo di navigabilità; il grado di sismicità della zona; l'erosione del fondo dell'alveo in caso di piena e il conseguente pericolo di scalzamento da parte della corrente fluviale.



La tipologia del ponte strallato si è dimostrata la più adatta a soddisfare vincoli e requisiti progettuali, fra i quali quello estetico. Ponti per treni ad alta velocità, anche con luci superiori, sono già stati realizzati con tecnologie differenti e in situazioni nelle quali l'altezza dell'impalcato non rappresentava un problema. In questo caso, però, il contenimento della quota del piano del ferro rispetto a quella del territorio circostante e dei costi per realizzare viadotti e rilevati di approccio, rappresentava un ulteriore motivo a favore di questa scelta. Si tratta di strutture più adatte al traffico veicolare o di treni normali perché molto sottili ed ela-

stiche a causa del comportamento degli stralli, assimilabile a quello di una molla.

Il ponte è stato progettato prevedendo una serie di accorgimenti tecnici - getto monolitico per i conci dell'impalcato e sovradimensionamento degli stralli - in modo da ottenere una struttura molto più rigida rispetto al normale, anche per evitare deformazioni dei binari incompatibili con le elevate caratteristiche di sicurezza di una linea di alta capacità. La scelta della forma delle antenne, due eleganti lire attraversate dalla linea ferrata, è stata dettata da considerazioni estetiche e pratiche: la necessità di mantenere gli stralli nel piano verticale avrebbe

il fiume

In apertura e sopra, fasi di realizzazione delle pile di sostegno del ponte e delle strutture dell'impalcato. In primo piano la struttura di varo.

Sotto, rendering del nuovo ponte ferroviario.



I vincoli ambientali

Per ridurre al minimo il consumo di territorio agricolo e l'impatto sull'ambiente delle nuove infrastrutture, il tracciato della Milano-Bologna affianca per quanto possibile l'autostrada del Sole, distaccandosene solo in presenza di vincoli geomorfologici come l'alveo del Po, di altre infrastrutture non modificabili e di situazioni particolarmente complesse dal punto di vista insediativo (ad esempio in provincia di Modena). L'intersezione della linea ferrata con il fiume si trova al confine fra le Province di Lodi e Piacenza, a circa 1,5 km a valle dal ponte della A1. In quel punto l'alveo di magra è largo circa 300 m e presenta zone golenali particolarmente ampie, estese per più di 1 km fra i due argini. La linea, che attraversa il corso del fiume dal km 43+973 con un angolo di circa 22 gradi rispetto alla normale alla corrente, per scavalcare argini maestri e golene ha imposto una lunghezza complessiva dei viadotti di 1.342 m, dei quali circa 400 per il solo ponte.



Nelle foto, il sistema di realizzazione dei conci dell'impalcato in cemento armato, attraverso l'utilizzo di speciali casseforme che ne consentono la produzione progressiva in diverse fasi.

te della corrente fluviale sotto lo strato tampone che sostiene le pile: il limite di sottoscavo previsto dal progetto prevede un massimo di 16 m al di sotto dello strato tampone impostato sui pali di sottofondazione. Per determinare l'entità della barriera protettiva in blocchi di pietra con rete metallica che, per eliminare qualsiasi rischio, saranno sistemati attorno alle strutture sommerse, nel laboratorio del Centro sperimentale per modelli idraulici di Voltabarozzo (PD) del Magistrato delle Acque sono state condotte delle simulazioni su un modello idraulico in scala 1:20, che hanno confermato la forma dell'erosione prevista indicando un'entità dello scalzamento inferiore rispetto a quella ipotizzata. È prevista anche l'installazione di un doppio sistema di monitoraggio, con ecosonda e anelli magnetici, per rilevare eventuali situazioni di pericolo e allertare il sistema di controllo del traffico ferroviario. Le strutture di supporto delle antenne, ruotate rispetto alle fondazioni per allinearsi alla direttrice dei binari, sono costituite da un blocco unico precompresso con 400 barre d'acciaio, in corso di tesatura. Le antenne si elevano di quasi 52 m rispetto al piano del ferro. Nel loro tratto terminale, al quale saranno ancorati gli stralli, la normale struttura in calcestruzzo armato è rinforzata da una scatola interna in acciaio, più adatta a sopportare la componente orizzontale degli sforzi trasmessi dagli stralli rispetto alla classica armatura. Il ponte è in grado di assicurare la continuità del servizio anche in caso di grave incidente, grazie all'elevata rigidità fornita sia dal cassone che sostiene il piano del ferro, sia dal sovradimensionamento dei 72 stralli che, in condizioni normali, lavorano con tensioni molto basse.



be comportato la divaricazione delle antenne alla base, per non interferire con l'impalcato, con il conseguente allargamento delle pile e maggiore ostacolo alla navigazione fluviale. La soluzione adottata, invece, prevede la rastremazione sotto l'impalcato delle antenne, che si appoggiano strutturalmente, con due esili "zampe" di calcestruzzo armato precompresso, sulla superficie superiore delle pile.

Le caratteristiche

Le fondazioni, dalla caratteristica forma oblunga orientata nella stessa direzione della corrente fluviale, poggiano su 28 pali di 2 m di diametro, tutti monitorati, profondi 65 m e sormontati da un tampone di fondo alto 4 m. Dal punto di vista strutturale, il principale problema da risolvere consisteva nello scalzamento delle antenne, per effetto del sottoscavo del letto da par-

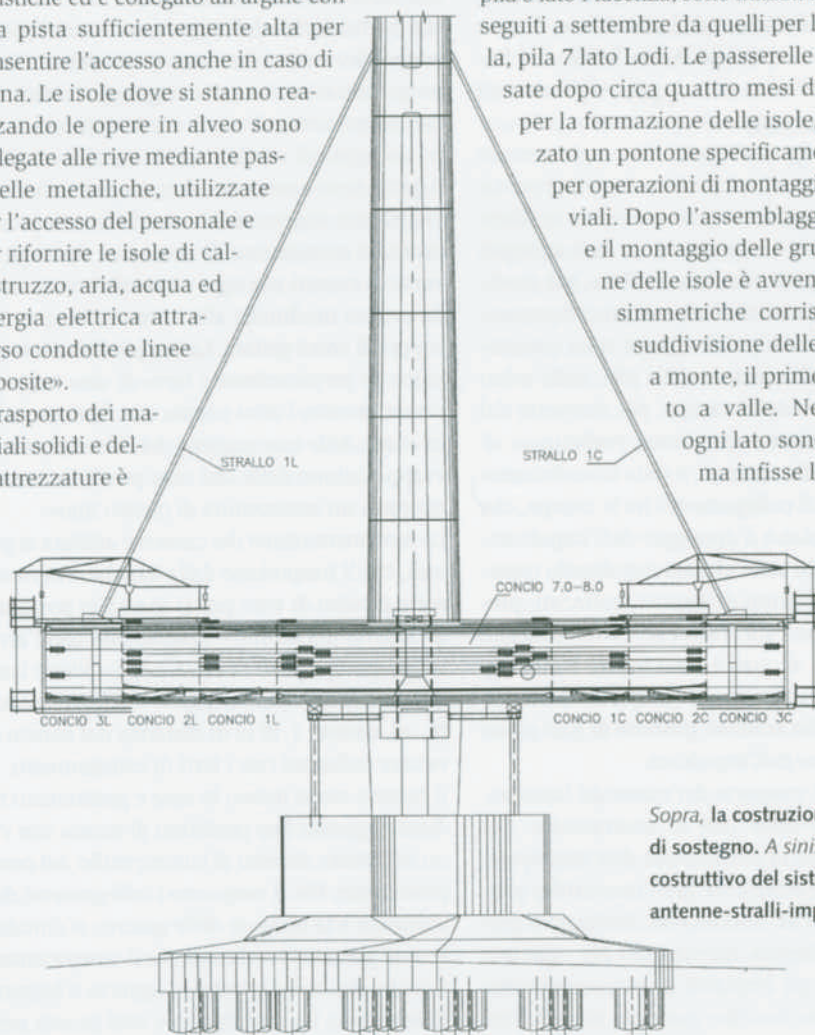
Il cantiere

La complessa macchina edilizia messa in moto per realizzare il ponte di San Rocco al Porto è frutto delle capacità della consortile Asg, composta da Snam Progetti e Grandi Lavori Finco-sit: la conclusione dei lavori (prevista a fine anno) sarà seguita dall'installazione dell'armamento ferroviario. Poiché la realizzazione dei diversi lotti della Milano-Bologna segue una tem-pistica differenziata, l'entrata in funzione della linea avverrà solo nel 2007. Daniel Tisminetzky, direttore tecnico di cantiere di Asg, spiega: «Il cantiere del ponte è solo uno dei lotti che compongono la tratta, lungo la quale sono insediati dei cantieri base che servono di appoggio a più di un lotto. Il cantiere 9, situato vicino all'abitato di San Rocco al Porto, ospita uffici, aree di stoccaggio, acquartieramenti per le maestranze, officine e impianti, la preparazione delle opere in acciaio e del calcestruzzo sia per il lotto 1.3 – il ponte sul Po – sia per il lotto 1.2 della vicina interconnessione di Piacenza Ovest. Vicino al ponte – prosegue Tisminetzky – abbiamo installato il cantiere 10, sul lato lodigiano, e il cantiere 11, sulla sponda piacentina, utilizzati come area di stoccaggio e per gli uffici di appoggio locale. Quest'ultimo è attrezzato con molo e aree logistiche ed è collegato all'argine con una pista sufficientemente alta per consentire l'accesso anche in caso di piena. Le isole dove si stanno realizzando le opere in alveo sono collegate alle rive mediante passerelle metalliche, utilizzate per l'accesso del personale e per rifornire le isole di calcestruzzo, aria, acqua ed energia elettrica attraverso condotte e linee apposite».

Il trasporto dei materiali solidi e delle attrezzature è affidato a pontoni, chiatte molto larghe e con poco pescaggio, adatte alla navigazione fluviale per il trasporto di carichi ingombranti. I lavori per la realizzazione della prima isola, che sostiene la pila 8 lato Piacenza, sono iniziati nel luglio 2002, seguiti a settembre da quelli per la seconda isola, pila 7 lato Lodi. Le passerelle sono state posate dopo circa quattro mesi durante i quali, per la formazione delle isole, è stato utilizzato un pontone specificamente attrezzato per operazioni di montaggio in acque fluviali. Dopo l'assemblaggio dei pontoni e il montaggio delle gru, la costruzione delle isole è avvenuta in due fasi simmetriche corrispondenti alla suddivisione delle opere fra lato a monte, il primo iniziato, e lato a valle. Nell'ordine, per ogni lato sono state dapprima infisse le camicie, con



costruzione dei piani di lavoro e taglio in quota delle stesse, poi sono state montate le mensole di contrasto per le palancole e posati i capitelli, saldando poi i contrasti e iniziando l'infissione delle palancole. Mentre partiva la realizzazione del lato a valle, sono stati montati i collegamenti con i capitelli e posata della struttura metallica funzionale al posizionamento e alla rimozione delle lastre in cemento armato, per la realizzazione dei pali e l'installazione delle passerelle. In ultimo, sono state sistemate le macchine per la trivellazione e per l'esecuzione di gettate e armature, collegate attraverso la passerella da tubature per i fanghi bentonitici e le miscele ce-»



Sopra, la costruzione delle antenne di sostegno. A sinistra, particolare costruttivo del sistema antenne-stralli-impalcato.



Sopra e nella pagina a fianco, vedute e particolari del completamento delle antenne di sostegno e dell'impalcato in cemento armato del nuovo ponte.

mentizie. Alla trivellazione dei pali di sostegno ha fatto seguito la realizzazione del tampone di fondo: smontaggio per parti del piano di lavoro, scavo, pulizia (anche con l'impiego di sommozatori) e getto subacqueo di prima fase, il tutto in presenza di acqua allo stesso livello del fiume. Poi l'isola è stata prosciugata, sigillando gli interstizi fra le camicie dei pali e delle palancole, ed è stato eseguito il getto di completamento di magrone. Sopra i tamponi sono stati impostati i plinti e le soprastanti pile, realizzate in diverse fasi: nei primi 4 m gettati sono stati annegati i tirafondi ai quali ancorare le dime, già predisposte con le armature lente e di precompressione delle zampe dei pulvini; poi è stata completata la posa dell'armatura della pila, della soletta di chiusura e delle zampe, poi ricoperte dal getto finale. L'ultima operazione, preliminare all'elevazione delle antenne, è stata la realizzazione della trave di collegamento fra le zampe, che costituisce il piano d'appoggio dell'impalcato. Le antenne sono state elevate installando casseri rampanti sui primi due conci realizzati, procedendo poi con i successivi sei conci, collegati da un traverso, ai quali è stato fissato l'ancoraggio intermedio della gru. Il completamento della sommità delle antenne procede di pari passo con il progredire dell'impalcato.

Le modalità di trasporto dei materiali fluidi varia a seconda delle fasi di lavorazione. Per quanto riguarda la costruzione dell'impalcato, la necessità di effettuare getti monolitici simmetrici rispetto all'antenna ha obbligato a predisporre una doppia attrezzatura per ogni isola. Sulle rive, gli impianti di betonaggio dispongono di due bocche; per ogni isola il flus-

so di calcestruzzo è assicurato da tre pompe – due per ogni lato dell'impalcato più quella di scorta – che inviano il conglomerato attraverso due tubazioni da 200 m più una terza di scorta, per garantire la continuità della gettata in caso di interruzione del flusso.

Le casseforme speciali

Per la realizzazione dell'impalcato del ponte, Asg ha affidato lo studio e la realizzazione della soluzione costruttiva a un'azienda specializzata nel settore delle casseforme speciali. La soluzione adottata consiste in due carri di varo per ogni testapila – che procedono l'uno verso il centro dell'alveo, l'altro verso la sponda – e sorreggono le casseforme necessarie al getto monolitico dei conci. Il principio statico utilizzato è basato sullo sfruttamento della maturazione del concio gettato in precedenza, per ancorarsi con i casseri per il nuovo getto e trasmettere gli sforzi dello sbalzo attraverso i carri di varo, che li riversano sul concio precedente, già giunto a maturazione. Ogni cassaforma è costituita da un set di casseri dotati di paratie azionate da martinetti idraulici e attrezzate con un sistema di vibrazione pneumatico, differenziati per il getto senza strallo – aperti, senza soluzione di continuità fra le due facce esterne – o con strallo.

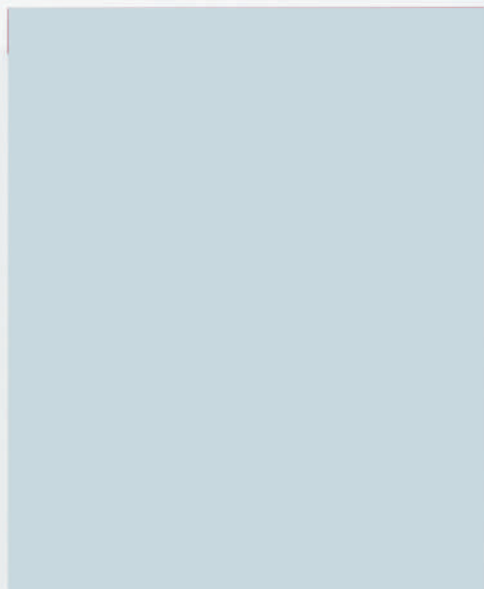
«Le particolarità dell'impalcato – continua Tisminezky – sono due, una geometrica e l'altra programmatica. La prima riguarda i conci, che hanno geometrie diverse: ai conci dispari saranno collegati gli stralli, mentre i pari sono liberi. Il getto deve essere simultaneo, per mantenere l'equilibrio rispetto al pilone, e le casseforme approntate consentono di avere due tipologie diverse di casseri per ogni carro di varo, in modo da evitare modifiche alle attrezzature per ogni coppia di conci gettata. La doppia dotazione permette la preparazione a terra di una coppia di casseri mentre l'altra coppia è in fase operativa, in attesa della maturazione del calcestruzzo. Sovrapposizione delle fasi resa possibile senza il ricorso a un'attrezzatura di questo tipo».

La movimentazione dei casseri è affidata ai pontoni, che li trasportano dalla banchina di riva fin sotto il carro di varo per la messa in posizione. Il cassero, già pronto e predisposto con l'armatura – per un peso di circa 120 t – viene issato dal pontone mediante argani sistemati sui rombi, ad almeno 1,10 m di distanza dal concio per evitare collisioni con i ferri di collegamento. Poi il cassero viene messo in asse e posizionato mediante appositi flap posteriori di sutura che vanno in battuta rispetto al controprofilo del concio precedente. Poi si eseguono i collegamenti delle armature e la tesature delle guaine, si chiudono le ante posteriori e si controlla il tamponamento frontale dei casseri, infine si sgancia il bilancino di sostegno. La cassaforma è così pronta per la

gettata, eseguita dal braccio articolato che raggiunge tutte le posizioni idonee al miglior riempimento dell'invaso. I conci previsti per la campata centrale sono 41 sugli 85 che, complessivamente, copriranno l'intera luce del ponte: sono stati realizzati 8 casseri, 4 per tipo, in modo da procedere parallelamente su entrambi i piloni.

Il getto a sbalzo bilanciato

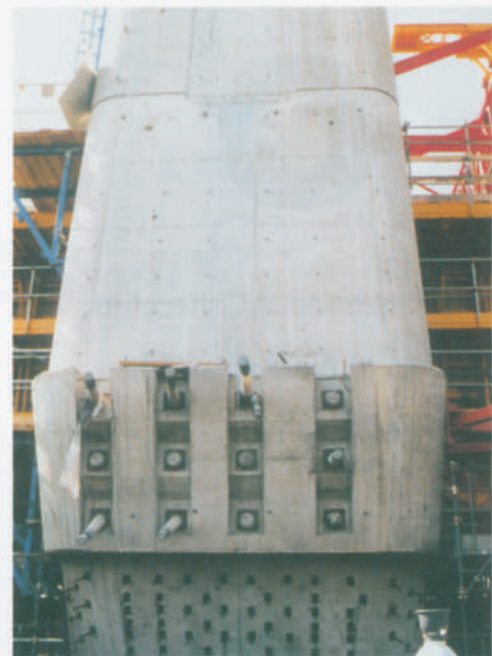
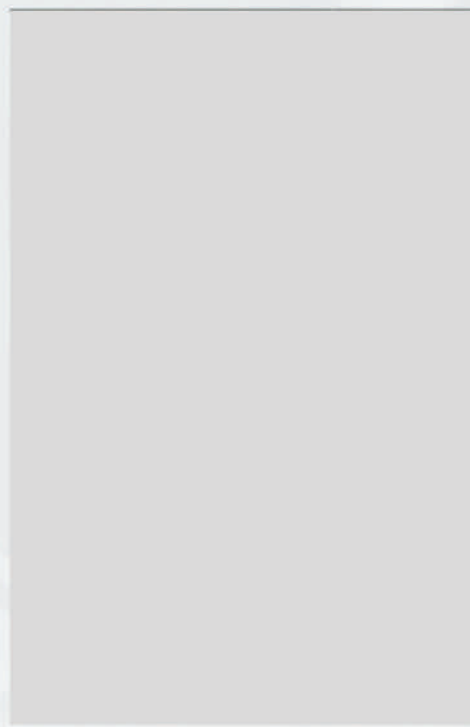
Le attrezzature partono in simmetria realizzando conci da 4,50 m: i primi due conci non prevedono strallo e il cassero resta imbragato in posizione per tre giorni al massimo; poi iniziano il disarmo e lo spostamento verso l'esterno mediante il carrò di varo. Quando il cassero è uscito completamente, lo si cala verso il pontone sottostante che lo porterà alla banchina per prepararlo al suo ciclo successivo. Nel frattempo si procede con un nuovo ciclo di lavorazione. Ogni ciclo dura una settimana. Una volta spostato il carro rispetto al concio dispari, si collegano gli stralli e si effettua una prima tesatura. La seconda viene eseguita dopo il getto del seguente concio dispari. Due squadre di lavoro si alternano al montaggio e smontaggio dei casseri e si occupano anche delle normali operazioni di manutenzione: applicazione del disarmante, controllo dimensionale e posa dell'armatura. Per i casseri dei conci dispari è necessario eseguire anche un'ulteriore operazione preparatoria, che consiste nell'approntare i cosiddetti tubi-forma: si tratta di tubi metallici, uno per ogni ringrosso, che accoglieranno i trefoli e che devono già presentarsi, durante la gettata, con la precisa inclinazione prevista per ogni singolo strallo. Questi casseri sono stati progettati per evitare che le deformazioni causate dalla loro movimentazione possano essere trasmesse ai cannoni. Il monitoraggio continuo dell'impalcato e delle antenne viene effettuato attraverso termocoppie e inclinometri annegati nella gettata, che rilevano le variazioni delle temperatura e dell'inclina-



zione delle strutture, trasmettono a un rilevatore portatile i parametri del costruito che serviranno per riprogrammare le operazioni di getto successive. Per le gettate viene utilizzato un calcestruzzo molto fluido (slump S5) con resistenza di 55 MPa, che raggiunge i 35 MPa a 24 h dalla gettata per consentire la tesatura delle barre esterne di precompressione provvisoria.

Gli stralli

Il ponte è stato progettato per sopportare una velocità massima dei treni superiore di 50 km/h rispetto a quella di esercizio - prevista in 250 km/h - e potrà rimanere in servizio anche in caso di troncamento di un massimo di tre stralli. Una volta completato l'impalcato, ai vincoli d'appoggio posti sulle pile sarà applicata una distorsione, funzionale alle operazioni di riequilibrio di tutti gli stralli. Questi sono costituiti da trefoli paralleli da 0,6 pollici in acciaio zincato e filato a caldo, viplati e ingrassati singolarmente; raggruppati in numero variabile da 55 a 91 a secon-



da delle prestazioni richieste, sono inguainati con fogli di polietilene ad alta densità (Hdp) senza carica al carbonio sullo strato esterno, per mantenere un colorito chiaro ed essere meno suscettibile a dilatazioni termiche.

Gli stralli vengono preparati a terra, nel cantiere base: si srotolano i trefoli per tagliarli a misura e preparare le testate, poi li si riarrotola per trasportarli sull'impalcato. L'assemblaggio in opera prevede la saldatura delle guaine attorno ai trefoli sull'impalcato, poi il sollevamento mediante gru e il fissaggio della cima sull'antenna di montaggio, che già dispone di una propria impalcatura. La consegna delle strutture è prevista per l'estate 2006. Seguirà la tesatura definitiva degli stralli, che porterà l'intera struttura alla geometria definitiva orizzontale.