



GALLERIE

MODI DI PROGETTAZIONE, TECNICHE COSTRUTTIVE, RELAZIONI COL TERRITORIO - IERI E OGGI

Il giorno 17 maggio u.s. nella Sala Convegni della Cassa di Risparmio di Verona, si è tenuto il Convegno "Gallerie - Modi di progettazione, tecniche costruttive, relazioni col territorio - ieri e oggi" indetto dal Collegio degli Ingegneri e degli Architetti di Verona, con l'intervento di ben dieci relatori che, per l'intera giornata, hanno intrattenuto ed affascinato i colleghi con una serie di interventi particolarmente interessanti per la molteplicità, l'ampiezza e la profondità degli argomenti trattati, sia dal punto di vista storico-culturale che da quello tecnico-professionale. In considerazione dell'interesse suscitato e venendo incontro al desiderio manifestato da molti degli intervenuti, l'Ordine degli Ingegneri ha ritenuto di associarsi al Collegio suddetto nel proposito di conservarne memoria anche per gli altri colleghi che non hanno potuto intervenire, dedicando un numero monografico del "Notiziario" alla pubblicazione degli atti del Convegno. Per comodità dei lettori riportiamo qui sotto l'elenco degli interventi con un accenno agli argomenti affrontati.

Introduzione al Convegno del Presidente del Collegio degli Ingegneri e degli Architetti **4**
Renzo Macaccaro

Nota di commento della "curatrice" del Convegno **4**
Laura Facchinelli

Laura Facchinelli **5**
130 anni dal traforo ferroviario del Moncenisio: una storia di grandi imprese

Viene ripercorsa con dovizia di particolari e di illustrazioni la storia della costruzione dei grandi tunnel ferroviari transalpini nella seconda metà del 1800, per passare poi a quella delle gallerie attraverso gli Appennini, ai trafori autostradali e chiudendo con un raffronto fra le gallerie ferroviarie dell'epoca e quelle attuali sulla linea del Brennero.

Marco Pasetto **14**
Manualità e macchine nei grandi trafori dall'Ottocento ad oggi

Una dettagliata rassegna delle attrezzature utilizzate per lo scavo delle gallerie, da quelle manuali ai primi tentativi di meccanizzazione, alle complesse perforatrici a percussione e rotazione. Tecniche di scavo e rendimenti del lavoro con dati su alcune realizzazioni.

Giovanni M. P. De Santis **25**
Le gallerie nella prospettiva geografica

Vengono analizzati i riflessi positivi e negativi sul territorio e sulle popolazioni derivanti dalla costruzione delle gallerie in quanto superamento delle barriere orografiche. Le conseguenze sono tali da modificare profondamente non solo l'ambiente fisico ma anche l'economia, la demografia, i rapporti sociali, la vivibilità delle aree attraversate.

Roberto Sordina **29**
Il tunnel nella costruzione del paesaggio urbano e territoriale

Si richiama l'attenzione sul fattore estetico, mettendo in evidenza come gli stravolgimenti al paesaggio possono essere attenuati ricorrendo ad artifici architettonici anche semplici. Con le gallerie urbane si possono risolvere i problemi del traffico consentendo, nel contempo, la creazione in superficie di aree verdi o riservate. Vengono riportati alcuni esempi.

Federico Pasquali **34**
La scelta del percorso in galleria come contenimento all'impatto ambientale

Il tema proposto viene svolto descrivendo il tracciato, in gran parte in galleria, studiato per la nuova linea ferroviaria del Brennero, partendo dall'uscita dal tunnel di base presso Fortezza, fino a Verona. Il tema è di straordinario interesse per la nostra città, anche in relazione alla non facile connessione con le altre linee in corrispondenza del nodo di Verona.

Purtroppo le numerose planimetrie proiettate illustranti il tracciato non sono risultate riproducibili sulla presente pubblicazione.

Mario Bellesia **38**
Nuovi percorsi in galleria per fluidificare il traffico urbano: il progetto preliminare del collegamento viario a nord della città di Verona

Si tratta del progetto comunemente noto come "galleria delle Torricelle", del quale vengono forniti interessanti particolari, sicuramente utili per la formazione di un'opinione pubblica maggiormente informata su un'opera per la quale sussistono diversità di opinione sulla opportunità di una sua prossima realizzazione.

Carlo Comin **42**
Il progetto per il grande tunnel del Brennero

Vengono analizzati i dati relativi al traffico presente e futuro sulla direttrice del Brennero, mettendo in evidenza le motivazioni di carattere economico ed ambientale che rendono necessaria la costruzione di una nuova linea ferroviaria, della quale il tunnel di base costituisce l'opera preminente ed indilazionabile.

Giuseppe Agostinelli **47**
Lo scavo in ambiente urbano: la penetrazione delle linee Alta Velocità

La costruzione di una nuova infrastruttura attraverso un ambiente urbano comporta la soluzione di problemi di carattere ambientale prevalenti su quelli puramente tecnici. Vengono portati ad esempio gli interventi previsti per la penetrazione delle linee Alta Velocità nella città di Bologna.

La Variante di Valico: l'attraversamento autostradale degli Appennini

1ª Relazione - Mario Bergamo **56**
Descrizione dell'opera

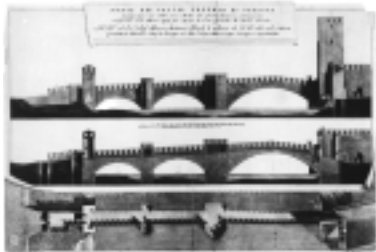
Il tratto Sasso Marconi-Barberino dell'autostrada Bologna-Firenze costituisce una vera e propria strozzatura che penalizza i collegamenti fra il nord e il sud Italia. Vengono descritte le diverse caratteristiche dei tre tratti di nuova autostrada costituenti la variante, due dei quali per buona parte in galleria, che consentiranno di eliminare detta criticità.

2ª Relazione - Orlando Mazza **59**
La realizzazione della galleria di base

Viene descritta l'opera preminente della Variante, costituita dal tratto in galleria della lunghezza di 8,6 km: le indagini esplorative eseguite per definire le caratteristiche del terreno da attraversare e le tecniche di scavo da adottare, con l'indicazione delle corrispondenti sezioni-tipo di galleria ed un accenno sul sistema di ventilazione.

NOTIZIARIO

ORDINE DEGLI INGEGNERI DI VERONA E PROVINCIA



2

2002

Luglio - Settembre
N° 76

Periodico Trimestrale

Aut. Tribunale Verona n. 565 del 7.3.1983

Direttore Responsabile
Maurizio Cossato

Vicedirettore
Giampaolo Garavaso

Comitato di Redazione
Antonio Capizzi
Adele Costantino
Francesco Favalli
Giulio Giavoni
Silvio Menichelli
Giovanni Montresor
Roberto Olivieri
Mario Pagan de Paganis
Andrea Panciera
Roberto Penazzi
Elena Pierotti
Pier Giorgio Puppini Martini
Claudio Sandri
Alvise Zanolini

Redazione
37121 Verona - Via Leoncino, 5
Tel. 045 8035959 -
Fax 045 8031634

Le opinioni dei singoli autori non impegnano la redazione.

Gli articoli possono essere modificati per esigenze di spazio con il massimo rispetto del pensiero dell'autore.

Le riproduzioni di articoli ed illustrazioni è permessa solo previa autorizzazione della redazione.

Stampa e pubblicità
Editoriale Polis / Negrar (VR)
Tel. 045 7500211 - Fax 045 6012315
e-mail: info@editorialepolis.it

GALLERIE.

Modi di progettazione, tecniche costruttive, relazioni col territorio: ieri e oggi.

Introduzione al Convegno del Presidente Collegio degli Ingegneri e Architetti della Provincia di Verona

È con grande piacere che porto il saluto mio personale e del Consiglio Direttivo a tutti i presenti. È la prima volta che organizziamo un convegno di una intera giornata. Conoscendo i problemi di tempo e di impegni dei nostri professionisti, sapevamo di correre il rischio di non avere molto seguito. Però l'importanza dell'argomento e l'approfondimento tecnico-culturale che vorremmo dare alla giornata ci hanno convinto sulla bontà della scelta effettuata.

Siamo convinti che l'argomento possa interessare sia gli ingegneri che gli architetti, così come i pubblici amministratori che, come a Verona, devono fare scelte fondamentali per lo sviluppo urbano.

Abbiamo diviso la giornata in due parti.

Questa mattina affronteremo l'argomento dal punto di vista storico-culturale e delle relazioni col paesaggio e il territorio, in funzione dell'impatto ambientale (tunnel del Brennero) e dei problemi di traffico urbano (caso Verona).

Nel pomeriggio parleremo, con taglio prettamente tecnico, delle opere di maggiore attualità: tunnel del Brennero, linee ad alta velocità con particolare riferimento allo scavo nella città di Bologna, la famosa variante di valico, sempre con attenzione costante ai sistemi di sicurezza, con riferimento anche all'esperienza del tunnel del Monte Bianco.

Abbiamo voluto inserire la specializzazione tecnica in un contesto ampio di taglio culturale.

Ringrazio gli illustri relatori che molto generosamente si sono resi disponibili. Ringrazio il Magnifico Rettore dell'Università di Verona prof. Mosele che ci ha concesso il patrocinio. Ringrazio il dr. Merlin, presidente della società Autostrada Brescia-Padova e della Provincia di Verona, che ha collaborato nell'organizzazione del convegno. Porto io il suo saluto in quanto è dovuto andare ad un importante impegno istituzionale: farà il possibile per intervenire più tardi.

Ringrazio infine gli sponsor - Autogerma, società Technital, società Autostrada Brescia-Padova, Immobiliare Centro Nord - che si sono fatti carico dei costi di organizzazione.

Cedo ora la parola alla dott.ssa Facchinelli, che è il vero motore del nostro sistema organizzativo, e che ringrazio di cuore per la grande disponibilità.

Vi auguro un proficuo lavoro e vi ringrazio di averci onorato della vostra presenza.

Renzo Macaccaro

NOTA DELLA CURATRICE

L'impostazione di questo convegno è un po' insolita. Generalmente quando si affrontano gli aspetti storici di un evento - in questo caso l'apertura di gallerie che, attraversando le montagne, consentono la costruzione di ferrovie o arterie stradali - non si pensa ai calcoli effettuati dall'ingegnere, né all'organizzazione del cantiere, alle macchine usate, ai materiali, ai sistemi di sicurezza. O meglio, mettendoci dal punto di vista degli ingegneri e architetti ai quali questo convegno era dedicato, possiamo dire che l'ordinario campo d'azione è quello tecnico, mentre può apparire estraneo il pensare in termini storici. Insomma le due sfere sembrano separate.

Eppure per le grandi opere dell'uomo - anche nel campo dell'ingegneria - è sempre interessante ripercorrere la sequenza storica degli interventi compiuti, l'evoluzione delle modalità progettuali, delle tecniche costruttive e così via.

Questo convegno ha proposto un'analisi attenta agli aspetti multidisciplinari. Un'analisi che - sempre parlando di gallerie - non poteva ignorare alcuni importanti progetti elaborati (e realizzati, all'estero) da progettisti capaci di conciliare l'estetica della nuova opera, l'equilibrio dell'inserimento paesaggistico, con le esigenze della società contemporanea in termini di infrastrutture per la mobilità, ma anche di benessere psicofisico delle persone. Siamo tutti consapevoli che proprio sul terreno del confronto fra campi diversi del sapere si gioca, oggi, la partita del progresso.

Laura Facchinelli

130 anni dal traforo ferroviario del Moncenisio: una storia di grandi imprese

Laura Facchinelli

Lo scopo di questa relazione è quello di delineare – in sintesi estrema, dati i limiti di tempo – la storia dei grandi trafori, ferroviari e stradali: mi riferisco alle grandi imprese che, a partire da metà '800, hanno consentito di attraversare le montagne per creare nuove vie di comunicazione. Credo che un approfondimento sotto il profilo storico sia utile per meglio inquadrare gli aspetti tecnici, che costituiscono il fulcro di questo convegno. Mi limiterò alle vicende della costruzione delle varie opere, lasciando al relatore seguente la vera e propria storia della tecnica.

Moncenisio: il primo traforo ferroviario transalpino

Il primo grande traforo realizzato nella catena alpina è stato quello del Moncenisio (Fréjus). L'idea di un passaggio ferroviario risale al 1845, ma fu solo dopo aver realizzato il collegamento strategico (ultimato nel 1853) fra la capitale, Torino, e il porto di Genova che il Piemonte affrontò concretamente anche il problema del superamento delle Alpi. La linea doveva attraversare la Savoia per poi spingersi in direzione di Ginevra, Lione e Parigi. Da notare che un primo attraversamento ferroviario delle Alpi, con ferrovia di superficie, era stato realizzato con il Semmering (1854), che costituiva il segmento più impegnativo della ferrovia Vienna-Trieste. Il secondo superamento con linea di valico fu quello del Brennero, ultimato nel 1867. Seguì, nel 1868, la linea Kronprinz Rudolf, in territorio austriaco.

Giuseppe Francesco Medail fu il primo tecnico a dedicarsi alla progettazione del traforo del Moncenisio, un'impresa che si prospettava del tutto nuova e immane (dato che, con i mezzi di allora, si poteva pensare di procedere di un solo metro al giorno). Un progetto venne elaborato dal belga Henri-Joseph Maus, capostipite di una nutrita schiera di tecnici che, direttamente o indirettamente, contribuirono al progetto finale.

L'impresa venne approvata nel 1857. I lavori erano da poco iniziati che la Savoia venne ceduta alla Francia, pertanto la futura galleria era elevata al rango di transito internazionale, e an-



Prima dell'attivazione della ferrovia, le diligenze venivano trasformate in slitte per valicare il Moncenisio durante la stagione invernale.



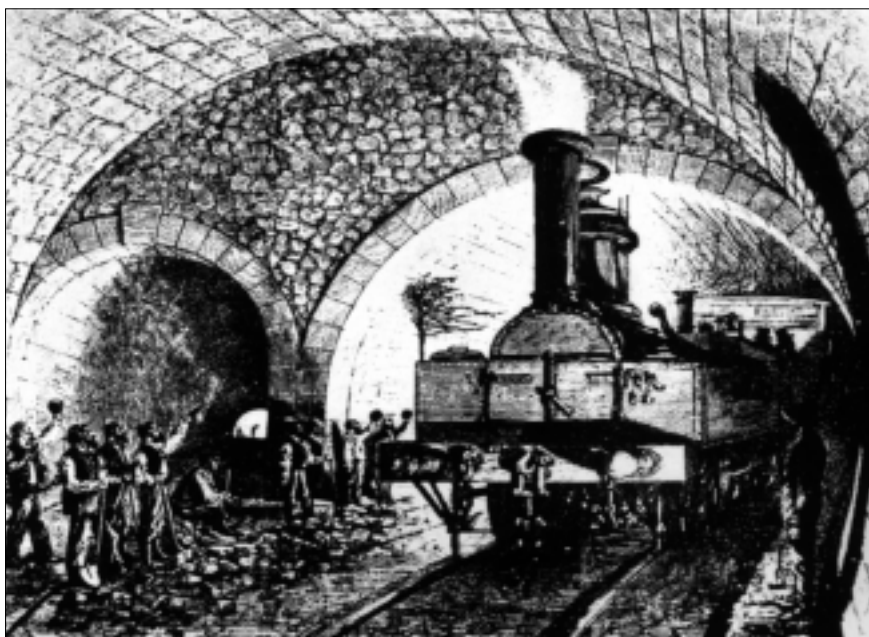
L'ingresso della galleria del Moncenisio sul versante francese.

che la vicina nazione entrava a far parte dell'impresa. Nella fase di avvio si provvide a tracciare la galleria, a costruire le strade di servizio per l'accesso agli imbocchi, a creare la derivazione dell'acqua necessaria per la produzione dell'aria compressa, a costruire gli alloggi occorrenti per gli operai, le polveriere, i compressori, le officine, i magazzini. E si diede inizio al traforo.

Un punto importante era la costruzione delle macchine occorrenti per lo scavo della montagna. Avviati con i metodi tradizionali, i lavori di scavo proseguirono con l'impiego di motori idraulici e

perforatrici ad aria compressa ideate e perfezionate da Sommeiller, Piatti, Grattoni e Grandis. Dopo lunghi esperimenti venne, infatti, messo a punto un compressore idraulico che risolveva due problemi in uno: coi suoi 320 colpi al minuto consentiva un lavoro veloce, ma garantiva anche la ventilazione necessaria ad un lavoro in sicurezza.

Nell'uno e nell'altro versante i binari si avvicinavano alla catena montuosa (con la Torino-Bussoleno-Susa, aperta nel 1854, e con il tracciato da Aix-le Bains a Sant-Michel-de Maurienne,



La prima locomotiva entra nella galleria del Moncenisio

che sarà ultimato nel 1862). Intanto in Parlamento si dava battaglia per far approvare quell'impresa. Notevole fu l'impegno di Cavour, il quale così scriveva: "finché il Moncenisio non è perforato, finché la locomotiva non corre senza interruzione da Torino alla frontiera, i vantaggi che debbono provenire dalla strada ferrata sono monchi e incompleti sia rispetto alla sicurezza delle comunicazioni sia rispetto alla economia della spesa e del tempo". Solo col completamento dell'opera, quando fosse finalmente possibile spedire merci da Genova, o da Torino, a Lione e Ginevra, solo allora il traffico interno e quello estero sarebbero aumentati sensibilmente.

Nel 1868 venne aperta al traffico la ferrovia Fell, con una terza rotaia "di frizione", che cesserà di esistere con l'apertura del traforo.

La galleria, lunga 12.819 metri, venne inaugurata il 17 settembre 1871.

Pochissimi incidenti si erano verificati durante i lavori; un anno terribile fu il 1865, quando esplose una polveriera e si verificarono, fra gli operai, alcuni casi di peste. Il costo complessivo superò di poco i 70 milioni di lire. L'ultimo atto fu il rivestimento della volta, che fu fatto in muratura di blocchi di granito cementati, sostenuti da pilastri di base distanti m. 7.60 da una sponda all'altra. Quindi vennero completate le due gallerie di raccordo in curva, sul versante nord e sul versante sud. In appena 40 chilometri il tracciato saliva dai 440 metri di Bussoleno alla quota 1.259 di Bardonecchia, ai 1.295 del confine italo-francese in galleria. Perciò la principale

preoccupazione, nell'esercizio, fu la scelta delle locomotive, che dovevano essere usate in doppia trazione.

Un serio problema era costituito dal fumo, che comportava la necessità di aerazione e ventilazione del traforo; la conformazione stessa del tunnel, che presentava una discesa alle due estremità, causava la permanenza di una densa nube di fumo nella parte centrale, tanto che il personale viaggiante e quello addetto alla manutenzione venivano colti, a volte, da un principio di asfissia. Nei primi anni del '900 si rimediò parzialmente all'inconveniente

adottando uno speciale ventilatore, ma la soluzione definitiva verrà con l'adozione della trazione elettrica.

Con l'apertura all'esercizio della linea Bussoleno-Modane gli orari delle ferrovie italiane vennero sensibilmente modificati. Immediatamente venne istituito un collegamento diretto tra Parigi e Roma attraverso il Fréjus. Con la quasi contemporanea apertura del canale di Suez (1869), anche la *Valigia delle Indie*, che collegava le Indie inglesi con la capitale dell'impero britannico, poteva finalmente istradarsi lungo l'itinerario più breve e naturale: Calais-Modane-Brindisi per la via ferroviaria e Brindisi-Suez-Bombay per via marittima, passando dagli iniziali 100 giorni ai 20 del nuovo servizio. Così il traforo del Fréjus, concepito per mettere in diretta comunicazione due province di un medesimo stato, finì per avvicinare l'Occidente al lontanissimo Oriente.

Gli altri trafori nelle Alpi: Gottardo e Sempione

Al traforo del Moncenisio seguì, come attraversamento delle Alpi, la linea Pontebbana del 1879 (ricordiamo che un collegamento fra il Veneto e la capitale dell'impero d'Austria, via Udine-Gorizia-Trieste, era stato già attivato nel 1860). Sul versante occidentale, sulla scia del successo italo-piemontese del Moncenisio, nel 1872 vennero iniziati i lavori per la nuova linea del San Gottardo (da Airolo a Göschenen). Già nel 1845 era stato sottoscritto, fra i Cantoni San Gallo, Grigioni e Ticino,

I lavori per il traforo del Sempione sul versante svizzero (1898)





Manifesto del 1906, col tracciato della nuova linea del Sempione e l'orario dei treni.



Un manifesto celebrativo del traforo del Sempione.

un trattato per la costruzione di una ferrovia fra il lago di Costanza e il lago Maggiore, considerati poli di attrazione dei commerci. Si decise di realizzare un traforo in corrispondenza del Gottardo, e in una conferenza del 1869, Italia, Svizzera e Stati Tedeschi si impegnarono finanziariamente alla costruzione dell'opera. Due anni più tardi veniva fondata la Compagnia ferroviaria del Gottardo. Nella gara d'appalto venne scelta l'offerta di Luigi Favre di Ginevra, che proponeva un tunnel a due binari lungo quasi 15 mila metri.

Lo scavo venne effettuato col sistema belga, che iniziava con una piccola gallerie di direzione. Ogni squadra di

perforatori era composta di un capo operaio, quattro minatori, due meccanici, otto manovratori e un garzone. Sul fronte d'attacco della roccia ogni squadra, in tre o quattro ore, faceva da 19 a 25 fori profondi m. 1.20. Si dava fuoco prima alle mine collocate alla sommità e al centro della parete, poi a quelle situate in basso, dopodiché si prolungava il binario con le traverse e le rotaie, e si ricominciava. Alle macchine già usate per il Moncenisio, se ne affiancavano altre a più alta resa, mentre all'uso della polvere nera subentrava quello della nitroglicerina, che però faceva aumentare il numero degli incidenti.

Gli operai, che vennero impiegati a migliaia, erano in gran parte di nazionalità italiana.

I lavori durarono nove anni e furono molto impegnativi e non privi di situazioni di pericolo, tanto che la sola galleria di valico, lunga 14.984 metri, causò 177 morti e oltre 400 feriti (furono, rispettivamente, 290 e 877 per l'intera linea). Oltre che dai pericoli insiti nei lavori di scavo, gli operai erano minacciati da una malattia insidiosa, la anchilostomiasi, che in letteratura medica venne ricordata come "malattia del San Gottardo": il contagio era amplificato dall'umidità, dalla promiscuità e dalla mancanza di igiene.

La ferrovia del Gottardo, che venne aperta nel 1882, accorciava di 36 ore la distanza fra il nord e il sud dell'Europa. Nel 1883 venne istituito il primo "train de luxe", l'Orient Express Parigi-Wien-Budapest-Bucuresto-Giurgewo, che dal 1889 proseguirà fino a Costantinopoli.

Negli ultimi anni del secolo altri percorsi ferroviari attraversarono le Alpi: la linea dell'Arlberg, tutta austriaca, nel 1884 e, nel nuovo secolo, la Karavanken e la Wocheiner. Il terzo grande traforo alpino ad essere realizzato fu quello del Sempione.

Sono del 1857 i primi studi di una ferrovia attraverso il monte Leone per collegare le due vallate del Rodano da una parte e della Diveria e del Toce dall'altra.

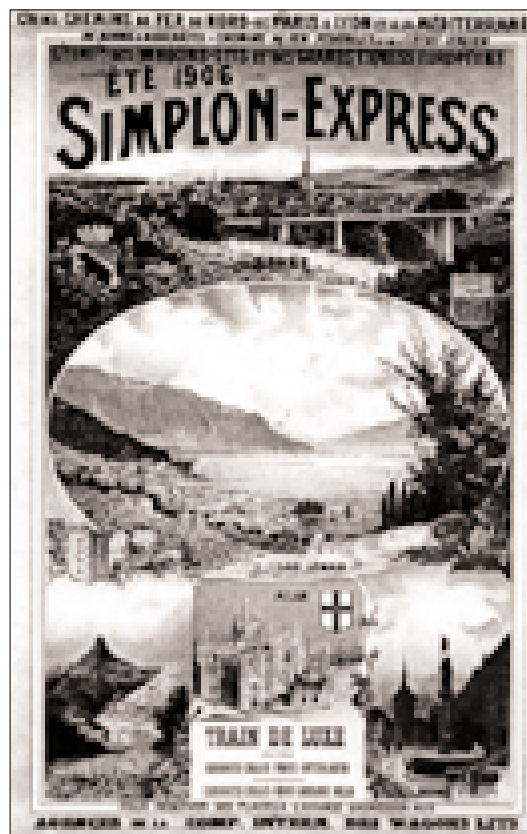
Il Piemonte intanto accordava ad una Compagnia ferroviaria con sede a Parigi la concessione per una linea da Arona, sul lago Maggiore, a Domodossola, con eventuale prolungamento fino alla strada ferrata svizzera della valle del Rodano.

Dopo una successione di compagnie ferroviarie e di progetti, si decise la costruzione di un tunnel che, con una lunghezza di circa 20.000 metri, sarebbe diventato il più lungo allora esistente. La grande impresa venne avviata dalla *Jura-Simplon*, una compagnia creata per l'occasione. A partire dal 1887 avvennero gli incontri fra autorità politiche e tecnici italiani e svizzeri. Gli italiani, chiamati a contribuire alla spesa, si batterono perché il tunnel sboccasse in territorio italiano; finalmente nel 1906 venne stipulata una convenzione per la costruzione e l'esercizio di una strada ferrata attraverso il Sempione, dalla frontiera italo-svizzera ad Iselle.

I lavori per il tunnel del Sempione iniziarono nel 1908 e vennero diretti da due ingegneri tedeschi, Brandt e Brandau dell'omonima impresa che aveva ottenuto l'appalto dei lavori, mentre le maestranze erano in gran parte italiane.

Il contratto prevedeva la costruzione di due tunnel ad un binario; in realtà si costruì un solo tunnel. Fra le difficoltà, ricordiamo le improvvise irruzioni di grandi masse di acqua che allagavano il cunicolo. I minatori erano costretti a

Manifesto per il Simplon-Express, che fin dall'anno di apertura (1906) iniziò il servizio Parigi-Milano, ben presto prolungato fino a Venezia.





Cartina pubblicata dalla Wagons-Lits per la stagione 1930-1931, con i percorsi del Simplon-Orient-Express e del Taurus Express.

indossare stivali e cappotti impermeabili. Avanzando nella montagna, si verificavano anche bruschi innalzamenti delle temperatura, che dai previsti 36 gradi raggiunse i 53 gradi: si pose rimedio con immissione di aria che era stata preventivamente raffreddata facendola passare attraverso alcuni vagoni di ghiaccio.

L'ultimo diaframma venne perforato nel 1905, quindi si realizzarono i lavori di elettrificazione e il 1° giugno 1906 la linea venne aperta al pubblico esercizio.

I lavori erano durati complessivamente 2392 giorni, si erano consumati un milione e mezzo di chili di dinamite, 35 mila di fioretti per perforatrice meccanica o a mano; furono estratti poco meno di un milione di metri cubi di materiale, trasportato ad una distanza di 15-20 chilometri dagli imbocchi, mentre 250.000 metri cubi venivano impiegati per il rivestimento interno. Il costo dell'impresa ammontò a 75 milioni di franchi, analogo a quello del Gottardo, mentre il Cenisio era costato 60 milioni. Gli incidenti furono più di 8.000, 58 gli operai morti nel corso dei lavori.

L'Italia aveva provveduto a costruire nuove linee di accesso e a migliorare quelle già esistenti, lungo le direttrici

verso Torino e verso Milano, aveva realizzato la nuova stazione internazionale di Domodossola e l'allacciamento con Iselle, all'imbocco della grande galleria. Da parte sua la Svizzera, appena compiuto il Sempione,

iniziava i lavori per la linea diretta a Berna, attraverso il Lötschberg, che comportava la costruzione di una galleria lunga 14.612 metri (la linea verrà aperta nel 1909).

I traffici si incanalarono immediatamente per la nuova linea del Sempione, e fin dal giorno dell'apertura venne istituito il Simplon-Express, un treno di lusso trisettimanale sulla direttrice Milano-Losanna-Parigi-Calais. La nuova linea era ad un solo binario, e solo nel 1922 venne ultimato il raddoppio.

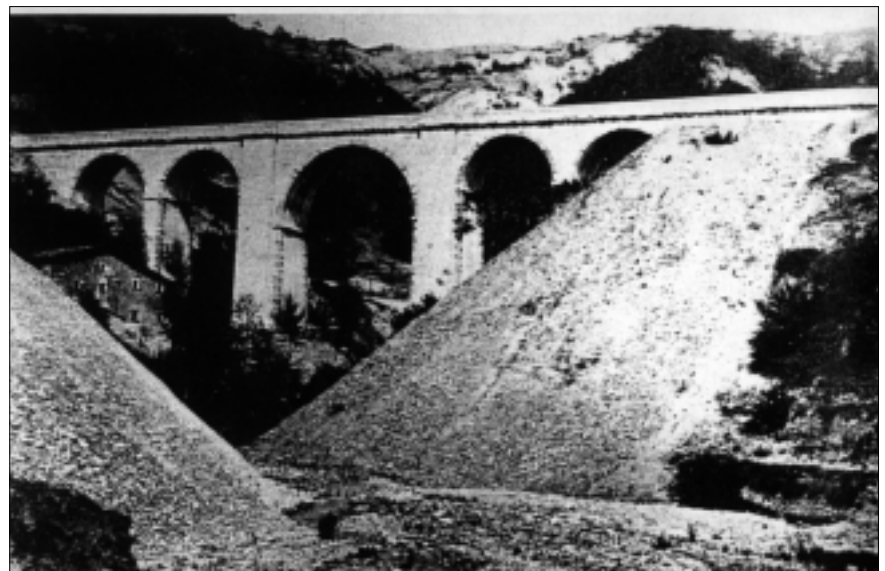
La prima grande galleria ferroviaria nell'Appennino

Con la linea da Torino a Genova, che collegava la capitale del Regno di Sardegna col porto sul Tirreno, venne costruita la prima galleria di attraversamento dell'Appennino. Dopo le prime tratte, da Torino a Moncalieri, Asti, Alessandria, Novi, si proseguì in un territorio difficile, che impose la costruzione di ponti e soprattutto di gallerie. La galleria più lunga, al passo dei Giovi, risultò di 3.250 metri e richiese 30 milioni di mattoni per il suo particolare rivestimento.

Alla fine del 1853 la linea era ultimata. La pendenza richiese mezzi di trazione eccezionali, e le locomotive Stephenson in servizio sulla linea dovettero essere accoppiate, dando vita ai famosi *Mastodonti dei Giovi*, mentre le imprese si impegnarono a costruire locomotive sempre più potenti.

Per affrontare il traffico rapidamente crescente lungo le direttrici Genova-

Il viadotto sull'Ombrone a Sommommè (ml. 62) allo sbocco sud della galleria dell' Appennino, lungo la ferrovia Porrettana.





Testata nord della Galleria del Signorino (ml. 1073,29) in via di completamento.

Torino e Genova-Milano si dovette costruire una linea "succursale", con una galleria che questa volta era lunga oltre 8.000 metri.

Sulle due linee dei Giovi, in forte pendenza, la trazione a vapore provocava notevoli disagi, senza contare il pericolo del fumo, che nella galleria di Busalla causò, nel 1898, la morte di dieci persone. Venne emanata una norma di circolazione che vietava l'accesso di un treno in galleria quando vi transitava un altro treno, ma in quel modo si rallentava la marcia sulle due linee dei Giovi. Il problema poteva essere risol-

La stazione di Sommomme vista dalla testa nord della galleria di Cataldera.



to solo con l'elettrificazione della linea, che venne realizzata negli anni dal 1905 al 1911.

Da Bologna a Firenze per ferrovia: l'800 della Porrettana, il '900 della Direttissima

Anche il percorso fra Bologna e Firenze ha sempre comportato molte difficoltà. Fino alla metà dell'800 il servizio di posta effettuato con le diligenze superava il passo della Futa impiegando, fra le due città, dalle 12 alle 15 ore a seconda della stagione.

Il Granducato di Toscana, d'intesa coi Ducati di Parma e Modena, fece costruire una linea ferroviaria transappenninica – la Porrettana – che si sviluppava lungo la valle del Reno, stretta e ripida, superando i 600 metri di altitudine in corrispondenza del valico di Pracchia. Il progettista, Luigi Protche, fece erigere 20 chilometri di muraglioni, 18 ponti sul fiume e numerose brevi gallerie. In corrispondenza del valico venne costruita una galleria lunga 2.750 metri forando il monte di Sommomme. Il lavoro di scavo era così duro che, nei giorni di maggior rendimento, le squadre di operai riuscivano ad avanzare di soli 90 centimetri. La ferrovia Porrettana, che venne aperta nel 1864, consentì di ridurre il tempo di percorrenza fra Bologna e Firenze a sole 5 ore. Tuttavia, tortuosa com'era e a semplice binario, rendeva la circolazione molto difficile, tanto che per decenni la velocità commerciale non supererà i 20 chilometri all'ora.

Non sarà privo di interesse soffermarsi sulle condizioni in cui si svolgeva la circolazione su una linea ottocentesca

come la Porrettana, che per gran parte della sua lunghezza si sviluppava in galleria. Le gallerie erano 46 (diventeranno in seguito 49); seconda per lunghezza, dopo quella dell'Appennino, era la galleria di Piteccio, lunga solo 1.749 metri ma molto faticosa perché disegnata quasi completamente in curva e controcurva e con gli imbocchi posti sullo stesso versante. I fumi tendevano a ristagnare, creando gravi disagi ai macchinisti, e il problema rimase quando quella galleria venne spezzata creandone tre. Il macchinista doveva regolare attentamente il vapore per non rischiare di arrestarsi per mancanza di pressione, e con una mano si proteggeva la respirazione tenendosi degli stracci bagnati davanti al viso; intanto il fuochista doveva, magari, spalare carbone per alimentare il fuoco, cercando di lavorare in apnea. All'uscita della galleria dell'Appennino stazionavano due agenti, che erano pronti a saltare sul treno in corsa, per fermarlo in caso di malore del personale di macchina.

Tornando alla funzionalità della linea, per affrontare le crescenti esigenze di traffico a partire da fine '800 vennero presentati progetti per una nuova linea direttissima, puntando su un nuovo tracciato, che avrebbe reso necessaria la costruzione di una lunga galleria di valico. Fra gli studi che vennero elaborati, venne scelto quello di Luigi Protche, che già aveva progettato la Porrettana.

La direttissima Bologna-Firenze, ap-

Viadotto delle Svolte: il treno 8023 in uscita dalla galleria Borrina attraversa la strada Porrettana.





La fermata di Castagno, sempre lungo la ferrovia Porrettana.

provata nel 1912, venne costruita negli anni fra le due guerre. L'impresa era impegnativa: si trattava, infatti, di costruire una lunga galleria in corrispondenza del monte Adone, in condizioni rese difficili da frequenti irruzioni d'acqua ed emanazioni di gas a forte pressione. La galleria, che coi suoi 18.510 metri si poneva al secondo posto dopo quella del Sempione, richiese ben 9 anni di lavoro per lo scavo della montagna (e poi altri 4 per la posa dei binari e l'elettrificazione). La perforazione iniziò nel 1920 su entrambi i lati e venne condotta a mezzo di martelli perforatori rotativi tipo Ingersoll, Sullivan, Flottmann azionati ad aria compressa prodotta da compressori installati nelle sale macchine di ciascun cantiere. Per il trasporto dei materiali ci si avvaleva di due tronchi di binario (di 26 e 22 chilometri) con scartamento di metri 0,75, vagoncini di legno, locomotori azionati a vapore all'esterno, ad aria compressa all'interno.

La galleria venne ultimata nel 1929 e cinque anni più tardi venne aperto all'esercizio l'intero tracciato, ma nei primi anni la galleria principale richiederà frequenti iniezioni di cemento e ghiaia.

Le autostrade attraversano gli Appennini

Per le gallerie realizzate lungo le autostrade vorrei fare soltanto due esempi: il primo, degli anni Trenta, riguarda una delle autostrade di prima generazione, il secondo, degli anni '60, appartiene alla cosiddetta seconda generazione, quella che ha formato la spina dorsale della nostra rete di asfalto. Nel periodo fra le due guerre vennero costruite nove tratti autostradali: il

primo, da Milano verso i laghi, entrò in funzione nel 1925, l'ultimo ad essere realizzato fu l'autocamionale Genova-Valle del Po. All'epoca in cui il progetto dell'autocamionale venne concepito, per raggiungere, dal porto di Genova, il Piemonte e la Lombardia, erano a disposizione ben tre linee ferroviarie – la linea dei Giovi di metà '800, la "succursale dei Giovi" e la linea per Ovada di fine secolo – mentre l'unica comunicazione stradale risaliva ai tempi di Napoleone ed era del tutto insufficiente. Si progettò pertanto un nuovo collegamento adatto a soddisfare le esigenze dei traffici lenti e pesanti. Nel 1932 venne autorizzata la costruzione, a cura e spese dello Stato, dell'autocamionale che, da Genova, lungo la valle del Polcevera e quella dello Scrivia, doveva raggiungere Serravalle Scrivia: da quest'ultima località si sarebbero studiati i percorsi nelle direzioni di Tori-

no e Milano.

L'andamento plano-altimetrico del tracciato, che teneva conto della tortuosità delle valli, della presenza delle due ferrovie e della statale, degli insediamenti industriali e degli abitati richiese, per aprire la nuova strada, la costruzione di molte gallerie, viadotti, ponti, sottopassaggi e cavalcavia, trincee e rilevati. Le 11 gallerie presenti lungo il percorso (la più lunga è la galleria Giovi, ex Littorio, di 902 metri) comportarono lo scavo di 359.000 metri cubi di roccia e la costruzione di 151.000 metri cubi di murature diverse, con l'impiego di 415 tonnellate di esplosivo e oltre 12.000 metri cubi di legname.

I lavori dell'autocamionale durarono tre anni e si conclusero nel 1935.

Ho voluto concentrare l'attenzione, a scopo esemplificativo, su due punti "difficili" per l'attraversamento degli Appennini sia per ferrovia che per autostrada: dopo la direttrice fra Genova e la pianura Padana, vediamo il collegamento fra Bologna e Firenze.

L'autostrada Milano-Roma-Napoli fu la più importante delle opere pubbliche realizzate negli anni immediatamente successivi alla ricostruzione. La realizzazione venne affidata all'IRI con una convenzione e concessa alla Società Concessioni e Costruzioni Autostrade S.p.A., appena costituita. Nella costruzione, che prese avvio nel 1956, si introdussero importanti innovazioni, come l'uso delle strutture da ponte in cemento armato precompresso e delle travate di acciaio, l'applicazione su grande scala dello spritz beton negli scavi in galleria, l'adozione di reti metalliche sulle scarpate per la protezione dalla caduta di sassi e massi rocciosi. Per la pavimentazione si andava ormai affermando, accanto al calcestruzzo, la

Corbezzoli, al centro la testa nord della galleria di Casciano, ai lati le gallerie dei binari di sicurezza e di lancio (a destra)



tecnica del manto bituminoso.

Il tratto da Bologna a Firenze nord fu molto impegnativo, tanto che, in meno di 90 chilometri, furono necessari 67 fra ponti e viadotti e, in particolare, 24 gallerie (sulle 38 dell'intero percorso Milano-Napoli).

Riguardo agli scavi in galleria, grazie all'applicazione del citato sistema spritz-beton si poteva procedere, contemporaneamente, allo scavo e al rivestimento a tutta sezione in calotta. Quel sistema – che consentiva un avanzamento di circa 4 metri al giorno – diverrà, in seguito, di uso quasi generale nell'esecuzione di lavori in sotterraneo, quando si operi su terreni e rocce di debole consistenza.

Il tratto Bologna-Firenze venne aperto nel dicembre 1960 e i benefici, per i viaggiatori, furono immediati. Fino ad allora, infatti, andare in automobile da Bologna a Firenze era stato una vera e propria avventura (con superamento di un tratto di valico, innevato nei mesi invernali), tanto che molti preferivano viaggiare in treno. Con l'autostrada, finalmente, il viaggio in automobile richiedeva poco più di un'ora, lo stesso tempo che s'impiegava in treno seguendo la "direttissima".

I trafori autostradali nell'arco alpino

Col traforo del Gran San Bernardo – attivato nel 1964 – si apre la stagione delle gallerie al servizio dei grandi collegamenti autostradali attraverso le Alpi. Il Gran San Bernardo si sviluppa a quota elevata (raggiungendo un massimo di 1.924 metri), con una lunghezza di 5.854 metri, fra Saint Rhemy (Valle d'Aosta) e Bourg Saint Pierre

(Vallese), collegando l'Italia alla Svizzera. Su quell'importante via di traffico si propose per la prima volta nel 1850 di costruire una galleria stradale, ma poi si preferì rendere carrozzabili fino al colle le strade sui due versanti. La situazione cambiò dopo la seconda guerra mondiale, quando l'aumento degli autoveicoli circolanti e la vivacità degli scambi turistici sottolinearono l'esigenza di collegamenti attraverso le Alpi aperti tutto l'anno. La convenzione fra Italia e Svizzera venne firmata nel 1958 ed entro l'anno iniziarono i lavori. Il traforo del Monte Bianco, definito "la più lunga galleria del mondo sotto la più alta vetta d'Europa", è stato aperto nel 1965. Partendo da una quota, all'imbocco italiano, di m. 1.381, arriva alla quota di m. 1.274 dell'imbocco francese, raggiungendo un massimo di m. 1.395. Si sviluppa su una lunghezza di 11.600 metri fra Courmayeur e Chamonix, collegando l'Italia alla Francia. L'ipotesi di un tunnel sotto il Monte Bianco venne ventilata per la prima volta, dagli abitanti di Courmayeur, nel 1814, ma all'epoca non esistevano i mezzi tecnici in grado di realizzare un'opera del genere. E quando, alla metà del secolo, le prime perforatrici ad aria compressa aprirono l'era dei tunnel, si diede la priorità alle opere ferroviarie. Di una galleria stradale si cominciò a parlare nel 1930 ma, prima per ragioni politiche poi per la guerra, quel proposito fu di nuovo accantonato. La convenzione fra Italia e Francia per la costruzione dell'opera venne sottoscritta nel 1953 ma passarono altri sei anni prima dell'inizio dei lavori. L'impresa italiana adottò, per lo scavo, un carroponete di quattro piani con 18 martelli Atlas Copco di 27 kg, che consentivano un avanzamento da 8 a 12



Biagioni - Lagacci

metri al giorno. Nel 1962 venne abbattuto l'ultimo diaframma.

Il traforo del Fréjus, iniziato nel 1975, è stato completato nel 1980. Contemporaneamente veniva costruito il tunnel del Gottardo, pure aperto nel 1980. Entrambi si sviluppano a fianco dei tunnel ferroviari.

Il tunnel autostradale del Fréjus, il cui progetto è nato nel dopoguerra, si sviluppa su una lunghezza di 12.895 metri, con una quota massima di 1.297 metri, fra Bardonecchia e Modane, collegando l'Italia alla Francia. Questo tunnel viene considerato, dai tecnici, un modello per molti aspetti: per la concezione d'insieme, per la meccanizzazione dei lavori, per i metodi di perforazione e di asportazione dei materiali di scavo, per i getti di rivestimento e il consolidamento delle rocce, per la sicurezza e l'igiene del lavoro, per i controlli sistematici del comportamento dei terreni: per tutte queste ragioni, il cantiere del Fréjus apre una nuova generazione di lavori in galleria.

Gallerie sulla linea del Brennero: dall'800 al presente

Vorrei prendere come esempio una linea ferroviaria di grande interesse per la città di Verona, quella del Brennero, per confrontare le gallerie dell'800 con quelle realizzate negli ultimi anni.

Un tratto della linea ferroviaria Torino-Genova (aperta all'esercizio nel 1853) in una stampa dell'epoca.

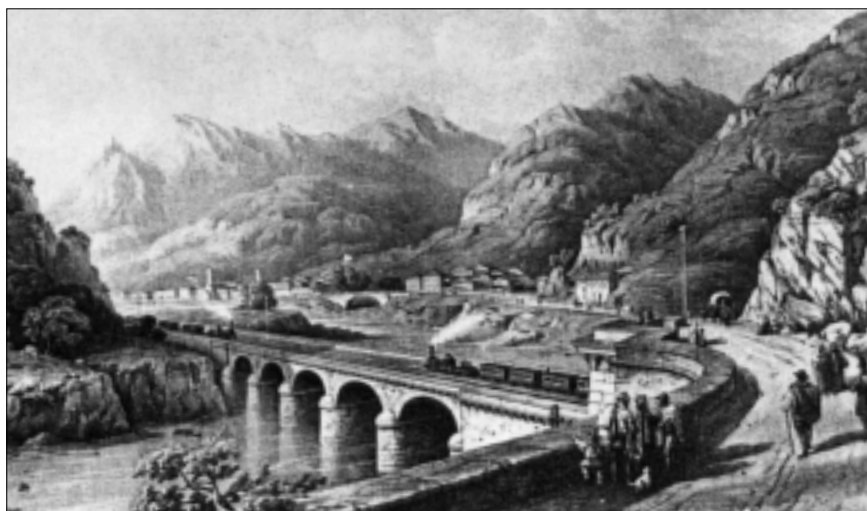


A poche centinaia di metri dal passo del Brennero, che viene valicato con un percorso in superficie ad una quota di oltre 1.300 metri (una scelta compiuta principalmente per ridurre i costi), il progettista della linea, Karl von Etzel, costruì una galleria "elicoidale" che dal 1867, data di apertura della linea, è rimasta in funzione fino a un paio di anni fa.

Il tratto fra Colle Isarco e Brennero poneva al costruttore una difficoltà molto grave: fra le due località, distanti poco più di 4 chilometri, si presentava infatti un dislivello di 250 metri che sulla strada postale si traduceva, in qualche tratto, in pendenze fino al 66 per mille. Tali pendenze erano impensabili per la strada ferrata: occorreva, pertanto, allungare il tracciato.

Una felice soluzione in tal senso venne offerta dalla val di Fleres. Si decise di allungare il percorso di oltre 4 chilometri. Il tracciato venne sviluppato sul solo versante nord della vallata, dove la roccia era più affidabile, e si costruì una galleria elicoidale, lunga 761 metri. Dopo un lungo giro nella galleria, la linea venne fatta retrocedere sulla stessa falda rocciosa fino a raggiungere la località di Moncucco, con una stazione che risultò molto vicina, in linea d'aria, a quella sottostante di Colle Isarco. I lavori per la costruzione della galleria di Fleres iniziarono nel maggio 1864 e si protrassero per due anni e mezzo con grandi difficoltà e con la perdita di molte vite umane.

Che la soluzione adottata, oltre che valida, fosse anche l'unica praticabile è dimostrato dal fatto che il tracciato in galleria è stato percorso per 130 anni. Solo a partire dagli anni '80, infatti, è



Un'altra veduta della linea Torino-Genova.

stata costruita una variante, che è stata attivata nel 1999.

E qui si apre un altro capitolo, quello delle 4 varianti in galleria costruite lungo questa linea che rappresenta un'importante direttrice internazionale. Si trattava di correggere le esistenti forti pendenze e le curve con raggio ridotto che limitavano la velocità della linea. Un altro obiettivo era quello di garantire la sicurezza dell'esercizio sulle tratte maggiormente soggette sia al pericolo della caduta di massi, slavine e valanghe, sia alle azioni conseguenti all'erosione ed alle esondazioni del fiume Isarco. Per non parlare dell'obiettivo di potenziare la linea per il trasporto merci combinato adeguando la sagoma delle gallerie alle misure europee.

Per la costruzione delle 4 nuove gallerie sono state adottate tecnologie moderne nell'operazione di escavo (condotta a partire dal "foro pilota"), nei rivestimenti interni, nei sistemi di raccolta delle acque e degli eventuali liquidi inquinanti fuoriusciti dai convogli. Si aggiungano illuminazione e distribuzione di aria compressa, telecomunicazioni e dotazioni di sicurezza aggiornatissime, che comprendono anche piazzole per l'atterraggio di eventuali elicotteri di soccorso.

La galleria più lunga delle 4 (e inaugurata per prima) è la "Sciliar", fra Prato Isarco e Ponte Gardena, che misura oltre 13.000 metri.

Siamo alla tecnologia aggiornata, e qui il mio compito di storico finisce.

L'inaugurazione di un traforo era un avvenimento da celebrare con solennità, come si vede in questa stampa d'epoca.



Bibliografia minima

L. Jannattoni, *Il treno in Italia*, Roma, 1975
C. Lacchè, *L'Ottocento ferroviario italiano dopo il Settanta*, stampato in proprio, 1977
Italo Briano, *Storia delle Ferrovie in Italia*, 3 voll. Milano, 1977

C. Lacchè, *La ferrovia da Giolitti a Mussolini*, Roma, 1980

La ferrovia transappenninica. Il collegamento nord-sud attraverso la montagna bolognese e pistoiese (1842-1934), edito a cura del Gruppo di Studi Alta Valle del Reno, Porretta Terme, 1985

Ferrovie italiane. Immagine del treno in 150 anni di storia, a cura di P. Berengo Gardin, edito a cura delle Ferrovie dello Stato, Roma, 1988

1955-1975. Le autostrade della seconda generazione, edito a cura della S.p.A. per l'Autostrada Serravalle-Milano-Ponte Chiasso, Milano, 1990

L. Facchinelli, *La ferrovia Verona-Brennero. Storia della linea e delle stazioni nel territorio*, Bolzano, 1995

Historical tunnel in the Swiss Alps: Gotthard, Simplon, Lötschberg, a cura Society for the Art of Civil Engineering, Zurigo, 2000

Manualità e macchine nei grandi trafori, dall'Ottocento ad oggi

Marco Pasetto

1. Premessa

La realizzazione di opere sotterranee nell'ambito della costruzione di infrastrutture viarie ha perso negli ultimi decenni quel carattere di eccezionalità che ammantava i primi interventi. Di fatti, l'affinamento di tecniche di scavo e costruzione che permettono di operare in ogni tipo di suolo ha incoraggiato il ricorso sempre più frequente al "tunnelling", quale soluzione operativa idonea a risolvere i problemi dell'ingegneria stradale e ferroviaria.

La necessità di rendere più diretti e rapidi i collegamenti viari per minimizzare i tempi di spostamento e i consumi energetici, l'opportunità di salvaguardare l'ambiente limitando l'impatto paesaggistico e visivo delle infrastrutture, l'obbligo di ridurre l'effetto inquinante del traffico veicolare (rumore, gas di scarico, vibrazioni), l'esigenza di un più razionale utilizzo delle poche superfici libere oggi ancora esistenti e di una ridotta interferenza delle infrastrutture con le aree antropizzate, sono solo alcune delle molteplici ragioni che hanno reso le gallerie elementi progettuali costituenti parte integrante delle usuali opere dell'ingegneria.

Tutto ciò ha portato, negli anni, alla definizione di tecniche di scavo e realizzazione di gallerie diversificate e idonee a risolvere ogni tipo di problema progettuale, al punto che sempre più spesso sono state le scelte pianificatorie, più che le difficoltà costruttive, ad orientare il tunnelling verso soluzioni complesse, specifiche e mirate. In tali soluzioni, la manualità lascia spazio crescente all'automazione, con benefici tangibili in termini di tempi e costi operativi, oltre che di sicurezza.

Naturalmente, ciò non significa che la procedura di scavo possa prescindere dalle condizioni locali di intervento e, nella fattispecie, dalle caratteristiche dell'ammasso attraversato o dalle tecniche realizzative disponibili. Il tipo di roccia o terreno, la consistenza e lo stato dell'ammasso, le condizioni idrogeologiche (falde, faglie, fratture...), la localizzazione della galleria (valico, base, entità del ricoprimento), le dimensioni del foro, le soluzioni costruttive disponibili e/o utilizzabili, l'ambito di intervento (montano, urbano, sub-

alveo...), il risultato conseguibile e/o da conseguire (stabilità del fronte a breve e medio termine) restano sempre e comunque i criteri su cui viene a tutt'oggi improntata la costruzione dei trafori o delle gallerie.

2. La nascita del tunnelling moderno

I trafori dell'età moderna hanno un antesignano nel cosiddetto "Buco del Viso" che, a ragione, viene considerato il primo traforo alpino. Tra il 1476 e il 1484, un colle del Monviso, fra la Provenza e il Piemonte fu attraversato da una galleria interamente scavata a mano. Non fu la prima opera sotterranea di cui si abbia conoscenza (perché già gli antichi Romani si erano cimentati in tal senso), ma certamente può ritenersi quella che ha segnato gli albori del tunnelling moderno.

È però a distanza di 4 secoli che l'attività di escavazione dei trafori ha avuto il vero sviluppo, quando la realizzazione delle prime linee ferroviarie internazionali richiese uno sforzo ingegneristico particolare per risolvere le numerose problematiche connesse con il superamento della più elevata catena montuosa europea (le Alpi).

È nell'Ottocento, di fatti, che si hanno: la costruzione della prima linea ferroviaria di valico delle Alpi centrali (Brennero, 1867);

- il primo tunnel ferroviario alpino (Frèjus, 1857-1871);
- il tunnel ferroviario del San Gottardo (1872-1882);
- il tunnel ferroviario del Sempione (1898-1906);
- il tunnel ferroviario del Lötschberg (1906-1913);

e, a seguire, le gallerie ferroviarie di Tenda, Bernina, Tauri e Pyhrn.

Le infrastrutture ferroviarie, che ragioni di esercizio vincolano all'adozione di pendenze longitudinali limitate, hanno trovato particolarmente nel tunnelling la soluzione costruttiva più idonea a superare i condizionamenti orografici delle catene montuose che separano il nostro paese dal resto dell'Europa. Su tale evidenza si è fondata anche la scelta dei progettisti che, in tempi successivi, hanno ritenuto di risolvere il problema del trasporto merci transalpino mediante opere sotterranee (gallerie ferroviarie di base) piuttosto che con improponibili infrastrutture di valico (si vedano i progetti recenti per Moncenisio, Brennero, Gottardo e Lötschberg).

In campo stradale le gallerie hanno, da sempre, assunto un ruolo diverso da quello fondamentale delle ferrovie. Infatti, da un lato, i minori vincoli cui è soggetta la trazione dei veicoli a motore, ha permesso di progettare tracciati che si inerpicano in montagne, anche ad alta quota, con pendenze ragguardevoli, risparmiando la realizzazione di opere sotterranee che, per la stesa della rete viaria, avrebbero avuto un'incidenza pesante sui costi di costruzione; dall'altro, l'esigenza di tutela dell'ambiente e di una progettazione più attenta ai costi di esercizio, ha portato talora ad inserire nei tracciati stradali gallerie, anche di breve sviluppo, idonee a realizzare andamenti planimetrici meno tortuosi e più immediati. Ne consegue che anche per le strade, il tunnelling sia divenuto un elemento intrinseco del progetto, come testimoniano le numerose opere realizzate nel corso dell'ultimo secolo. Basti ricordare i valichi alpini del Monte Bianco (1965, per 11,6 km), del Frèjus (12,9 km), del Gran San Bernardo (6 km), del San Gottardo (17 km) ed altre opere italiane più recenti, anche non alpine, quali le gallerie del Gran Sasso (10 km), dell'Autostrada del Sole (attraverso gli Appennini), della Guinza (E78, Grosseto-Fano, la più lunga galleria ANAS).

Il presente ed il futuro riservano ancora importanti realizzazioni sotterranee, specialmente in campo ferroviario, in Italia e nel mondo: il tunnel Caracas-Cua in Venezuela (7 km, una delle più lunghe gallerie americane); la galleria di Guadarrama (fra Madrid e Segovia, in Spagna, di 26 km); la galleria ferroviaria di St. Jean de Maurienne-Susa (inserita nel progetto di nuova linea per l'alta capacità, di 52 km).

3. La manualità nella costruzione dei primi trafori

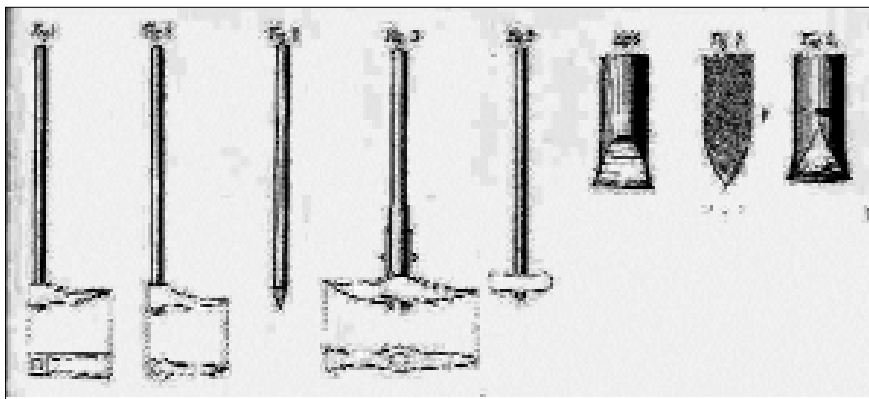
3.1. Gli utensili per lo scavo

Nel 1886, Giulio Stabilini, nelle "Lezioni sulla costruzione delle gallerie" spiegava come per *attaccare la roccia che si trova al posto di una escavazione progettata, e ridurla in frammenti facilmente trasportabili*, fosse possibile ricorrere a due tecniche fondamentali:

- la sola forza dell'uomo, *cogli strumenti comuni come la pala, la zappa, il piccone, lo scalpello* (abbattimento ordinario);
- il sussidio di sostanze esplosive (lavoro di mina).

La manualità trovava supporto in alcu-

ni semplici strumenti, come la pala, la vanga e, per rocce più consistenti, la zappa, il piccone, il piccone doppio o a croce, idonei ad eseguire la cosiddetta operazione di *cavatura*. Per rocce di media durezza, in strati grossi e potenti si usavano *scalpelli di ferro di varia lunghezza dagli 80 ai 300 mm od a punta acciata*, battuti mediante martello o mazza del peso variabile fra 1,5 e 3 kg (*spaccatura*).



Utensili per lo scavo a mano (da G.Stabilini)

L'intervento umano non era però richiesto solo per eseguire lo scavo manuale mediante cavatura e spaccatura, ma era anche necessario nel lavoro di mina; questo, infatti, poteva essere affrontato mediante *perforazione ordinaria o a mano d'uomo*, ovvero ricorrendo al *sussidio di forze inanimate come l'aria compressa, il vapore, con meccanismi speciali (perforazione meccanica)*.

Per la perforazione ordinaria era ricorrente l'utilizzo di alcuni semplici oggetti: lo stampo, la draga, il martello, il raspino.

Lo *stampo o scalpello*, detto anche *fioretto*, barra o punta da mina, era costituito da un'asta cilindrica di ferro (diametro 16-35 mm, lunghezza da 0,3 a 1,5 m) temprata alle due estremità (poi interamente in acciaio), di cui *una ottusa e destinata a ricevere colpi*, l'altra conformata a tagliente per intaccare la roccia. Per far fronte alla dimensione variabile del foro, lo scalpello era disponibile normalmente in un assortimento di 3 pezzi: piccolo, mezzano e grande stampo. Il tagliente era sagomato rettilineo (a scure) o incurvato.

Il *martello*, utilizzato per la percussione dello stampo, era disponibile in due versioni: la *mazzetta* (peso da 3 a 4,5 kg, di forma curva, talora in parte piatta e in parte appuntita), manipolata dallo stesso operaio che maneggiava lo scalpello; la *mazza* (6-10 kg), adoperata per colpire il fioretto ed anche per

frantumare i massi staccati dalle mine. La *draga* veniva utilizzata per fori da mina profondi oltre 1,25 m; il peso dello stampo era utilizzato per produrre l'urto contro la roccia. Lo strumento era costituito da un'asta di ferro lunga fino a 2 m, recante saldato all'estremità inferiore uno stampo.

Il *raspino* era un'asta di ferro di 3 mm, avente un'estremità forgiata a cucchiaio e l'altra ripiegata, utilizzata per

estrarre dal foro i detriti.

La perforazione *ordinaria manuale* era eseguita, per fori poco profondi e in rocce poco dure, da un solo uomo, che sosteneva con una mano lo stampo contro la roccia, percuotendone l'estremo libero con la mazzetta a manico corto, ruotando lo scalpello ad ogni colpo per 1/8 di giro.

La polvere prodotta era rimossa prima con una piccola scopa, poi con il raspino.

Per profondità maggiori di 1,20 m si richiedeva l'intervento simultaneo di 2 operai (mazza a coppia), uno dei quali sosteneva lo stampo e lo ruotava, mentre l'altro batteva - con mazze a manico lungo - sullo scalpello. Per l'utilizzo della draga poteva essere necessario un ulteriore aumento della manodopera.

La demolizione della roccia era affidata all'esplosivo, da principio costituito da *polvere da mina (miscuglio granulato di solfo, carbone e salnitro in proporzione 15/20/65) o composti nitrosi (coton fulminante, nitroglicerina, dinamite, gelatina-esplosiva)*. L'operaio provvedeva a *caricare* il foro da mina, a *borrarlo* o intasarlo, e ad *accendere* l'esplosivo mediante miccia.

3.2. Il trasporto in sotterraneo

Sebbene possa sembrare un problema secondario rispetto a quello dello

scavo delle gallerie, il trasporto del materiale demolito e di quello da costruzione ha richiesto, nella realizzazione dei grandi trafori, studi approfonditi, al fine di ottimizzare un'operazione che si rivela fondamentale per il rendimento del tunnelling.

In origine, il trasporto era effettuato a spalla, anche se a breve si capì che tale soluzione aveva significato solo per spostamenti brevi; per maggiori distanze e spazi angusti si ricorreva alla movimentazione del materiale con *veicoli ordinari* azionati sul fondo scavo, rivestito con tavoloni. Ma molto presto ci si orientò verso l'uso di vagoni (piatti o a cassa) su binari di servizio, dapprima movimentando i carri con forza umana (massimo 3 persone per 1200 kg) o animali da tiro (cavalli e muli, per 5000 kg di traino unitario), poi con motori a vapore esterni al tunnel. Il tema è affrontato più estesamente in un paragrafo successivo.

3.3. La costruzione del rivestimento

Per qualsivoglia tecnica utilizzata nello scavo delle gallerie, la costruzione del rivestimento costituiva una delle fasi realizzative in cui la manualità era, per gli ultimi decenni dell'Ottocento, una scelta obbligata.

Mattoni, pietre grezze (*möellons*) e pietre lavorate, nonché malte, venivano poste in opera utilizzando *sagome e centine* (a tavoloni, a cavalletto, in ferro), la cui posa avveniva esclusivamente per mezzo di operai. Solo con l'automazione dello scavo si perfezionarono tecniche di rivestimento che lasciavano spazio alla meccanizzazione sempre più spinta, a scapito della manualità.

Trasporto manuale del materiale scavato (da Legouéz)



Esempio di costruzione manuale del rivestimento (da Legouéz)



4. Tra manualità e meccanizzazione: i metodi pionieristici di scavo

La diffusione del tunnelling nell'Ottocento ha "tentato" l'ingegno di molti ricercatori, che hanno cercato di proporre metodi e strumenti che alleviasero la fatica umana, garantendo al contempo il massimo rendimento dello scavo sotterraneo. Così sono venute alla luce diverse tecniche originali, che in molti casi possono essere citate per sola curiosità, mentre in altri meritano menzione per gli spunti avveniristici che le animavano.

Fra le tecniche escavatorie che non hanno avuto successo si può citare quella di P.A. Penrice, che nel 1856 ha proposto una fresa, parente lontana di quelle attualmente in uso, ma allora così poco efficace da cadere nel dimenticatoio. Si trattava di una piastra munita di punte e scalpelli di acciaio che, congiunta allo stantuffo di una macchina a vapore o aria compressa, mediante una cassetta di distribuzione, era portata a percuotere la roccia con piccoli colpi; nel frattempo, era sottoposta a rotazione mediante un dispositivo a "vite senza fine". Sotto la macchina, alcune lamine articolate, dotate di moto alternativo, raccoglievano i frammenti lapidei demoliti e li scaricavano posteriormente, verso l'imbocco della galleria.

Crowshay & C. durante la guerra di Crimea, avevano proposto una *locomobile* per scavare sotto la città di Sebastopoli. Questa risultava dotata di una ruota anteriore, munita di scalpelli, fatta girare a grande rapidità. Gli scalpelli dovevano demolire la roccia, mentre alcuni rastrelli sottostanti asportavano i detriti rimossi. La macchina doveva essere spinta in avanti mediante un dispositivo a vapore, i cui

fumi dovevano essere evacuati con una lunga tubazione orizzontale.

Cunei in legno e leve, già utilizzati nello scavo di miniere, erano ritenuti, nella metà del 1800 sistemi ancora adeguati allo scavo di gallerie. L'ingegnere Maus propose nel 1849 una macchina costituita da 7 file di scalpelli (5 orizzontali e 2 verticali), che dovevano creare fessure regolari nel fronte attaccato, sino ad isolare blocchi rocciosi parallelepipedi, uniti solo posteriormente all'ammasso esistente in situ. Il distacco dei blocchi (che regolari, potevano essere riutilizzati per la costruzione di altre opere) era affidato a cunei. Ogni scalpello doveva essere indipendente e percuoteva la roccia grazie ad una molla, messa in tensione alternativamente mediante una motrice.

Vallaury e Bouquet nel 1860 hanno proposto una macchina costituita da dischi circolari in ghisa disposti ad intervalli regolari su un albero orizzontale, armati sulla circonferenza con utensili di acciaio. Durante la rotazione, i dischi con i relativi scalpelli frantumavano la roccia, producendo scanalature ed isolando blocchi rocciosi, che potevano poi essere singolarmente abbattuti.

A fronte di coloro che contavano sull'azione meccanica per demolire la roccia delle gallerie, taluni si proposero di verificare l'azione disgregatrice del fuoco, considerandone l'efficacia *in tempi antichissimi per distruggere la coesione di certe rocce durissime, quali il quarzo e le piriti*. Il fuoco avrebbe dovuto rendere le rocce attaccabili manualmente, là dove non fosse stato in grado esso stesso di distruggerle.... I limiti di tale semplice tecnica operativa per applicazioni in ambienti chiusi apparvero ben presto.

Incurante di tutto ciò, il fisico ginevrino Colladon ideò un espediente per realizzare un attacco termomeccanico alle rocce da scavare in galleria. Egli inventò una *locomobile* ad aria compressa, i cui stantuffi ponevano in movimento utensili perforatori a mezzo di vari meccanismi; la macchina doveva anche aderire alla roccia mediante il vuoto. Per facilitare la disgregazione del materiale attaccato, doveva avvenire la proiezione di getti di aria e gas o vapori combustibili che, una volta accesi, avrebbero riscaldato la roccia; questa, successivamente raffreddata in modo repentino con getti di acqua fredda, sarebbe stata oggetto di fessurazione immediata.

Qualche ipotesi di impiego fu prevista anche per il gelo, per il quale si pensò un utilizzo basato sulla capacità meccanica dell'acqua di frantumare la roc-

cia per aumento di volume durante il suo congelamento.

E poiché si ritiene che gli storici siano attendibili, dal momento che Tito Livio e Plinio raccontarono di scavo delle rocce con aceto e fuoco od acidi, qualche interesse fu avanzato anche per un tale metodo che – si dice – avrebbe consentito ad Annibale di attraversare le Alpi...

5. La perforazione meccanica

5.1. Cenni storici

La pura manualità cui si è inizialmente fatto ricorso nello scavo delle gallerie ha presto lasciato spazio a processi meccanici di abbattimento delle rocce, necessari per *evitare il concentramento di masse di operai in località poco ospitali, far fronte all'aumento dei salari, accelerare il progresso del lavoro ... in condizioni sfavorevoli per la ristrettezza dello spazio*. Allo scopo, sono stati ideate due tipologie di apparecchi: i *perforatori a mano*, per meglio utilizzare la forza dell'uomo in spazi angusti e ridurre l'affaticamento dovuto al peso ed alle vibrazioni degli strumenti manuali; gli *escavatori-perforatori meccanici*, per sostituire all'energia umana la forza idraulica e l'aria compressa.

I perforatori a mano hanno avuto un limitato successo, a causa del dispendio di risorse che richiedevano, poiché coinvolgevano nello scavo – complicando il metodo ordinario – maggiore manodopera. Anche gli escavatori meccanici primordiali, idonei a scavare rocce tenere quali creta, argilla, calcari e carbon fossile, sono stati presto soppiantati dalle perforatrici meccaniche. Queste avevano la prerogativa di sostituire all'azione umana, durante la realizzazione di fori da mina, quella di *forze inanimate che agivano su uno scalpello con l'intermediario di un meccanismo*.

Presto si sono affermate due tipologie di perforatori: quelli a percussione, ove lo scalpello batte contro la roccia, così simulando la percussione umana; quelli a rotazione, ove lo scalpello penetra nella roccia con moto rotatorio sotto una pressione costante. Le perforatrici hanno avuto inizialmente un'alimentazione ad aria compressa, per il motivo che questa *per la sua compressibilità, non produce urti o scosse che deteriorino il meccanismo, mentre dopo aver funzionato su questo serve a ventilare e rinfrescare l'ambiente, ed inoltre si presta ad essere trasportata a grandi distanze entro piccoli tubi con piccole perdite di*

pressione.

Anche per l'acqua compressa si è manifestato un interesse quale sistema di alimentazione delle perforatrici, pur constatando che, al suo scaricamento, per escavazioni in discesa, questa risultava di ingombro alla fronte d'escavo. In ogni caso fu ritenuta idonea ad alimentare le perforatrici a rotazione, riservando l'aria compressa a quelle a percussione.

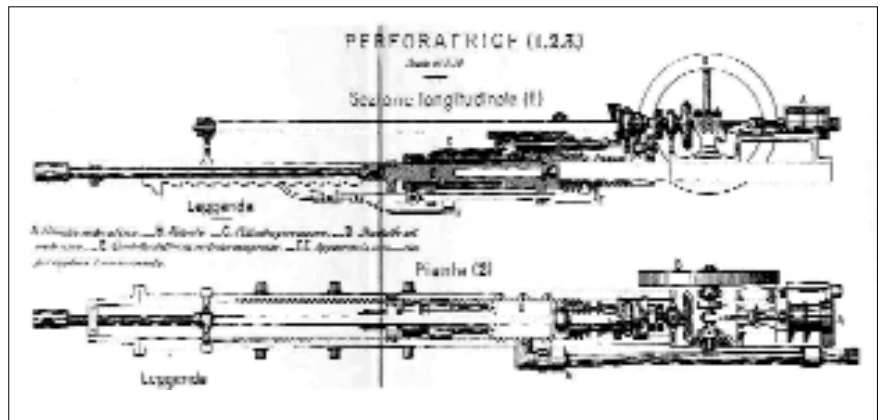
Nessuna utilità venne individuata nell'impiego del vapore, ritenuto dannoso per la ventilazione della galleria e difficile da alimentare (generatori di vapore prossimi al fronte determinavano ingombro di spazi angusti, riscaldamento dell'ambiente e pericolo di incendio, mentre, se lontani, erano considerati a basso rendimento per le perdite di pressione lungo la galleria). Scartato anche il ricorso a funi ed all'alimentazione elettrica.

I primi perforatori meccanici risalgono al 1840 e sono stati costruiti negli Stati Uniti, specificatamente per scavi a giorno. Il loro affinamento deve molto alla tecnologia della perforazione meccanica sviluppata in Europa. Nel vecchio continente, Cavè, nel 1851, ha ideato un apparecchio di percussione, azionato ad aria compressa, per praticare fori da mina. 4 anni dopo, il prof. Colladon di Ginevra, mentre si stava ancora studiando il modo più proficuo per realizzare lo scavo del Cenisio, propose di utilizzare l'aria compressa come motore per uno strumento destinato a scavare i fori da mina e contestualmente ventilare e regolare la temperatura all'interno della galleria. Contemporaneamente, Bartlett ideava una perforatrice a vapore, sperimentata negli studi preliminari alla realizzazione del traforo delle Alpi Cozie. Sommeiller, unendo le idee di Colladon e Bartlett, realizzò la prima perforatrice ad aria compressa funzionante ed efficiente, al punto da trovare impiego estensivo per 10 anni nel traforo del Cenisio.

In questo periodo, opere in sotterraneo realizzate in tutto il mondo (Monte Hoosac negli Stati Uniti, Inghilterra, Belgio) contribuirono a collaudare le prestazioni delle prime perforatrici meccaniche (ad aria compressa), al punto che fra 1873 e 1880 il traforo del Gottardo poté essere avviato proprio prevedendo il ricorso a tale tecnologia, ampiamente collaudata negli 8 anni di scavo.

5.2. Le perforatrici a percussione

La perforatrice a percussione è nata come un cilindro-motore entro il quale uno stantuffo-percussore, mediante



Perforatrice Sommeiller (da G.B. Biadego)

l'azione alternativa dell'aria compressa sulle due facce, assume un moto *va e vieni* comunicato ad uno scalpello. La perforazione è affidata a 4 movimenti distinti: la percussione dovuta allo scalpello, che è dotato di un moto violento in battuta e più moderato in ritorno; la rotazione dello scalpello (in fase di ritorno), che serve a garantire la circolarità del foro; l'avanzamento della perforatrice, necessario per adeguare la posizione dello scalpello durante la realizzazione del foro; l'arretramento della macchina, necessario per cambiare scalpello o iniziare un nuovo foro. Le prime perforatrici utilizzate potevano essere classificate sulla base delle modalità di distribuzione dell'aria fra le singole macchine. Si distingueva fra:

- distribuzione indipendente dal moto di percussione, con aereo-motore apposito unito alla macchina (modello Sommeiller impiegato nel Cenisio e nel Gottardo, modello Ferroux I);
- distribuzione dipendente dal moto di percussione, così differenziata:
 - a cassetto mosso per giuoco atmosferico comandato per urto dal movimento del pistone (modello Dubois-François);
 - per valvole a rubinetto dipendente direttamente per urto dal movimento del pistone (modelli Ferroux II e III);
 - a cassetto dipendente direttamente per urto dal pistone-motore (modelli Ingersoll, Mac Kean e Seguin);
 - a cassetto isolato e comandato per mezzo dell'aria dal moto del pistone (Frölich);
 - mediante pistone, senza sussidio di cassetto o di valvole (modello Darlington).

Le apparecchiature del primo tipo, pur risultando preferibili perché in grado di fornire una lavorazione continua (mentre le altre erano soggette all'impigliarsi dello scalpello nella roccia), sono

presto cadute in disuso, sia per le maggiori complicanze tecnico-costruttive, sia per l'imperfezione dei colpi risultanti da un *cangiamento anticipato della distribuzione*, sia per il maggior consumo di aria compressa.

La perforatrice Sommeiller, utilizzata per il traforo del Cenisio, era composta da un robusto telaio in ferro, da un cilindro percussore mobile sul telaio e da un aeromotore che comandava i movimenti della macchina. I punti deboli di questa perforatrice erano la complicazione dell'apparecchiatura e il modo di distribuzione dell'aria, determinato da un cassetto il cui moto era comandato da un albero a camme soggetto a bloccarsi frequentemente per attrito.

Successivamente Ferroux perfezionò il funzionamento del perforatore, sostituendo la camma che comandava il movimento del cassetto di distribuzione dell'aria con un eccentrico, riducendo il numero di organi dell'apparecchiatura, modificando il meccanismo di avanzamento/rinculo del cilindro motore. Fu invece mantenuto l'aeromotore, destinato a comandare solo il moto di percussione e rotazione dello scalpello. Lo strumento fu adoperato con buoni risultati, pur con varie modifiche, nella realizzazione del traforo dell'Arberg. Costituì anche il modello da cui è derivata la affine perforatrice di Mac Kean e Seguin.

La perforatrice Dubois-François fu utilizzata per lavori minerari in Belgio e per oltre un anno nello scavo del traforo del Gottardo. Rispetto alle apparecchiature precedentemente descritte, quella in esame limitava il movimento automatico alla percussione ed alla rotazione dello scalpello. L'avanzamento del sistema percussore avveniva a mano, manovrando un volantino che operava su una vite che mediante un dispositivo a coclea spostava il

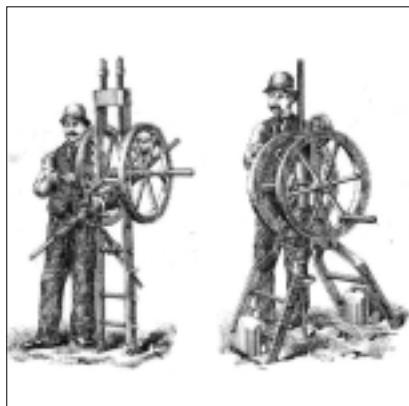
cilindro percussore; ciò costituiva un limite della perforatrice, ma allo stesso tempo rappresentava un vantaggio, perché consentiva di regolare la corsa alle caratteristiche del fronte da attaccare.

Il perforatore americano Ingersoll, alla fine del secolo scorso, fu considerato il miglior modello utilizzabile nello scavo di gallerie, con largo impiego in Europa e soprattutto Inghilterra. Di costruzione semplice e leggera, aveva un sistema di avanzamento automatico costituito da organi semplici e solidi, non soggetti a rottura, poco pesanti e con il pregio di non agire *se non quando il pistone arriva in fondo di corsa all'andata, cioè solo quando è necessario far avanzare il cilindro perché lo scalpello batta sulla roccia, ed il pistone non urti contro il fondo del cilindro*. Il moto di regresso avveniva manualmente.

Le perforatrici venivano montate su un *affusto* che poteva presentare disposizioni diverse a seconda della conformazione della macchina e del sito di impiego; in generale, doveva essere pesante quanto necessario a dare stabilità alla macchina, senza comprometterne gli spostamenti nelle direzioni desiderate, e doveva permettere un agevole montaggio e smontaggio dei perforatori.

Per opere in sotterraneo, si usavano 2 tipi di affusto.

Per sostenere una perforatrice corta con un solo punto di appoggio si adoperavano colonne cave di ghisa fissate



Affusto per gallerie e per lo scavo di pozzi (da T. Rossi)

verticalmente con viti e cunei contro le pareti dello scavo. Il trasporto di colonna e perforatrice avveniva inizialmente a braccia; solo quando risultavano disponibili binari di servizio, l'affusto era montato su un carrello e la colonna veniva fissata alla volta della galleria con viti a pressione.

Per montare contemporaneamente più perforatrici si usavano carrelli speciali. Per le perforatrici più leggere e corte (Ingersoll, Frölich) il carro era munito di bracci oscillanti, portanti traverse cui venivano fissate le macchine in un solo punto (soluzione americana). Per le perforatrici pesanti e lunghe (Ferroux, Mac Kean e Seguin, Sommeiller) i punti di appoggio per le perforatrici

erano almeno due (soluzione europea), con il vantaggio di garantirne l'invariabilità dell'asse, ma di limitarne la mobilità entro la galleria. L'affusto poteva pesare da 3.000 kg (modello Ferroux per l'Arlberg) a 15.000 kg (modello Sommeiller per il Cenisio).

5.3. Le perforatrici a rotazione

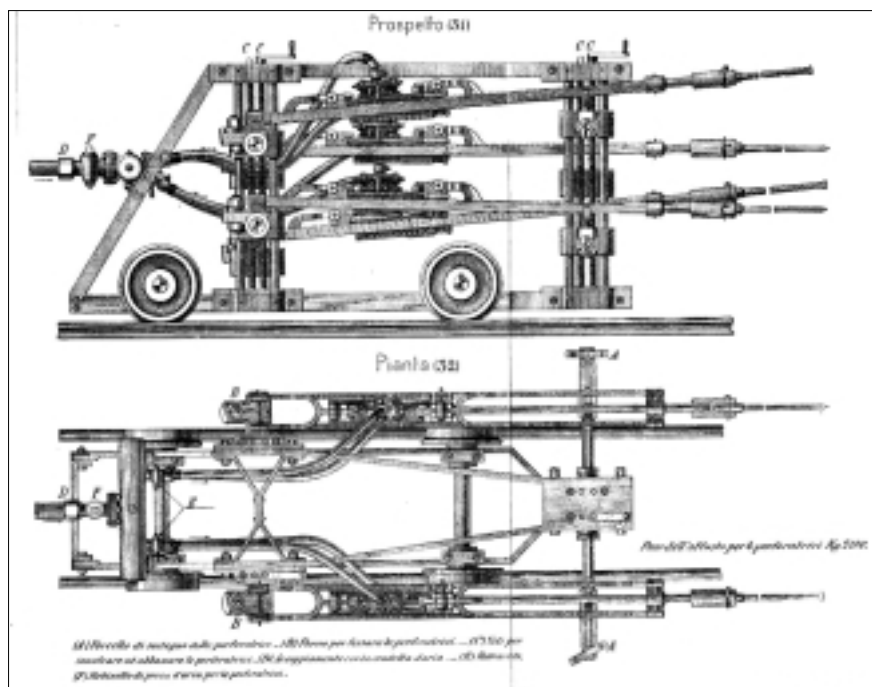
L'eventualità di perforare la roccia mediante un'azione continua piuttosto che per urti intermittenti ha trovato una prima attuazione nell'impiego dello scalpello a corona, costituito da un tubo in acciaio fuso, dotato di seghetatura alle estremità e di incisioni longitudinali per far fuoriuscire i detriti frantumati. Il tubo veniva manovrato mediante un manicotto applicato ad un'estremità, sino all'usura dei denti all'estremo opposto; successivamente veniva capovolta l'asta e si utilizzava per la perforazione l'estremità integra. Il foro veniva poi completato demolendo con scalpello o leva il nucleo roccioso rimasto intatto entro l'anello frantumato.

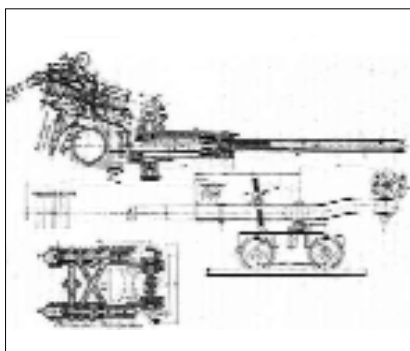
L'evoluzione di tale utensile può essere riscontrata nel perforatore Lisbet, ove lo scalpello era sostituito da un succhiello elicoidale, posto in rotazione mediante una manovella. Ma l'apparecchio funzionava adeguatamente solo in rocce tenere, fibrose, duttili o facilmente frantumabili. Per rocce più dure fu Leschot che pensò ad utilizzare un perforatore costruito come lo scalpello a corona, dotato però, all'estremità, di un anello con incastonati *diamanti neri* con la funzione di *intaccare la roccia anularmente per sfregamento*. Il funzionamento era, anche in questo caso, manuale, ma De la Roche-Tolay e Traverdon lo implementarono presto in perforatrici meccaniche.

La perforatrice De La Roche-Tolay funzionava a pressione idraulica (12 atm), che assicurava sia la pressione contro la roccia che il moto di rotazione dello scalpello (250 giri/min). Lo strumento perfezionato da Traverdon, invece, era azionato dall'aria compressa. Scalpelli a corona o massicci con punta di diamante furono presto montati negli Stati Uniti su perforatrici meccaniche ad aria compressa, utilizzate in lavori di trivellazione, scavo di pozzi, ma sempre meno in gallerie, per le quali si rivelavano costosi a causa del consumo della corona rotante.

Buon successo ebbe nello scavo dei trafori di Sonnstien ed Arlberg la perforatrice Brandt. Costituita da un'asta cilindrica cava con corona dentata, veniva premuta sulla roccia, mentre due macchine a colonna d'acqua la

Affusto per 4 perforatrici utilizzato nella galleria del Turchino (da G.B. Biadego)





**Perforatrice Brandt a rotazione
(da C.Andreae)**

ponevano in rotazione. Veniva erosa una sezione anulare, mentre la demolizione del nucleo era completata manualmente a scalpello. La rotazione dello scalpello, la sua pressione contro la roccia e l'avanzamento erano ottenuti con acqua a elevata pressione (fino a 120 atm). L'affusto era costituito da una robusta colonna in ghisa (fissata alle pareti dello scavo a pressione idraulica), su cui si potevano montare 2 perforatori; dovendo operare con maggior numero di strumenti, le colonne idrauliche erano installate su un carrello a 4 ruote. L'efficienza di una perforatrice Brandt risultava essere superiore a 2-4 volte quella dei più potenti modelli proposti da Ferroux.

6. Applicazione dell'escavazione meccanica ai grandi trafori

6.1. I grandi trafori dell'Ottocento: scavo e smarino

La prima applicazione dell'escavazione meccanica nella realizzazione di un'opera sotterranea può essere fatta risalire al traforo delle Alpi Cozie o del Cenisio. L'interesse per un metodo meccanizzato di scavo era scaturito dall'opportunità di individuare una metodologia che coniugasse la rapidità di avanzamento (la velocità di scavo manuale poteva, all'epoca, essere stimata in 20-30 m al mese, in funzione delle condizioni operative) con l'efficacia della ventilazione dell'ambiente di lavoro, tenuto conto che risultava impossibile realizzare pozzi o finestre. I trafori potevano essere realizzati esclusivamente a foro cieco.

Le perforatrici meccaniche si prestavano ottimamente allo scopo. Su un affusto potevano essere montate fino a 8 perforatrici, avendo la garanzia di averne almeno 5 o 6 pienamente operative. Per realizzare tra 18 e 32 fori di 1,2-1,8 m il lavoro di perforazione

poteva essere ultimato in 2-5 ore con 6-8 perforatrici Ferroux o Mac Kean e Seguin e in 6-8 ore con 3 perforatrici Frölich. La meccanizzazione non eliminava la necessità di disporre in loco di manodopera adeguata. Anzi. Ogni perforatrice era azionata da un operaio, ed un altro operaio era richiesto per iniettare l'acqua nei fori; altri 2 operai a ogni lato dell'affusto regolavano la posizione delle macchine e l'immissione dell'aria, 2 manovali si occupavano del ricambio di scalpelli ed un caposquadra organizzava il lavoro. In tutto, per 4-8 perforatrici servivano 12-18 operai. Della rimozione dello smarino si occupava un'altra squadra costituita da 10-16 operai!

La decina di metri cubi di roccia frantumata dall'esplosivo poteva essere rimossa in vari modi. Nel tunnel del Gottardo furono utilizzati carri di 1,5-2 m³, utilizzando fino a 10 vagoni per ogni attacco. Nel Gottardo e nel Monte Cenere il trasporto del materiale avvenne con un solo binario e tramway laterale: sono stati realizzati un binario principale, dal fronte di attacco al deposito materiali esterno, ed un binario secondario di 30 cm destinato a far circolare un carrello basso e allungato recante le ceste riempite di detriti dagli operai. Accumulati i materiali demoliti nel tramway, il carrello veniva allontanato dal fronte di attacco e spinto indietro fino ai veri veicoli di trasporto, siti sul binario principale dietro l'affusto e i relativi accessori. Le ceste erano quindi scaricate sui vagoni. Per il Gottardo si rivelò necessaria una squadra di 14-16 operai per caricare 6-7 vagonetti in 2,5-3 ore. Successivamente, si preferì eliminare il tramway laterale e trasportare manualmente le ceste sino ai vagoni, dimezzando la necessità di manodopera e con forte riduzione dei tempi di lavoro (ma con un non trascurabile aumento della fatica).

Nel traforo dell'Arlberg il trasporto dei detriti è stato effettuato con binario unico, ma binario di scambio, realizzando un doppio binario a circa 40 m dal fronte di attacco, in cui far stazionare i vagoni per il trasporto del materiale demolito. Dopo la perforazione, l'affusto veniva portato dietro i vagoni nel binario secondario; effettuata l'esplosione, i vagoni venivano portati, uno dopo l'altro, presso il fronte di attacco e, una volta pieni, rientravano lungo il binario principale, mentre l'affusto poteva riprendere posizione. Tale operazione poteva essere effettuata con 7-9 operai in 3 ore (con risultati simili a Laveno).

Simile la soluzione con binario unico e binario morto. In questo caso, la movimentazione dei vagoni avveniva lungo il binario principale, mentre l'affusto –

dopo l'esplosione – liberava il fronte di attacco portandosi nel binario morto.

Poco applicata la variante del trasporto su due binari, perché tale da richiedere maggiori spazi di manovra ovvero vagoni più piccoli, che complessivamente riducevano l'efficacia del trasporto.

Nel tunnel di Cochem fu applicata una ulteriore soluzione operativa, costituita dal trasporto con binario principale servito da 2 tramway permanenti con vagoncini ausiliari. In questo caso, il binario principale (destinato allo spostamento dei detriti con vagoni di elevata capacità), presso il fronte di attacco si sdoppiava consentendo il transito di piccoli carri in 2 binari distinti; questi venivano retratti dopo il riempimento, ed issati in un cunicolo di calotta da cui erano rovesciati sui sottostanti vagoni del binario principale e dove sostavano sino al successivo ciclo di carico. Il metodo, pur garantendo una rapida evacuazione dei detriti (20 m³ in 2 ore), si rivelò in realtà adatto solo nei casi in cui lo scavo era eseguito mediante il metodo austriaco; dava luogo anche a numerosi problemi di manutenzione e risultava piuttosto costoso.

6.2. Rendimento del lavoro manuale e del lavoro meccanico

Le prime sostituzioni del lavoro manuale con il lavoro meccanico hanno evidenziato sin da principio i vantaggi insiti nei processi basati sull'automazione. L'avanzamento medio mensile, per ogni attacco, rilevato in alcuni grandi trafori, toglie ogni dubbio circa la preferibilità del lavoro meccanico: 60 m piuttosto che 20 m nel Cenisio, 95 m piuttosto che 20 m nel Gottardo, 100 m piuttosto che 35 m nel Monte Cenere, 143 m anziché 30 m per il Laveno, 170 m invece di 30 per Carrito-Cucullo... In pratica, il progresso consentito dal lavoro meccanico era di 3-5 volte quello garantito dall'opera manuale. Poiché tali analisi sono riferite agli scavi presso gli imbocchi, è chiaro che col procedere dello scavo, in un ambiente più difficile, il rendimento dello scavo manuale non poteva che essere inferiore.

La perforazione ad aria compressa offriva, poi, il vantaggio di garantire la ventilazione della galleria, aspetto fondamentale in gallerie lunghe, ove la temperatura soggetta a notevoli aumenti avrebbe compromesso la presenza umana.

In termini di costo, tuttavia, l'escavazione meccanica dei primi tempi non appariva così competitiva, perché l'economia di manodopera era compensata dai costi delle strumentazioni,

del loro esercizio e manutenzione, dal maggior consumo di esplosivo. Il costo dello scavo manuale era, sotto tali aspetti, la metà di quello richiesto da interventi meccanici. Considerando la celerità di esecuzione del lavoro, il risparmio di capitale impiegato durante il lavoro (più breve) e la più rapida messa in esercizio della via di comunicazione, si poteva però dedurre che il bilancio dei costi poneva le due soluzioni in parità, facendo comunque propendere – anche per ragioni tecniche – per l'opera meccanizzata.

6.3. Alcune realizzazioni

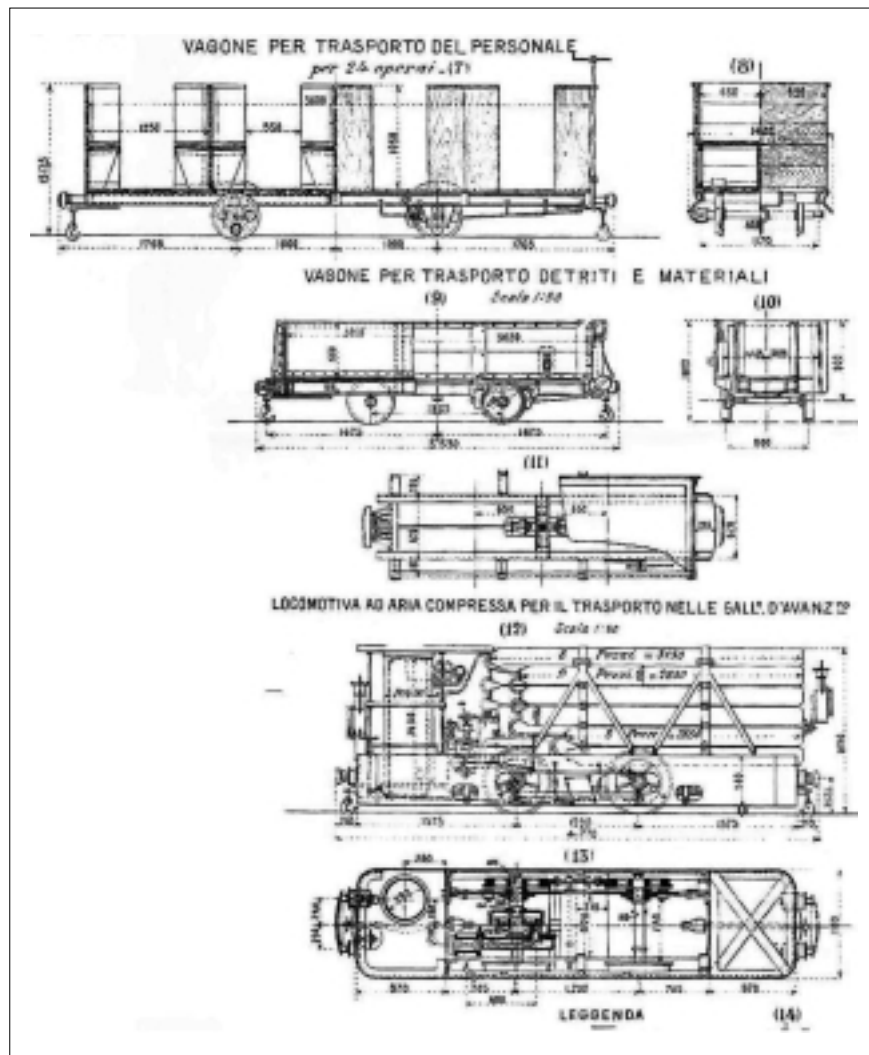
La galleria del *Fréjus (Moncenisio)*, lunga 13.636 m, tra Bardonecchia e Modane, fu costruita tra quota (di progetto) 1335,38 m s.m.m. (Italia) e 1202,82 m s.m.m. (Francia), con livellette di pendenza limite del 3,02 %, ad una profondità massima di circa 1610 m. La galleria ferroviaria era a due binari. Lo scavo fu eseguito con cunicolo di avanzamento al piano di base (di regolamento). I lavori iniziarono con il *metodo ordinario* nel luglio 1857, ed ebbero l'introduzione della perforazione meccanica (percuSSIONe Sommeiller ad aria compressa) nella galleria di avanzamento, poi estendendo tale tecnica allo scavo di tutta la sezione dell'imbocco sud, per accelerarne i tempi di esecuzione. I lavori furono completati il 17 settembre 1871. Le perforatrici utilizzate complessivamente furono 80 per il fronte di Bardonecchia e 50 per Modane, tutte del tipo Sommeiller, anche se in 3 versioni distinte: la prima fu rapidamente modificata, perché troppo pesante; la seconda, invece, fu utilizzata anche per il tunnel del Gottardo. L'affusto era uno scheletro di ferro portato da ruote, che poteva montare fino a 9 perforatrici. L'avanzamento garantito dalla perforazione meccanica risultò variabile fra i 358 m del primo anno dall'imbocco nord e gli 889 m del 1870 dall'imbocco sud, comunque mediamente superiore a 600 m/anno. L'allontanamento del materiale demolito fu affidato a cavalli e muli all'interno della galleria, con traino di vagoni fatti scorrere su binario a scartamento ordinario (solo negli ultimi tempi fu introdotto un locomotore presso l'imbocco sud). Fino a 2000 operai furono utilizzati per ogni imbocco del tunnel, con turni di 8 ore lavorative.

Negli anni 1879-1881 venne eseguita una variante di tracciato all'imbocco nord della galleria del *Fréjus* (1575 m), al fine di internare la linea nel nucleo sano della montagna, evitando la zona franosa che interessava lo sbocco. La

perforazione utilizzò, questa volta, macchine Ferroux (ultimo tipo) sostenute da affusti idonei a 6 dispositivi. La galleria del *San Gottardo*, lunga 14.984 m, tra Airolo e Göschenen, fu costruita tra quota 1145,12 m s.m.m. (Italia) e 1109,14 m s.m.m. (Svizzera), con livellette di pendenza massima dello 0,582 %, ad una profondità di 1700 m sotto la vetta del Kastelhorn. La galleria ferroviaria era a due binari. Lo scavo fu eseguito con la tecnica belga, a partire dai soli imbocchi. I lavori iniziarono con il *metodo ordinario* nel luglio 1872, ebbero l'introduzione del lavoro meccanico nel 1873 e furono completati il 30 novembre 1881. Lo scavo della calotta era eseguito meccanicamente, con attacchi simultanei (2 cantieri), riservando all'opera manuale la demolizione dello strozzo della calotta, subito prima della muratura della volta. La stessa tecnica fu da

principio applicata alla cunetta dello strozzo, ma poiché l'esplosione delle mine comprometteva la stabilità della volta, si procedette a interventi manuali, riservando all'escavazione meccanica un impiego limitato ai tratti di galleria ove la stabilità della roccia poteva consentire di posticipare la costruzione della volta in muratura all'allargamento di tutta la sezione. Per ogni fronte furono utilizzate complessivamente fino a 30 perforatrici, in parte provenienti dal traforo del *Fréjus* (in numero totale di 86). Inizialmente furono adoperate 16 perforatrici Dubois François, che però presto mostrarono i loro limiti: inadeguate per le rocce più dure, mancavano di un avanzamento automatico, perciò richiedendo l'opera di operai particolarmente abili. Il capo officina Ferroux propose, pertanto, una perforatrice realizzata sul modello Sommeiller, adoperata dal 1874 per il cantiere

Vagoni per il trasporto di operai, materiali e detriti, utilizzati nel traforo del Sempione (da G.B. Biadego)



nord, nella galleria di avanzamento (39 macchine); tutte le perforazioni eseguite dall'imbocco nord dal 1877 utilizzarono tale perforatrice in una nuova versione (fino a 83 macchine). All'imbocco sud trovò impiego la perforatrice Mac Kean (29 unità), dal 1876 modificata da Seguin (65 esemplari). Furono anche adoperati 32 affusti, diversamente strutturati, per poter montare le perforatrici dei diversi modelli usati. L'allontanamento del materiale demolito (1200 t al giorno nei due sensi) fu affidato a locomotori ad aria compressa, che apparvero più efficienti di una forza animale di 100 cavalli, ritenuta necessaria per il trasporto del materiale. Fino a 600 operai furono utilizzati per ogni imbocco del tunnel, con turni di 8 ore lavorative.

La galleria ferroviaria mono-binario di *Sonnstein*, lunga 1.428 m, tra Ebensee e Traunkirchen, fu costruita in Austria, tra 1876 e 1877, con livellette di pendenza massima dell'1,25 %, come parte integrante della Kronprinz Rudolfbahn. Lo scavo fu iniziato dai cunicoli di 2 finestre nel marzo 1876, e poi esteso ai due imbocchi, a partire dal piano di regolamento; lo scavo in calotta a distanza dall'avanzata, l'allargamento del profilo a tutta la sezione, l'applicazione di puntelli e il rivestimento in muratura furono eseguiti col sistema ordinario. La perforazione meccanica, di tipo Brandt, fu applicata nel gennaio 1877, quando si incontrarono calcari dolomitici compatti e calcari silicei con forti filtrazioni di acqua. Così si decise di usare una perforatrice a rotazione, mossa ad acqua compressa (75 atm), già utilizzata dall'ingegnere ideatore in alcuni esperimenti nel tunnel di Pfaffensprung. La particolarità del modello usato era il diametro del fioretto, pari a 80 mm, molto superiore a quello delle usuali perforatrici a percussione (fino a 35 mm); rispetto al lavoro a mano, che garantiva avanzate massime di 15 mm/min per diametri di 27 mm, si raggiungevano i 50 mm/min in calcari compatti, con diametri decisamente maggiori. In tutto furono usate 4 perforatrici, che si mostrarono altamente efficienti, al punto che al termine del lavoro erano ancora in ottime condizioni di impiego.

La galleria elicoidale ferroviaria a due binari di *Pfaffensprung*, lunga 1.460 m, nella linea di accesso nord alla galleria del San Gottardo, fu costruita tra 1878 e 1881, con livelletta unica di pendenza del 2,3 %. Lo scavo fu iniziato da sud con mezzi meccanici, cioè perforatrici Fröhlich a percussione ad aria compressa, per l'avanzata in calotta, e completata con perforatrici Brandt, nell'avanzata al piano di regolamento (più adeguate per scavo in rocce grani-

tiche).

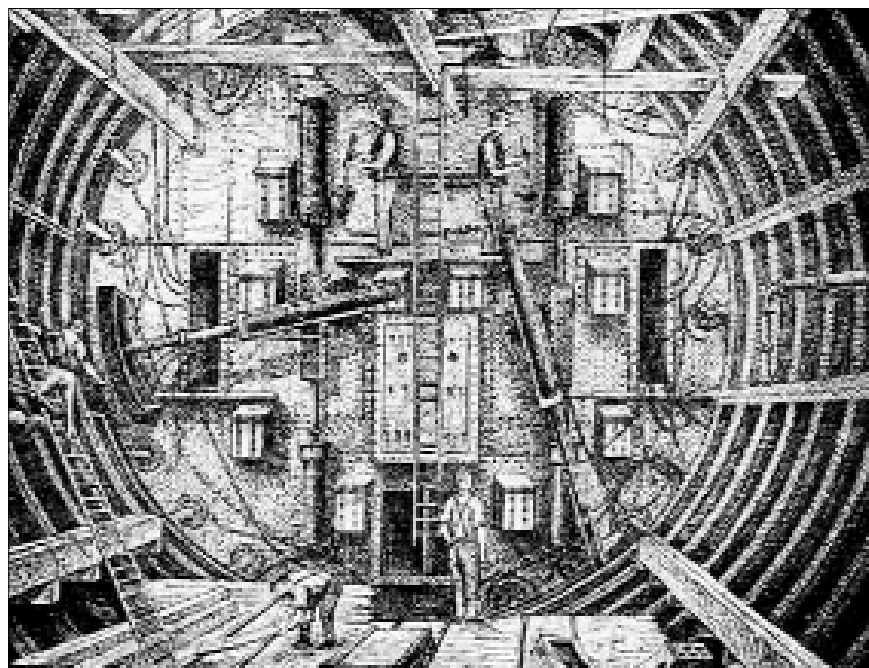
La galleria ferroviaria a un binario di *Laveno*, lunga 2.935 m, nella linea Novara-Pino, fu costruita tra 1881 e 1882, con livellette di pendenza massima dello 0,25%, fra quota 206,90 m s.m.m. e quota 209,60 m s.m.m. Lo scavo fu eseguito con mezzi meccanici (6 perforatrici Ferroux per 1 affusto) a partire dai due imbocchi (avanzata in basso, dal piano di regolamento).

La galleria ferroviaria dell'*Arlberg*, lunga 10.257 m, tra il Tirolo tedesco e Voralberg (lago di Costanza), fu costruita tra quota 1302,40 m s.m.m. (St. Anton) e 1216,84 m s.m.m. (Langen), con livellette di pendenza massima dell'1,5 %, sotto la vetta dell'Arl nelle Alpi tirolesi. Lo scavo fu eseguito con lavoro ordinario a foro cieco, senza attacchi intermedi. I lavori iniziarono nel giugno 1880, e solo nel novembre dello stesso anno iniziò il lavoro meccanico negli avanzamenti, cui solo fu destinata tale soluzione operativa; tutti gli altri abbattimenti furono eseguiti manualmente. All'imbocco est si usarono 6-8 perforatrici Ferroux, all'imbocco ovest 2-4 macchine Brandt, con risultati confrontabili e soddisfacenti. I due avanzamenti si incontrarono il 10 novembre 1883 e 6 mesi più tardi fu ultimato lo scavo della galleria. L'allontanamento del materiale demolito (2500 t al giorno nei due sensi) fu affidato a braccia d'uomo nella tratta in costruzione, a locomotori Krauss di 10 t *ad alimentazione a riscaldamento intermittente*, e

funzionanti all'esterno come locomotive ordinarie, entro tunnel come locomotive senza fuoco, nella tratta realizzata. Il treno rimorchiato si componeva di 40 carri vuoti a cassa e 12 carri piatti carichi di materiale in entrata, che si riempivano/svuotavano al ritorno. Fino a 900 operai furono utilizzati, con turni di 12 ore lavorative.

La galleria ferroviaria a 2 binari del *Turchino*, lunga 6.448 m, tra Mele e Campoligure, fu costruita nella linea Genova-Ovada-Asti, tra 1889 e il 1894, con livelletta unica di pendenza dell'1,2 %. Lo scavo fu eseguito dagli imbocchi e da un pozzo (Masone) prima manualmente, poi con mezzi meccanici, con avanzata superiore, e successivo scavo di cunetta di strozzo e avanzata inferiore. La perforazione meccanica fu eseguita all'imbocco sud con macchine Blanchod e Segala, all'imbocco nord con macchine Ferroux e Seguin, poi Segala. Quest'ultima attrezzatura si distinse per la particolare robustezza, che ne rese possibile un utilizzo per ben 51 giorni senza riparazioni; la spesa giornaliera di manutenzione oscillò fra le 21,70 Lire della perforatrice Blanchod (che risultò variamente difettosa) e le 9,40 Lire della Segala. I fioretti in acciaio furono duramente sollecitati dalla durezza dei banchi rocciosi incontrati; in un solo mese del 1890 ben 200 fioretti furono inviati in riparazione per una perforazione di calcescisti. L'intervento manuale si esplicitava nella presenza di due squadre di operai per ogni

Scavo con il metodo dello scudo, prime applicazioni (da R. Legouéz)



perforazione: una di meccanici costituita da 9 operai, una di marinieri composta da 18 persone. Il numero medio giornaliero di uomini operanti in galleria risultò variabile fino a 688 unità all'imbocco sud (con 100 addetti alla perforazione); 61 addetti operavano all'esterno. In tutto, 1248 operai erano utilizzati fra i due imbocchi e il Pozzo Masone, con turni compresi fra 6 e 12 ore a seconda dell'ambiente di lavoro. L'affusto con le perforatrici era movimentato a mano fino al fronte di attacco, lungo un binario. Il trasporto delle rocce demolite era eseguito inizialmente a mano, poi con cavalli entro le gallerie; locomotive a vapore furono utilizzate all'esterno, a partire dal 1892.

La galleria ferroviaria a 1 binario del *Cremolino*, lunga 3.408 m, tra Molare e Prasco-Cremolino, fu costruita anch'essa nella linea Genova-Ovada-Asti, tra 1889 e il 1892, con livellette di pendenza massima dell'1,6 %. Lo scavo fu eseguito dagli imbocchi e da 2 pozzi, prima manualmente, poi con mezzi meccanici, con avanzata superiore. La perforazione meccanica fu eseguita con macchine Ferroux, particolarmente efficaci anche se soggette a frequente manutenzione, e dispositivi Mac Kean-Seguín, dal maggior rendimento. Il numero medio giornaliero di uomini operanti nello scavo risultò prossimo a 560 unità.

La galleria ferroviaria dell'*Albula*, ad 1 binario a scartamento ridotto, lunga 5.866 m, tra Preda e Spinas, fu costruita nella linea Chur-St. Moritz della rete retica (nel Cantone dei Grigioni), tra 1898 e il 1903, con livellette di pendenza massima dell'1 %. Lo scavo fu eseguito in gran parte con mezzi meccanici, con galleria di direzione al piano di formazione. Furono utilizzate perforatrici Brandt a rotazione mosse ad acqua compressa (fino a 120 atm), disposte a gruppi di 3 per affusto, necessarie per avanzare in rocce granitiche molto dure, con vene di quarzo. Numerosi furono i problemi occorsi in fase di costruzione (forti filtrazioni, con venute d'acqua sino a 300 l/s), tant'è vero che l'avanzata, seppure con mezzi meccanici, fu raramente superiore ai 200 m/mese. Il numero medio giornaliero di uomini operanti nello scavo risultò piuttosto elevato, soprattutto nel 1902, quando si richiese la presenza anche di 1300 unità lavorative al giorno.

La galleria ferroviaria del *Sempione*, lunga 19.731,80 m, nella linea Ginevra-Domodossola tra Briga e Iselle, fu costruita tra 1898 e 1905, con livellette di pendenza massima del 2,5 %, attraverso le Alpi Pennine, sotto il massiccio del Monte Leone (3518 m s.m.m.).

Prevista a doppio foro, con singolo binario, la galleria doveva essere scavata con avanzamento di base, utilizzando perforatrici Brandt in numero massimo di 4 (per imbocco), con pressione d'acqua fino a 100 atm; altre 4 dispositivi erano destinati ad avanzate in calotta o per realizzare gallerie trasversali. Complessivamente, in cantiere rimasero 23 perforatrici, di cui 12 operative, ed 8 affusti, di cui 4 di riserva. Il trasporto di manodopera e materiali era previsto mediante vagoni (max. 75) trainati da locomotori a vapore di 16 t (a cardiff, poi coke), dimensionati in modo da produrre fumo e calore nel tunnel in quantità ridotta rispetto all'effetto disperdente della ventilazione interna. In un secondo tempo fu previsto l'uso di locomotori ad aria compressa (15 atm) di 6 t, dall'autonomia di 2 ore. Attentissime le disposizioni igieniche previste per gli operai. Il numero medio di operai utilizzati nella realizzazione del tunnel raggiunse un massimo di 800 unità in corrispondenza dell'imbocco nord, con turni di 8-10 ore.

7. Lo scavo dei grandi trafori nel Novecento

Nell'Ottocento, lo scavo dei grandi trafori è stato affidato primariamente alla forza umana, cui è stato fornito il sussidio meccanico delle prime perforatrici, via via affinate in dispositivi sempre più potenti, efficaci ed affidabili. Nel secolo successivo, lo sforzo dei tecnici del tunnelling è stato orientato, oltre che a perfezionare ulteriormente le tecniche di escavazione disponibili, anche e soprattutto a sviluppare nuove metodologie, idonee ad operare in sicurezza nei terreni più difficili e nelle condizioni ambientali più diversificate. Ovviamente, con l'obiettivo primario di incrementare il rendimento dell'avanzamento.

Classificare le numerose tecniche moderne di scavo non è semplice, anche perché la perforazione, lo smarino, il rivestimento della galleria hanno perso la loro fisionomia di operazioni univocamente definite, e divengono invece fasi simultanee e concatenate di un solo processo, che si sviluppa ancora col concorso della manualità e, soprattutto, delle macchine.

Taluni Autori sono soliti classificare le tecniche di tunnelling sulla base dell'efficacia che esse garantiscono agli effetti della stabilità dell'ammasso scavato, distinguendo fra metodologie di *precontenimento*, *contenimento* e *presostegno*, che possono risultare *conservative* o *migliorative*. A seconda dell'effetto stabilizzante del fronte, pre-

ventivo o correttivo, che si intende produrre, si presenta la scelta fra macchinari ed attrezzature dalle varie potenzialità.

In occasione di opere da realizzare in ammassi con tempi di autosostentamento brevi, o in presenza di vincoli idraulici, la meccanizzazione dei lavori si basa frequentemente sull'uso dello *scudo*. Come è noto, si tratta di un'armatura metallica rinforzata (usualmente cilindrica, ma la forma può essere ormai qualsiasi: a ferro di cavallo, rettangolare) che protegge ed arma la sezione di scavo, fatta avanzare mediante un sistema idraulico contestualmente all'abbattimento del fronte. Una *visiera di taglio* protegge la camera di lavoro, mentre una *codà* consente la simultanea messa in opera dei conci del rivestimento.

Lo scudo può essere adoperato in qualsiasi terreno, purché sufficientemente omogeneo, ed anche in ambito urbano. La sua adozione offre numerosi vantaggi: consente lo scavo con qualsiasi attrezzatura si voglia adottare, recando il minimo disturbo all'ammasso perforato; permette di adoperare attrezzature diverse secondo le necessità operative; riduce i sovra-profili; permette di scavare, asportare il materiale e costruire il rivestimento in rapida sequenza e massima sicurezza. Presenta alcuni limiti, determinati innanzitutto dal costo di investimento, che ne rende – di norma – ingiustificato l'impiego per gallerie brevi (meno di 1 km); non è adoperabile per diametri molto elevati di perforazione (si hanno scudi anche di 10-12 m, ma si opera preferibilmente con diametri pari alla metà); pone obblighi alla forma della sezione e al tracciato piano-altimetrico dello scavo, costringendo a curvature piuttosto piccole.

Oggi esistono scudi aperti, manuali, meccanizzati o blindati a lame; scudi chiusi meccanizzati; scudi a pressione bilanciata del fronte (a terra o fanghi ad alta densità); idroscudi. La demolizione del fronte può essere affidata ad un escavatore, ad una fresa a braccio brandeggiabile (ad attacco puntuale) o ad una fresa a piena sezione, la quale (TBM), se le circostanze lo consentono, può opera re anche senza protezione. In quest'ultimo caso, la forma e la dimensione degli utensili di taglio o *cutters* può essere varia (rulli, lame, bottoni...).

La metodologia tradizionale di perforazione e sparo (*drill & blast*), cui ampio spazio si è dedicato nella presente relazione, ha subito negli ultimi 50 anni notevoli progressi: dall'applicazione del servosostegno per alleviare l'intervento degli operatori (metodo svedese), all'introduzione del *jumbo* semo-

vente con perforatrici pesanti, dal jumbo con perforatrici idrauliche superveloci, al jumbo robotizzato su cui presumibilmente si baseranno le applicazioni future. Rispetto alle strumentazioni che hanno fatto la storia dei trafori dell'Ottocento, si può ormai contare su macchine azionate da un solo operatore che, mediante computer può programmare la posizione e l'inclinazione dei fori, la velocità e profondità di perforazione, la pressione di avanzamento e/o percussione. Il lavoro meccanico in galleria può anche essere affidato a martelli demolitori oleodinamici, ad escavatori idraulici, ripper, rocksplitter... per i quali l'intervento umano è ancora necessario.

In tempi relativamente recenti, si sono anche sviluppate tecniche di scavo che permettono di abbinare la perforazione alla costruzione del rivestimento con procedure semi-automatiche, come il pre-taglio meccanico, il pre-tunnel, il jet-grouting, i metodi del casero estraibile, dell'arco cellulare, ecc. In conclusione, si può osservare che la meccanizzazione e l'automazione del lavoro tolgono, giorno dopo giorno, spazio crescente alla manualità degli operatori, cui si richiede una specializzazione sempre più spinta ed una preparazione sempre più funzionale all'utilizzo di attrezzature-robot. Certamente, ciò costituisce la giusta evoluzione del tunnelling, che per le applicazioni ingegneristiche dei tempi moderni non può che richiedere procedure costruttive sicure, affidabili, ad alta efficienza ed elevato rendimento. Tuttavia, in tempi in cui l'automazione del lavoro costituisce una necessità,

non si può dimenticare il contributo fondamentale che la manodopera umana ha dato al sorgere ed all'affermarsi del tunnelling quale principio di progettazione e costruzione delle infrastrutture viarie.

Bibliografia

AA.VV. (1991) – *Il Tunnel sotto la Manica; studi, progetti, realizzazione*. Rivista L'Ingegnere, n. 1-4, Bologna, Tipolit. Labanti & Nanni.AA.VV. (1990) – *Les travaux souterrains en France*. AFTES
AA.VV. International Tunnelling Association / Società Italiana Gallerie (1986) – *Atti del Congresso Internazionale su Grandi Opere Sotterranee*. Voll. I e II. Firenze, Tip. Il Sedicesimo.
AA.VV. Istituto Internazionale delle Comunicazioni (1964) – *Atti ufficiali del Simposio Internazionale dei grandi trafori stradali*. Genova, Saga Ed.
Ajraghi F. (1870) – *Il traforo delle Alpi Cozie*. Il Politecnico, Giornale dell'Ingegnere Architetto civile ed industriale, n. 3-4, Milano, Tip.Lit. degli Ingegneri
Andreae C. (1948) – *Les grands souterrains transalpins*. Zurigo, S.A. Leemann Frères & Co. Ed.
Bardout G., Berny P. (1954) – *La construction des tunnels, galeries et souterrains*. Parigi, Ed. Eyrolles
Biadego G.B. (1906) – *I grandi trafori alpini (Fréjus, San Gottardo, Sempione) ed altre gallerie eseguite a perforazione meccanica*. Voll. 1 e 2. Milano, U. Hoepli Editore.
Boltschausez G.A. (1864) – *Il Monte Cenisio e il traforo delle Alpi*. Il Politecnico, repertorio mensile di studi applicati alla prosperità e coltura sociale, Luglio, Milano, Ed. Politecnico
Boutté M. (1902) – *Le matériel et les procédés de l'exploitation des mines*. Parigi, E. Bernard & Cie Imprimeurs-Editeurs
Bringiotti M. (1996) – *Guida al Tunnelling, l'arte e la tecnica*. Parma Ed. PEI
Hudry-Menos (1871) – *Le Tunnel des*

Alpes. Losanna, H. Mignot Ed.
Kirkland C.J. (1992) – *Engineering the Channel Tunnel*. Bury St. Edmunds, Suffolk, E&FN Spon
Lauchli E. (1915) – *Tunnelling*. New York, McGraw-Hill Book Company Inc.
Legouëz R. (1897) – *De l'emploi du Bouclier dans la construction des souterrains*. Parigi, Baudry et Cie Ed.

Ministere de l'Equipement et du Logement (1970) – *Dossier pilote des tunnels*. Bron, Organe Technique Regional de Lyon / Service des Tunnels.
Ministero della Guerra/Ispettorato dell'Arma del Genio (1942) – *Istruzione sui lavori di mina e sugli esplosivi*. Roma, La Libreria dello Stato.
Philippe R. (1900) – *Le Bouclier et les Méthodes nouvelles de percement des souterrains*. Parigi, C. Béranger Ed.
Piatti G.B. (1855) – *Proposta per la strada ferrata tra Susa e Modane di un sistema di propulsione ad aria compressa da motori idraulici*. Torino, Tip. Castellazzo e Garetti
Piatti G.B. (1872) – *Il traforo del Cenisio, rivendicazione*. Milano, Tip. F. Vallardi Ed.
Richardson H.W., Mayo R.S. (1941) – *Practical tunnel driving*. New York, McGraw-Hill Book Company Inc.
Richardson H.W., Mayo R.S. (1953) – *Pratique du percement des tunnels*. Parigi, Dunod Ed.
Rossi T. (1889) – *Gallerie, pozzi e cunicoli*. Torino, Tip.Lit. Camilla e Bertolero Ed.
Stabilini G. (1886) – *Lezioni sulla costruzione delle gallerie*. Bologna, Tip. Gamberini e Parmeggiani.
Stéphani P. (1919) – *Les Tunnels des Alpes*. Parigi, H. Dunod & E. Pinat Ed.
Széchy K. (1966) – *The art of tunnelling*. Budapest, Akadémiai Kiadó
Treves M. (1864) – *Sulla perforazione meccanica delle gallerie ferroviarie ed in particolare sul gigantesco traforo delle Alpi Cozie detto del Moncenisio*. Venezia, Tipografia del Commercio Ed.

Le gallerie nella prospettiva geografica

Giovanni M. P. De Santis

Premessa

L'aspirazione dell'uomo è sempre stata quella di raggiungere le varie mete prefissatesi nel minor tempo possibile, di conseguenza ha sempre cercato nuove tecnologie per attuare tale proposito, come dimostrano tuttora i tanti manufatti che ci sono giunti dal passato, come ponti per attraversare fiumi o gallerie per evitare di scavalcare aspre montagne.

Il presente intervento tende a focalizzare la sua attenzione proprio sulle gallerie che, insieme agli aspetti architettonici, ingegneristici, di tutela ambientale o di riorganizzazione di quanto è stato rovinato per la loro realizzazione, presentano valenze di chiaro interesse geografico per le notevoli ripercussioni che hanno sul paesaggio, sulla distribuzione territoriale dell'uomo, sull'attivazione di nuove correnti di traffico o sulla perdita di importanza di centri, a volte determinando addirittura l'abbandono e la fine demografica di alcuni di loro. Tutto ciò per-

ché la realizzazione di una qualsiasi opera dell'uomo che viene ad inserirsi in una già preesistente realtà geografica tende a modificare quest'ultima nella sua essenza, fino a permettere la nascita di una nuova realtà, di una nuova tipologia insediativa, in breve, di un nuovo paesaggio, perché, alla trasformazione iniziale dell'ambiente fisico, subentra quella demografica, economica, sociale...

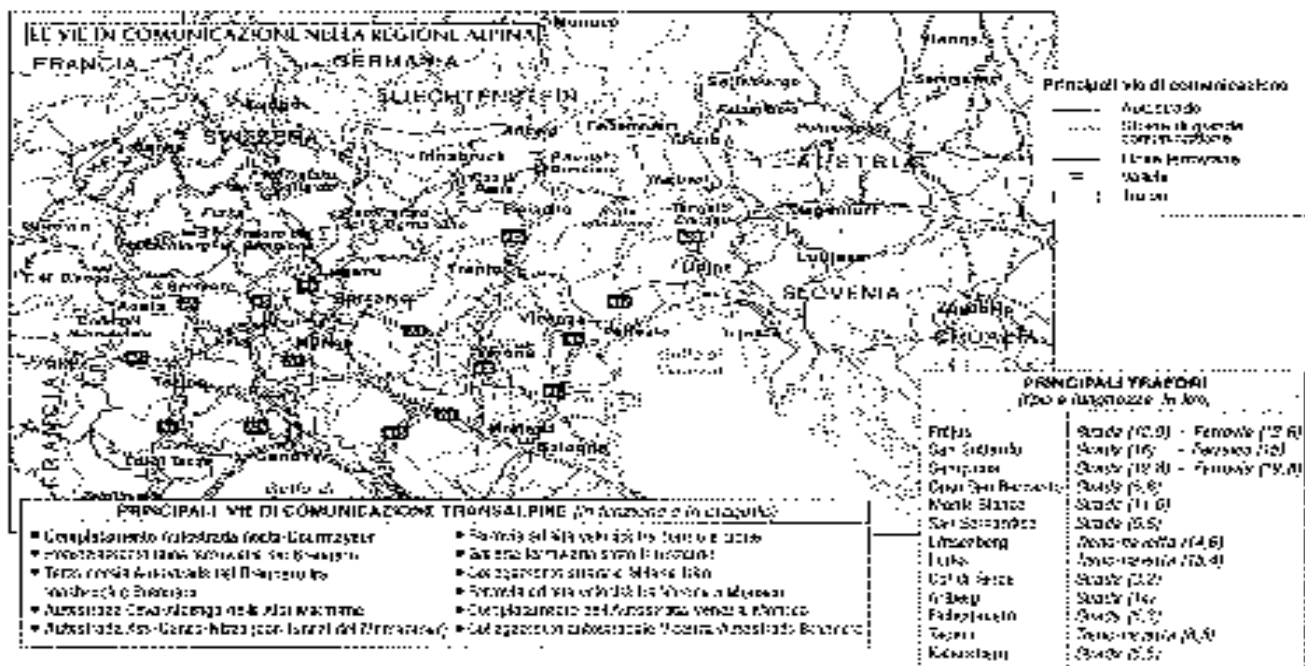
Le problematiche innescate dalle gallerie

Fatta questa breve e doverosa premessa, il presente contributo si focalizzerà soprattutto su due tipi ben precisi di gallerie, quelle ferroviarie e quelle stradali, anche se va detto che ne esistono molteplici altri tipi come quelle realizzate all'interno dei centri urbani al fine di velocizzare e migliorare la percorribilità cittadina in aree spesso fortemente compromesse dall'eccessivo traffico, senza dimenticare la fitta rete di gallerie utilizzate dalle metropolitane, quelle che permettono lo smaltimento dei rifiuti, quelle per gli interventi di manutenzione, quelle per il passaggio di cavi e tubazioni, pur così importanti per la nostra vita quotidiana o anche quelle minerarie... che, però,

esulano dalle finalità di quest'incontro. Va, inoltre, precisato che, pur essendo simili, le problematiche innescate per ogni tipo di gallerie, siano esse stradali, ferroviarie o altre, non sono assolutamente uguali per i riflessi che, come vedremo, possono avere sull'ambiente circostante a livello, ad esempio, d'inquinamento, sicuramente più forte quello stradale rispetto a quello ferroviario, specie dopo l'introduzione massiccia dell'elettrificazione, Un tracciato ferroviario o stradale comporta di sovente la creazione di opere d'arte atte a migliorare le condizioni di percorribilità di un determinato percorso e, in questo contesto, s'inserisce molto opportunamente la realizzazione di gallerie in quanto permettono di accorciare la lunghezza del tracciato riducendo drasticamente i tempi di percorrenza, favorendo una circolazione più rapida, rimuovendo ostacoli talvolta invalicabili.

È anche vero che, comunque, ogni nuova opera dell'uomo si inserisce nella realtà geografica preesistente modificandola nella sua essenza di base, tanto da dar vita ad una realtà del tutto nuova. Avviene in tal modo una trasformazione in primis dell'ambiente fisico, ma anche degli ambienti demografico, insediativo, economico,

Principali vie di comunicazione e principali trafori nella regione alpina (Scala di 1:5.000.000) (da R. Bernardi, M.L. Pappalardo, S. Salgaro, V. Vantini, Professione Georeporter, Bergamo, Atlas, u.e.)



1 Nella rete dei trasporti diventa sempre più rilevante la presenza di tunnel, tanto che oggi in Italia ne esistono ben oltre 1.200 sulla rete stradale ANAS, in quella autostradale vi sono ben 150 km di gallerie, mentre in quella ferroviaria ve ne sono 1.200 km con 34 tunnel lunghi più di km 5, cui si devono aggiungere 80 km di linee metropolitane in aree urbane. Inoltre intorno a questo settore strategico dell'economia italiana ruotano circa 2.500 aziende che danno lavoro a circa 17.000 addetti (www.tunnel-and-perforazioni.it/news/).

Prof. Giovanni De Santis - Dipartimento di Discipline Storiche, Artistiche e Geografiche dell'Università degli Studi di Verona.

sociale... In questo contesto la qualità e la funzionalità delle infrastrutture viarie ha un ruolo di primaria importanza per lo sviluppo qualitativo e quantitativo dell'economia in genere e del trasporto in particolare. Ed allora la realizzazione di gallerie comporterà valutazioni non solo progettuali -parte questa di stretta competenza dei tecnici- per ciò che deve essere², ma soprattutto per quanto andranno ad incidere, proprio perché avulse, sull'intero contesto dell'ambiente fisico nel quale le strutture vengono artificialmente inserite. Infatti, come ben dimostra la geografia, il territorio oggetto di intervento, dopo l'inserimento della galleria diventa una realtà diversa dalla precedente e che quindi necessita di essere "aiutato" a ritrovare una sua nuova realtà equilibrata, nella quale vengono ad inserirsi sia le valenze positive indotte dal manufatto, sia quelle negative.

In questo contesto, dovrebbe essere più opportuno attuare non tanto una Valutazione di Impatto Ambientale che spesso tiene conto soltanto dell'aspetto fisico, senza interessarsi della presenza dell'uomo e delle sue molteplici implicazioni, quanto di un Bilancio



L'ingresso del traforo del Fréjus. Galleria a doppio senso di marcia

Ambientale perché, come è noto e come da anni sostiene anche il Collega R. Bernardi, l'ambiente non è solo quello fisico, ma interessa una realtà molto complessa, frutto di molteplici componenti, tra le quali un posto di

rilievo spetta a quelle umane, che vanno fortemente ad interagire con il substrato fisico, determinando notevoli mutamenti nel contesto territoriale preesistente (ciò può essere chiaramente dimostrato anche dal linguaggio

L'ingresso delle due gallerie del traforo del Gran Sasso



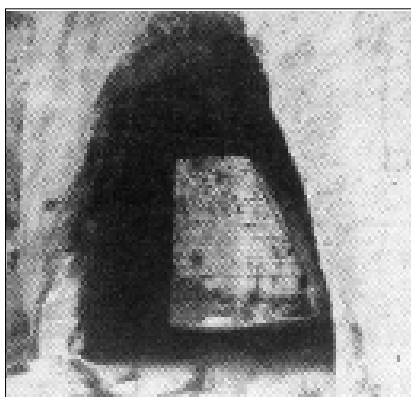
Sguardo d'insieme della profonda forra scavata dal Candigliano nell'area del Furlo.

² Non si possono dimenticare i problemi più importanti come quelli della sicurezza nella mobilità che ha alla base la necessità di interventi globali e coordinati, in termini che interessano pianificazione, progettazione, costruzione, manutenzione, sistemi di controllo, tecnologie dei mezzi di trasporto, preparazione ed educazione dell'utente.

³ Ben diversa è stata, invece, la situazione che, ad esempio, si riscontra nelle vallate dolomitiche, dove la presenza di ampi fenomeni di transfluenza ha facilitato enormemente la possibilità di comunicazioni con evidenti maggiori contatti tra gli abitanti di aree vicine pur divise da montagne.

⁴ La struttura morfologica italiana che presenta a nord la barriera delle Alpi e lungo la penisola la catena appenninica, ha condizionato notevolmente le comunicazioni terrestri per la necessità di realizzare infrastrutture tali da permettere un rapido ed agevole transito, specialmente per ferrovia a causa dei problemi presentati dall'impossibilità di superare forti dislivelli; a questa situazione va, inoltre, aggiunta la necessità di instaurare e consolidare i rapporti con il resto del continente. Senza dubbio, quindi, un ruolo importante riveste la realizzazione di gallerie, i cui lavori si possono far risalire alla metà del secolo XIX, dal momento che nel 1854 fu aperta al traffico la galleria dei Giovi, una delle prime e per molti anni anche la più lunga, avendo un percorso di 8.294 metri che, sulla linea Firenze-Bologna, univa le valli Polcevera e Scrivia.

In questi stessi anni, alla fase progettuale (1.841) seguiva anche la realizzazione, tra il 1.857 ed il 1.870, del traforo del Fréjus che fu aperto al traffico il 16 novembre 1871. La galleria, lunga m 13.636, mette in comunicazione la Val di Susa in Italia con la Val d'Arc in Francia e le stazioni di Bardonecchia e Modane. Secondo traforo alpino in ordine di tempo è quello del San Gottardo, interamente in territorio svizzero, ma di estrema necessità anche per le comunicazioni italiane, collega Airolo nel Canton Ticino con Göschenen in quello di Uri. Il tunnel, lungo m 15.003 e il cui scavo fu iniziato nel 1.882, venne aperto al traffico il 1 gennaio 1882 su entrambi i binari ed utilizza il tracciato della linea Bellinzona-Basilea. L'ultimo esempio che si riporta, tra i numerosissimi realizzati sia in Italia che nel mondo, è quello del traforo del Sempione che, costruito sotto il M. Leone (m 3552), rappresenta ancora oggi la galleria più lunga del mondo grazie ai suoi m 19.825. Ideato fin dal 1852 per collegare l'Italia alla Svizzera, unendo le stazioni di Iselle e Domodossola nella valle dell'Ossola nell'alto novarese con quella di Briga localizzata nel Cantone Vallese, il traforo fu realizzato mediante la costruzione di due tunnel separati monobinario, di cui il primo inaugurato nel febbraio del 1905 ed il secondo completato nel 1.921.



Viewuta attuale della galleria del Furlo scavata in epoca romana

della gente comune che fa riferimento ad ambienti di vario tipo, quali quelli marini o mantani in ambito fisico, sociale, politico, insediativo...).

Riflessi geografici della presenza di gallerie

Per quanto riguarda gli aspetti positivi innescati dalla presenza di gallerie domina il superamento delle barriere, soprattutto orografiche, con conseguente nascita e sviluppo di una nuova struttura demografica, economica e sociale, soprattutto nelle aree poste agli imbocchi del manufatto -rappresentate dalle stazioni per quelle ferro-

viarie e dai caselli d'imbocco per quelle sulla viabilità veloce-, dove tendevano a concentrarsi le varie attività che via via saranno inevitabilmente sottratte alle zone precedentemente attraversate dagli assi di comunicazione, ormai abbandonati. Proprio questa situazione innesca, però, il fenomeno dell'isolamento in cui vengono, di contro, lasciate le plaghe fino a quel momento vitalizzate dalle importanti vie di comunicazione che avevano permesso la nascita e la crescita degli insediamenti e dei sviluppi di settori economici al servizio dell'infrastruttura viaria. La stessa ubicazione degli abitati risente di questa nuova situazione in quanto la preesistente articolazione territoriale la trama economica risultano ora quasi del tutto modificate. È, ad esempio, il caso di tanti piccoli o medi centri che avevano una chiara funzione rapportata alla presenza dell'infrastruttura viaria, ma che rischiano l'abbandono una volta realizzato il nuovo tracciato che li isola dal contesto della circolazione. Inoltre, non va dimenticato il turbamento che tali infrastrutture possono arrecare all'ambiente fisico, e non solo a quello circoscritto alla ristretta area direttamente coinvolta dalla realizzazione della galleria, in quanto gli effetti si rifletteranno soprattutto sulle realtà demografico-insediative ed economiche. I territori privi di tali infrastrutture, sia che si tratti di gallerie ferroviarie che di gallerie stradali permettono una distribuzione degli uomini e delle attività produttive dettata dalle condizioni morfologiche e consona alla storia evolutiva dello stesso territorio. L'orografia accortate è, però; da sempre stata una barriera che ha portato a scarsi scambi tra gli abitanti delle vallate, rinchiudendo all'interno di ciascuna il proprio sviluppo (lo dimostrano chiaramente le varie culture che si sono sviluppate autonomamente nelle Alpi)³. Tali problemi di collegamento si erano già evidenziati in epoca romana e talvolta sono stati risolti con opere di notevole ingegno come la Galleria del Furlo sulla Via Flaminia (222-220 a.C.), voluta dal console Gaio Flaminio per superare il torrente Candigliano. Con il miglioramento e l'applicazione di tecnologie più avanzate, si è fatto un maggior uso di queste infrastrutture, a partire dalle grandi gallerie ferroviarie⁴ realizzate nel XIX-XX secolo (Sempio-

Principali aspetti delle gallerie nel territorio		
	Positivi	Negativi
Ambito fisico	<ul style="list-style-type: none"> - consolidamento terreni - utilizzazione delle acque - eliminazione dell' inquinamento nelle aree circostanti 	<ul style="list-style-type: none"> - fragilità dei versanti - sconvolgimento delle falde freatiche e del reticolo idrico superficiale e profondo - concentrazione dell' inquinamento in aree ristrette e ben individuate
Ambito demografico insediativo	<ul style="list-style-type: none"> - collegamento di comunità prima "lontane" - miglioramento e reciprocità nell'uniformizzazione dei modelli di vita 	<ul style="list-style-type: none"> - isolamento e decadimento dei centri prima attraversati dalla viabilità ordinaria - fuga della popolazione
Ambito economico	<ul style="list-style-type: none"> - aumento degli scambi fra aree prima lontane - velocizzazione dei trasporti (diminuzione della distanza economica) - risparmio - recupero di "naturalità" nelle aree prima attraversate dalla viabilità ordinaria 	<ul style="list-style-type: none"> - perdita di privilegi dei centri "saltati" - perdita di attrattività dei centri "saltati" - degrado delle colture ed economico in generale - costi di ripristino e di gestione delle aree circostanti
Ambito geografico	<ul style="list-style-type: none"> - vantaggi più del lontano che del vicino alla struttura viaria - vantaggi più a livello generale (macroscala) che a livello locale (microscala) - creazione di una realtà sia del vicino che del lontano, quindi, nascita di un territorio "costruito" necessitante di numerose e nuove logiche di gestione 	

⁵ È il più importante traforo delle Alpi Occidentali, lungo 12.895 metri, collega l'Italia con la Francia.

⁶ Lungo 5.854 metri e inaugurato nel marzo del 1964, collega Aosta con la Svizzera ed è riservato al transito delle sole autovetture.

⁷ Il tunnel, lungo 16.918 metri, che collega con la Svizzera, viene inaugurato il 5 settembre 1980 e assume subito un'importanza notevole, tanto che solo un anno dopo, nel 1981, vede il transito di 3 milioni di autoveicoli, saliti nel 2001 a 7 milioni, di cui 1,5 milioni di mezzi pesanti. Ancor prima dell'incidente e della conseguente devastazione si parlava di un suo raddoppio, cosa non ancora avvenuta.

⁸ Aperto al traffico il 27 settembre 1993, presenta due gallerie autonome ed ha una lunghezza di circa 10 km.

⁹ Fin dal 1969 si è assistito ad una continua fuoruscita d'acqua che dai 700 litri/secondo iniziali è arrivata fino ai 20.000 litri/secondo, che, oltre a causare innumerevoli incidenti, anche mortali ed il completo allagamento delle gallerie, hanno determinato l'abbassamento della falda freatica di circa 600 metri



L' interno del traforo del Monte Bianco dopo i lavori di ristrutturazione

ne, Frejus, Gottardo...) cui sono seguiti i grandi trafori autostradali (Fréjus⁵, Gran San Bernardo⁶, M. Bianco, San Gottardo⁷, San Bernardino, Gran Sasso d'Italia⁸ ...). Tutto ciò ha permesso di implementare i contatti economici e gli scambi di merci, di uomini, di idee tra Stati vicini, moltiplicando i rapporti, ma nel contempo ha creato, nelle singole plaghe, situazioni nuove e non sempre migliori di quelle preesistenti.

Tuttavia non mancano riflessi negativi come lo stravolgimento del reticolo idrico sotterraneo, il forte abbassamento dei livelli delle falde freatiche, la diminuzione, spesso cospicua, delle portate dei corsi d'acqua superficiali, che spesso si alimentano proprio con le acque sorgive poste ai piedi dei massicci. Non si deve dimenticare, poi,

che questi interventi possono creare problemi di stabilità per lo stesso manufatto, oltre che per l'area circostante, cui vanno ad aggiungersi quelli intrinseci alle stesse gallerie - come la necessità di avere una costante aerazione dell'interno, di smaltire i gas di scarico dei veicoli, l'introduzione di sistemi di allarme in caso di eventuali incidenti e di incendi...-.

Va, inoltre, ricordato che la galleria può avere anche utilizzazioni diverse da quelle viarie e, per la sua posizione all'interno di alte montagne e, quindi, per l'assenza di interferenze dal mondo esterno, può garantire, per esempio, condizioni ottimali per esperimenti scientifici, come è successo per il Laboratorio Nazionale di Fisica Nucleare impiantato all'interno delle gallerie del Gran Sasso d'Italia, tanto che

ora si progetta la realizzazione di una terza galleria per rendere autonomo il complesso rispetto alla struttura autostradale, anche se non mancano forti proteste da parte delle popolazioni locali.

Un ultimo aspetto che dovrebbe far riflettere sulla realizzazione non solo delle gallerie, ma delle grandi opere in genere, come sta dimostrando anche la TAV o le grandi centrali per l'energia o le stesse vie di comunicazione, è quello dell'enorme disagio provocato nei terreni circostanti a seguito dell'apertura del cantiere, dello smaltimento dei materiali di scavo, non di rado inquinanti, che, data la loro quantità necessitano di amplissime discariche. L'apertura di un cantiere comporta lo stravolgimento della vita di quel territorio, dovuto all'abbandono per anni dei terreni che potrebbero essere coltivati, alla presenza di un forte inquinamento da polveri che può raggiungere, in presenza di venti, anche zone vicine, nonché all'incessante inquinamento acustico provocato dai macchinari in funzione.

Per concludere, è necessario, però, ricordare che le gallerie, pur presentando molteplici aspetti negativi e positivi, come viene ben evidenziato nell'allegata tabella, rappresentano, in ultima analisi, oggi più che ieri, una soluzione ottimale per il miglioramento e la velocizzazione dei trasporti, con relativa maggiore economicità, aspetti questi dai quali si può sempre meno prescindere, in un mondo come quello attuale che tende a cambiare in rapidissima sequenza e nel quale è diventato assolutamente prioritaria la necessità di scambi veloci, quando non sia possibile farlo in tempo reale.

Il tunnel nella costruzione del paesaggio urbano e territoriale

Roberto Sordina

Premetto che la mia relazione non avrà un dato quantitativo, né affronterà problemi di costo, così come forse i relatori precedenti hanno trattato e ai quali mi spiace di non potermi collegare. Sarò probabilmente in solitudine nel mio dire, ma spero che questo mi sia perdonato.

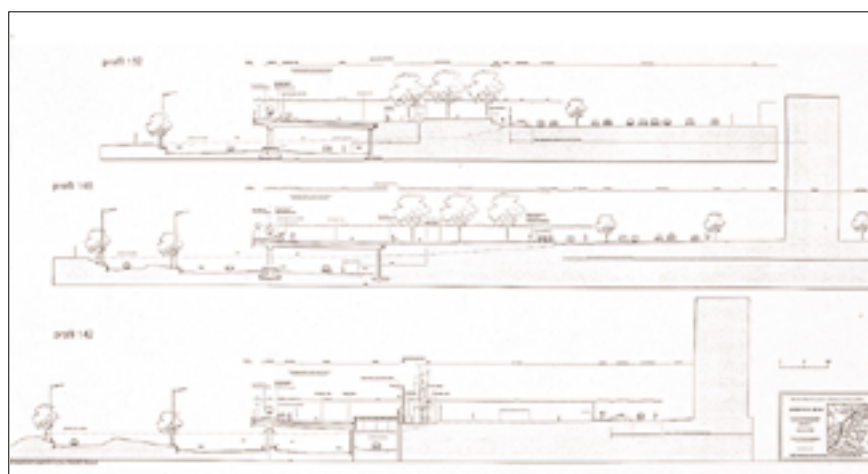
Ho sentito però le ultime parole del prof. Bernardi, alle quali posso riferirmi con l'animo, la mente e la cultura di un architetto, cioè di colui che pensa alla strada non solamente come un fatto tecnico, un elemento funzionale di connessione breve, economica e utile fra due punti, ma di colui che vuole ricollegarsi a una tradizione – forse più lontana nel tempo – nell'affrontare il problema della costruzione di una strada.

Il prof. Bernardi ci insegna che non c'è, ormai, nessun luogo della terra – eccetto, forse, qualche luogo africano o australiano – dove i processi di antropizzazione non si siano consolidati fortemente e dove, conseguentemente, non ci si trovi di fronte a paesaggi che non siano opera dell'uomo, dove la natura, ormai, non sia stata sostituita largamente dall'intervento umano: sempre più di fronte a noi stanno paesaggi antropizzati e non naturali, poiché la natura è stata piegata e modellata dall'uomo.

Fatta questa breve considerazione, vorrei subito richiamarvi su che cosa significhi una strada.

Una strada è certamente un fatto tecnico: deve cioè essere un momento di sintesi altissima, in cui i saperi tecnici della costruzione si coniugano con altre tecniche. Ma la tecnica della costruzione è solo uno dei tanti elementi che concorrono alla realizzazione di un paesaggio: pensate, ad esempio, a quanto abbiamo perso in questi ultimi secoli - e soprattutto in questi ultimi decenni - rispetto alla ritualità celebrativa di un tempo, quando si tracciava una strada. L'agrimensore puntava all'alba la sua groma sul terreno ed attendeva che sorgesse il sole, cioè che Zeus illuminasse la groma: solo allora si incominciava a tracciare la strada, una strada, intesa anche come un fatto fondativo e sacrale.

Non penso si possano deridere queste considerazioni, ma piuttosto che si



Patrik Duguet, Boulevard Intercommunal, Parigi 1993 - 2002 - Sezioni



debba riflettere: perché altrimenti andiamo allo sbandò, così come finora, a mio avviso, siamo andati allo sbandò. Si sono create condizioni di benessere, si sono localizzate le industrie, si sono fatte le strade, ma il caos in cui viviamo è grandissimo, così come il disagio fisico e intellettuale. I nostri paesaggi, quelli che ci identificano culturalmente, dove sono ormai?

Dobbiamo quindi riconoscere che la tecnica è qualcosa di più complesso e che nella riflessione tecnica dobbiamo introdurre sia la ricerca di equilibri tra gli apporti disciplinari che il desiderio di qualità estetica.

Quando viaggiamo all'interno delle nostre città antiche ci troviamo in paesaggi di grande bellezza, ma fuori dalla città murata essa si perde, perché non

vi è più una cultura in grado di dare dignità agli spazi, non vi è più quella capacità interdisciplinare di pensare in modo alto, immersi, come i tecnici sono, nella loro solitudine disciplinare.

E qui potrei chiudere, perché il mio intervento potrebbe consistere solo in una perorazione: ma vorrei mostrarvi alcuni esempi, nei quali il senso di questa perorazione è stato assunto.

Vi mostro l'immagine – quasi consumata dal tempo – di un tunnel che forse tutti abbiamo attraversato: il tunnel di Melide sull'autostrada del Gottardo. Ha partecipato alla costruzione di quest'autostrada un architetto, Rino Tami, chiamato a operare quando il progetto era già stato eseguito, perché un politico intelligente, Franco Zorzi, aveva condiviso, da lettore, le polemiche

P. Bonnet, P. Bosson, A. Vaucher e altri, copertura dei binari CFF, Ginevra 1992 - 2001



I binari prima della copertura

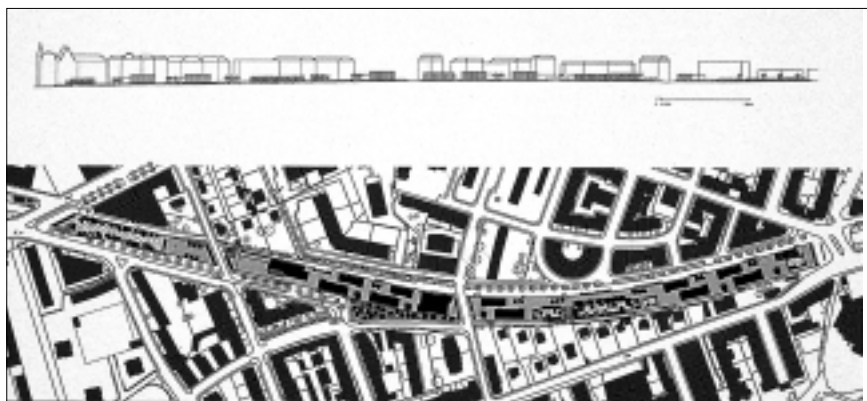


I servizi urbani realizzati sulla copertura dei binari

che che Bruno Zevi, nel 1960, accese sul settimanale "L'Espresso" a proposito del tratto autostradale Bologna-Firenze. Noi italiani eravamo orgogliosi di quel tratto autostradale, ma Zevi lo criticava perché le opere erano eterogenee e non in grado di farsi interpreti del paesaggio. Gli italiani erano orgogliosi degli elementi costruiti, così come lo erano i tecnici, mentre Zorzi chiese a Tami di affrontare il progetto di questa autostrada per evitare quanto era già successo da Firenze a Bologna.

Tutte le opere precedentemente progettate furono rivisitate da Tami: così, ad esempio, le grandi macchine per il trattamento dell'aria divennero opere di architettura, che mitigano, segnano e commentano il paesaggio. A Bissonne, la linea d'ombra che segna il lungo muro di contenimento è una linea d'ombra ricercata, voluta: la strada era stata disegnata, inizialmente, con un muro secco, duro, mentre questa linea d'ombra taglia, snellisce, alleggerisce. Si tratta di cose apparentemente semplici, realizzate a posteriori su una strada già tracciata, sulla quale l'architetto opera cercando di mitigare costruendo, che ci dimostrano come queste opere di antropizzazione possano non essere atti di violenza ma, come le cattedrali e le abbazie, segnino in modo positivo la presenza dell'uomo nel territorio.

Dopo l'opera di Tami - che ha ormai quarant'anni - vi mostro quella di una persona che lo ebbe tra i maestri: Flora Ruchat Roncati. Si tratta del segmento di una nuova autostrada, in corso di



Pianta e sezione dell'intervento

realizzazione - in Svizzera, nel Jura - la Transjurane: un grande lavoro interdisciplinare, al quale sono chiamati gli architetti, perché il progetto non sia ridotto alla definizione tecnica dell'opera, ma sia inteso come elemento di costruzione del paesaggio.

Quali sono i temi della costruzione architettonica? I portali di accesso alle gallerie, i camini di espulsione dell'aria e soprattutto questa valle, compresa fra le colline, che diventa una grande architettura, un luogo costruito dall'uomo, con manufatti che impreziosiscono il paesaggio come grandi fatti plastici. (E ricordiamoci - e chi lavora lo sa - che una cosa bella costa come una cosa brutta, o anche meno, che una cosa ben fatta costa molto, molto meno di una cosa mal fatta, perché nella costruzione è necessario pensare anche ai costi successivi, alla manutenzione.)

È opportuno riflettere su questi segnali dell'intelligenza e della capacità di creare e di costruire dell'uomo. Ora entriamo nella valletta. Il modello mostra i punti in cui il viadotto attraversa la valle: gli ingressi e le uscite del segmento autostradale sono segnati dai manufatti in cui si collocano le macchine, pensati come grandi doccioni che incanalano l'acqua, creando bacini con situazioni microclimatiche. Alcuni tipi di animali, assenti da questo luogo, hanno cominciato a ripopolare gli stagni dove l'acqua viene raccolta da grandi doccioni. In tutta l'opera si coglie una grande intenzionalità di costruire, di modellare, di plasmare il territorio ed è questo il livello al quale occorre portare la progettazione dei manufatti infrastrutturali.

Vediamo ancora la grande ciminiera posta sulla collina: i contadini mi raccontavano - quando sono andato a



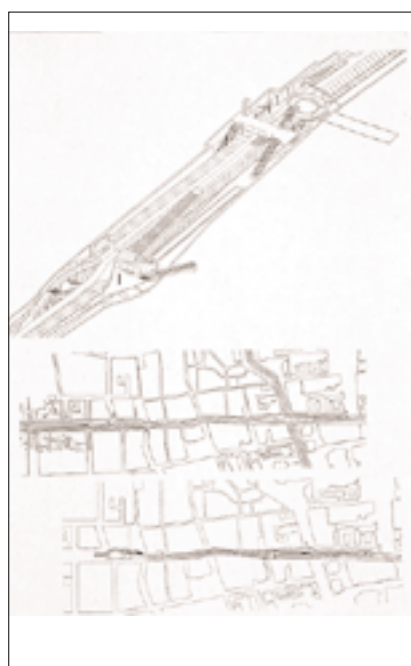
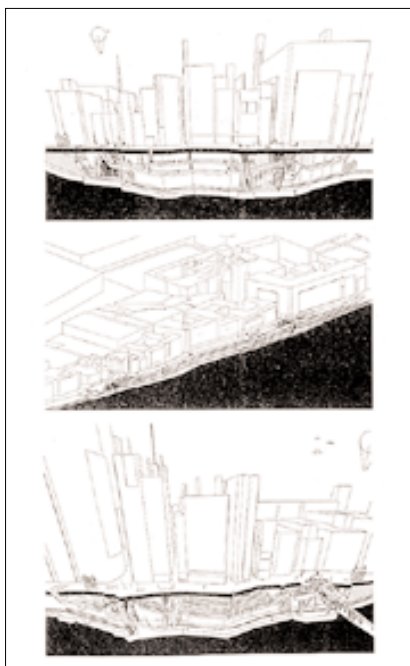
Pierre Bonnet e altri, copertura del tratto urbano di linea ferroviaria, Ginevra.

scattare questa fotografia – che questa collina è diventata un punto di osservazione, una specola ambita, affacciata sui paesaggi del Jura.

Passiamo dai grandi paesaggi aperti ai contesti urbani. Amsterdam è una città che sta vivendo processi di trasformazione grandiosi e vede utilizzati i vecchi moli portuali anche come spazi residenziali per la propria espansione.

L'amministrazione si è posta l'interrogativo di come congiungere gli spazi residenziali nuovi, che si costruiscono sui moli, con il centro e i luoghi dell'alta specializzazione e del commercio, rafforzando la scelta fondamentale di ostacolare ogni forma di indiscriminata espansione urbana: il tunnel – disegnato da un architetto famoso sulla scena europea, Ben Van Berkel – diventa un elemento importante della

Rem Koolhaas OMA, L'Aia, The Souterrain.



costruzione della città. I due elementi che marcano la scena urbana sono edifici metallici che ne chiudono l'orizzonte, nient'altro che i luoghi che contengono le macchine per il trattamento dell'aria: oggetti estetici concepiti con una grande intenzionalità figurativa. La città è il luogo dove la società si rappresenta; e la società, le società si sono sempre rappresentate attraverso opere.

Questa è un'altra esperienza formidabile, un altro tunnel olandese, che il suo autore, Rem Koolhaas, ha discusso, perché ha avuto la dignità e il coraggio di rifiutare l'opera realizzata in modo difforme dal suo progetto. Quest'opera ha un significato nella costruzione della città, perché L'Aia non può espandersi nel territorio: l'amministrazione ha quindi concepito la crescita urbana come aumento di densità. Si è pensato di aumentare la densità di L'Aia di 500.000 mq di nuova superficie calpestabile e per conseguire questo obiettivo sono stati predisposti trenta grandi progetti, elaborati da gruppi selezionati per le loro capacità professionali, cioè per le prestazioni tecniche ma anche per l'invenzione necessaria ad interpretare i nuovi bisogni della città. Il progetto di Koolhaas circonda il centro de L'Aia mediante una strada con parcheggi e risolve il problema dell'immissione nella città antica di mezzi pesanti con un tunnel. Questo manufatto è costituito da segmenti stradali ipogei che intersecano le fermate della metropolitana e che contengono servizi e parcheggi: così la città viene circondata e lasciata integra, portando la viabilità meccanica e le attrezzature ad essa connessa in strutture ipogee.

Sempre ad Amsterdam, nella zona sud, un'opera di un gruppo di architetti si propone di impedire che i grandi fasci infrastrutturali ledano la città, separandone le parti: storicamente le strade sono sempre state elementi di unione, mentre i grandi fasci infrastrutturali si pongono oggi come barriere di separazione. Nella sua genesi, il complesso fascio infrastrutturale è stato progettato alternativamente in trincea, in viadotto o in tunnel: l'opzione per la terza soluzione ha consentito l'utilizzazione delle superfici sovrastanti l'infrastruttura come nuovi parti urbane. Nella grande carenza di aree disponibili – che non è solo delle città olandesi, ma di molte città europee – occorre ridurre il consumo di suolo: il sormonto dei grandi fasci infrastrutturali con platee consente alla città di svilupparsi secondo i propri modelli insediativi e di progettare l'insieme nella sua globalità, proponendo sinergie tra fasci infrastrutturali e spazio urbano. Anche que-



M. Corajoud, Giardini Wilson sulla copertura dell'autostrada, Plaine Saint Denis, Parigi



Flora Ruchat Roncati, camini di espulsione dell'aria lungo l'autostrada Transjurane

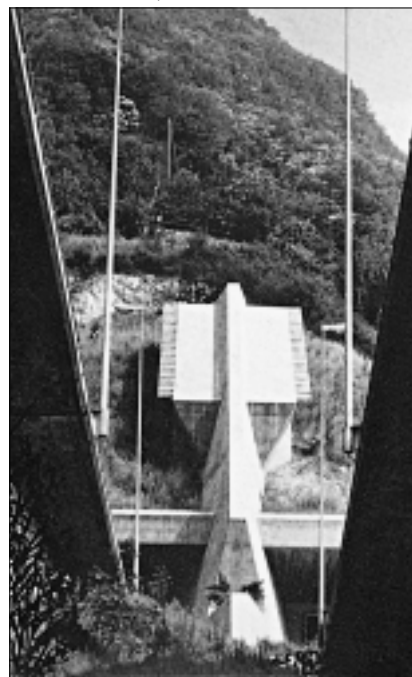
sta è una grande lezione di metodo.

Pensando al problema dei tunnel e dell'utilizzazione – nella costruzione della città – del tunnel stesso come elemento di unione, vedremo nel caso di Ginevra l'opera di un giovane architetto, Pierre Bonnet (vincitore, seppur giovanissimo, di un concorso). A Ginevra si è deciso di coprire il tratto urbano centrale della linea ferroviaria per riunire una parte della città e per dare alla zona attraversata dalla trincea - ora posta in tunnel - i servizi e le attrez-

zature mancanti: la trincea diventa piazza e luogo di attrezzature urbane, divenendo occasione di rinnovamento della città e dell'immagine urbana, delle sue attrezzature e dei servizi. Sono state concepite case e strutture per rispondere al fabbisogno abitativo e consentire agli abitanti di ingrandire le proprie case con stanze e laboratori all'interno degli edifici costruiti.

A Parigi un progetto in corso di realizzazione propone la copertura di una

Copertura dei vani macchine per il trattamento dell'aria, autostrada del Gottardo



grande infrastruttura come occasione per creare zone verdi: l'infrastruttura è coperta da una semicopertura, sopra la quale sono realizzati giardini ed aree per i quartieri contermini. Un altro esempio interessante, sempre a Parigi, è nella piana di Saint Denis, attraversata dalla strada reale che dal centro di Parigi porta all'abbazia dove sono sepolti i re di Francia; col tempo è divenuta una zona industriale e in occasione dei campionati mondiali di calcio è stato creato il famoso stadio di Francia, che ha stimolato il problema della reinfrustrutturazione di un'area industriale dismessa. La piana oggi è attraversata dall'autostrada Paris-Lille: il progetto è stato elaborato da un gruppo di architetti coordinati, tra i quali abbiamo professionisti di notevole fama come Lyon e Corajou. Il caso è interessante perché l'autostrada diventa un grande giardino, elemento di connessione e di riqualificazione di una delle aree anche socialmente degradate di Parigi: la creazione del tunnel è stata concepita come un'occasione di rifondazione di una parte rilevante di una grande città capitale. Vediamo viali, padiglioni, elementi accessori, luoghi di sosta: è quasi impensabile pensare che, al di sotto, ci sia una delle arterie di traffico più importanti di Francia.

Vorrei concludere riflettendo che le tecniche, le competenze per la costruzione delle infrastrutture, richiedono necessariamente maggiore umiltà, grande interdisciplinarietà e il riconoscimento che la strada è uno degli elementi fondativi nella costruzione della città e del paesaggio, uno dei grandi monumenti della contemporaneità, che non può essere pensata solo come nastro percorribile, ma come grande fatto tridimensionale. E se il problema della tridimensionalità è forse coglibile nella città costruita, ben più complesso è pensare allo spazio, alla tridimensionalità nel territorio, perché si tratta di affrontare il problema della fisicità della costruzione del paesaggio.

Chiudo con questo, sperando che le istanze di un architetto che si interessa di progettazione architettonica, che affronta ogni giorno i problemi della costruzione della città, possano essere compresi in questa sessione di studi e di dibattito che vede presenti molti tecnici con i quali il colloquio si può sviluppare. Altrimenti tutte le nostre iniziative – utili, necessarie, doverose – invece di trasformarsi in segni positivi, rischiano di divenire fatti se non negativi, certamente "neutri", cioè occasioni perdute.

La scelta del percorso in galleria come contenimento dell'impatto ambientale

Federico Pasquali

Introduzione

Propongo in particolare l'esperienza che deriva dalla cultura della terra in cui sono nato ed opero che è l'Alto Adige – Sudtirolo od il Tirolo in generale, ma il ragionamento può evidentemente essere allargato per analogia a tutto o quasi l'arco alpino.

In questi territori la questione ambientale assume una valenza forte e specifica, per la peculiare ricchezza e delicatezza del contorno ambientale e per il suo essere parte del più generale ecosistema alpino.

Si può senz'altro affermare che in generale si è realizzato uno straordinario equilibrio tra l'ambiente e l'uomo, dove le culture delle popolazioni insediate hanno elaborato raffinate strategie di rapporto ambientale, tali da garantire la sopravvivenza e l'evoluzione dell'habitat umano in condizioni naturali e complesse con significativi risultati di conservazione/trasformazione delle risorse naturali originarie.

Pur in presenza di fenomeni di degrado e di sfruttamento delle risorse naturali, l'insieme ambientale formato dal paesaggio naturale alpino (Naturlandschaft) e quello del paesaggio costruito, soprattutto di carattere agrario

tradizionale (Kulturlandschaft), che caratterizzano il nostro territorio alpino, rappresenta in sé una delle più grandi e preziose risorse non riproducibili.

In queste aree si sono ottenuti dei risultati importantissimi sotto il profilo ambientale inseguendo una politica che da un lato evitasse lo spopolamento della montagna e dall'altro permettesse comunque il necessario sviluppo economico.

Per esempio, in provincia di BZ, la presenza ed il mantenimento anche con elevati costi sociali, dell'istituto del maso chiuso o comunque di un'agricoltura di montagna, ha evitato lo spopolamento della montagna garantendo con ciò la presenza del principale artefice della protezione ambientale. Ancora oggi il tasso di produttività dell'agricoltura è pari al 16% veramente considerevole se si pensa alle radicali riduzioni che si sono avute nelle regioni con termini.

È interessante osservare come tale modello, certamente unico in tutto l'arco alpino, si sia basato su uno straordinario equilibrio fra tutte le espressioni della economia in particolare della agricoltura, industria e terziario.

Sempre a titolo di esempio il modello sudtirolese è stato quindi finalizzato a:

- conservare il radicamento territoriale della popolazione, disincentivando i processi di concentrazione urbana, ma garantendo contemporaneamente un forte livello di infrastrutturazione e questo è un principio da mantenere;

- privilegiare il settore agricolo ed il

turismo come espressioni principali e portanti dell'economia locale, senza peraltro trascurare i settori economici, industriali ed artigianali;

- produrre il massimo di equipontenzialità e di integrazione dello sviluppo economico promuovendo il turismo e l'artigianato di servizio a gestione familiare come attività territorialmente diffuse e sostenendo prioritariamente l'agricoltura di alta montagna evitando ogni forma di esodo della popolazione;

- generare benessere diffuso e pace sociale attraverso la gestione dei processi economici;

- garantire un uso parsimonioso del suolo attraverso un buon controllo amministrativo;

- esercitare un forte protezionismo ambientale praticamente attento alla conservazione del paesaggio tradizionale come fondamento del quadro politico istituzionale.

Nell'arco alpino sia a livello puntuale che in contesti più ampi, chiunque operi nel settore delle infrastrutture deve misurarsi con la problematica ambientale come prioritaria anche a volte agli aspetti economici.

Ed in questo ragionamento entra di diritto il concetto dello spazio sotterraneo come nuovo utilizzo del territorio e quindi le scelte di nuovi percorsi in galleria come contenimento dell'impatto ambientale oserei dire diventano scelte obbligate.

Di conseguenza in questi ambienti si può ammettere che la scelta di un percorso in galleria difficilmente diviene

Nuova linea ferroviaria Verona - München

München - Verona	Accesso Nord	Traforo	Accesso Sud	Totale
Lunghezza km	164,8	55,2	188,6	408,6
Di cui in galleria km	54,8	54,7	127,4	235,8
% in galleria	33%	99%	68%	58%

Linea accesso Sud	Lunghezza km	Di cui in galleria km	Percentuale
Provincia di Bolzano	76,3	62,0	81,2%
Provincia di Trento	66,1	32,2	48,6%
Provincia di Verona	46,2	33,2	71,9%
Totale	188,6	127,4	68%

ing. Federico Pasquali - professionista con studio di progettazione a Bolzano

un'opzione, ma è determinata in primo luogo dalla necessità di superare ostacoli geomorfologici, spesso in alternativa a percorsi di maggiore lunghezza, spesso per gli obblighi che la scelta di un tracciato impone, molto spesso perché non esistono alternative possibili.

Quindi la conclusione è che in ambiente alpino la scelta di un percorso in galleria è preferibile in quanto viene ad ammettere sicuramente un minore contenimento dell'impatto ambientale anche perché è scontato che la scelta del percorso in galleria è stata resa necessaria da esigenze che hanno in generale impedito o quasi una simile preferenza nei confronti di un percorso all'aperto.

Il discorso in generale non è sempre vero quando invece ci si trova in zone anche in ambiente alpino per cui la morfologia del terreno ammette soluzioni alternative. In questo caso bisogna stare molto attenti a cogliere i veri effetti di carattere ambientale per cui a volte può essere vero il contrario.

Brevemente con riferimento ad uno studio di impatto ambientale relativo ad un percorso sia stradale che ferroviario, si ricorda che ogni valutazione deve comprendere l'analisi, il più possibile sintetica ed a grande scala, di un complesso di parametri che ne devono definire le caratteristiche i cui principali sono:

- **geologia ed idrogeologia** (drenaggio dei corpi idrici sotterranei e danni alle utenze idriche preesistenti; in fase di esercizio, persistenza del drenaggio dei corpi idrici sotterranei e loro modifica definitiva; occupazione di aree per la discarica; subsidenza da crollo degli scavi; geomeccanica delle rocce con riferimento ai metodi di avanzamento);
- **rumore e vibrazioni**: è uno dei settori verso i quali la sensibilità è maggiore e comprende la valutazione del grado di inquinamento acustico, prima e dopo l'intervento, con differenti scenari di traffico, la previsione delle misure di mitigazione quali barriere e quant'altro;
- **vegetazione** comprendendo in essa anche l'agricoltura, flora, fauna ed ecosistemi (con riferimento allo studio degli ecosistemi in particolare); inquinamenti con particolare riferimento a quello acustico più puntuale e a quello atmosferico più generale;
- **paesaggio** con lo studio degli aspetti relativi al paesaggio in quanto tale, in rapporto anche alle condizioni che hanno prodotto la sua evoluzione, attraverso l'analisi delle caratteristiche morfologiche e topografiche della qualità visiva del contesto

ambientale;

- **urbanistica ed assetto territoriale**: con la ricerca delle interferenze rispetto alle previsioni contenute negli strumenti urbanistici vigenti e alle relative modifiche in termini di occupazione di terreno;

cantierizzazione con la individuazione delle modifiche di carattere ambientale temporanee e definitive conseguenti alla fase di costruzione.

- **l'analisi di tipo socio economica** per la valutazione degli interessi dell'opera nei confronti della comunità, con riferimenti alle varie alternative presenti.

La linea di accesso sud al tunnel di base del Brennero

Descriverò come esempio un tracciato ferroviario di grande attualità, ovvero la nuova linea ferroviaria di accesso sud al Brennero, con riferimento in particolare ad alcune problematiche di carattere ambientale che hanno determinato al tempo grandissima discussione (e polemiche).

Infatti ciò che si è verificato durante lo sviluppo dello studio corrisponde a quanto precedentemente descritto, almeno per quanto riguarda la Provincia di Bolzano.

A questo proposito, devo ricordare che il sottoscritto ha fatto parte del Consorzio di Progettazione Brennero (CPB), con responsabilità limitata all'Alto Adige, e quindi mi soffermerò nella descrizione un po' più dettagliatamente sulla tratta altoatesina anche perché rappresenta un esempio di evidenti contrapposizioni di ragionamenti sul tema percorso in galleria come contenimento dell'impatto ambientale.

Per il tratto successivo mi limiterò, a titolo di pura informazione, a descrivere lo sviluppo del tracciato fino a Verona in modo più generico.

Premetto ancora che lo studio menzionato fa riferimento al cosiddetto studio di fattibilità 1993, che fa seguito al primo studio di fattibilità del tunnel del Brennero del 1987. Anche in questo caso il tracciato deve essere riadeguato alle nuove esigenze progettuali, in particolare conseguenti allo sviluppo progettuale del traforo del Brennero e allo sviluppo del sistema alta velocità.

Credo interessi sapere che a tale scopo è stato di recente istituito un gruppo di lavoro del quale fanno parte i rappresentanti del Ministero Infrastrutture, delle Ferrovie, delle Province di BZ, TN, VR e la Regione Veneto. Tale gruppo ha il compito di sviluppare

le attività necessarie per riadeguare l'intero progetto o studio di fattibilità 1993, individuandone inoltre i lotti funzionali prioritari.

Questo anche per affermare che ciò che descriverò come tracciato sarà evidentemente oggetto di alcune modifiche nel giro dei prossimi due anni.

Più in generale, la tratta di accesso sud fa parte del complessivo progetto di quadruplicamento della linea Monaco Verona. La parola può trarre in inganno, in quanto in realtà è da progettare e realizzare una nuova linea a traffico misto interconnessa con quella esistente con caratteristiche di alta capacità e con standard di velocità allora previsti pari a 250 km/h per i treni viaggiatori e 160 km/h per il traffico merci.

Sempre nello studio 1993 il potenziamento della linea era finalizzato per raggiungere nell'intero corridoio una capacità finale di 400 t/g così suddivisi:
80% treni merci
20% treni passeggeri

Tale scelta derivava o forse è meglio dire deriva, in quanto il ragionamento credo sia ancora valido, dalla mancanza di presupposti di mercato che consentano il finanziamento di una infrastruttura per soli viaggiatori o sole merci. Se così non si operasse si rinuncerebbe ad una flessibilità di esercizio che solo due linee a doppio binario interconnesse possono consentire.

Ciò ha effetti positivi nei confronti di:

- capacità complessiva;
- sicurezza e regolarità dell'esercizio;
- sinergia di utilizzazione degli impianti con conseguenti minor volume delle infrastrutture da realizzare;
- minore complessità dei piani di manutenzione.

Diamo adesso alcuni numeri:

La linea di accesso sud si sviluppa per un totale di 189 km così suddivisi:

- Provincia di Bolzano 76,3 Km di cui 62,0 km in galleria (81,2%);
- Provincia di Trento 66,1 Km di cui 32,2 km in galleria (48,6 %);
- Provincia di Verona 46,2 Km di cui 33,2 km in galleria (71,9%);
- Totale : 189,9 km di cui 127,4 km in galleria (68%).

A questi dati vanno aggiunti i km in galleria del tunnel di base (circa 55) e i km relativi alla linea di accesso nord (ca. 165 km di cui 54 in galleria), per cui l'intera tratta Monaco Verona si sviluppa per un complessivo km 408, di cui il 58% in galleria.

La linea di accesso sud riveste

un'importanza strategica fondamentale nell'ambito del potenziamento della complessiva tratta, in quanto la realizzazione del solo tunnel del Brennero, assolutamente necessaria, da sola non consentirebbe quel salto di qualità a livello di esercizio e capacità, nonché ambientali che ci si attende. È necessario sviluppare parallelamente almeno dei lotti prioritari della tratta di accesso sud, per ottenere quella alta capacità di linea che tutti si attendono in considerazione della ormai delicata situazione del trasporto su strada attraverso il Brennero (autostrada A22 intasata etc..).

I numeri sopra elencati, con riferimento in particolare alle percentuali in galleria, danno già l'idea di quanto affermato precedentemente quando si dice che in ambiente alpino il percorso in galleria diventa senza alternative anche e soprattutto per contenere l'impatto ambientale.

Immaginiamoci cosa significherebbe un tracciato all'aperto (tunnel di base escluso) quando questo si sviluppa all'interno di valli relativamente strette e con un territorio di fondovalle già fortemente antropizzato.

Nel caso specifico, almeno per quanto riguarda il tracciato in Alto Adige, di cui sono a conoscenza, la compatibilità ambientale è stata cercata sin dai primi passi della progettazione, anteponendo alcune scelte a tutte le altre più tecniche e precisamente:

- nei tratti dove necessariamente il tracciato si sviluppava in galleria, sono state individuate:
 - le aree di attraversamento potenziale di fondovalle delle potenziali gallerie di minor impatto;
 - le aree per gli attacchi intermedi e quindi le aree dei potenziali cantieri anche in questo caso di minor impatto;
- nei tratti all'aperto si è cercato di sviluppare percorsi che concentrassero quanto più possibile le infrastrutture esistenti con la nuova linea.

Così operando si sono sviluppati i tracciati mediando le indicazioni di carattere ambientale con le necessità planaltimetriche, di esercizio, di sicurezza e quelle relative ai costi.

In altre parole a monte dell'intera progettazione sono state definite le priorità ambientali.

Anche nella scelta delle potenziali alternative sono stati i fattori di carattere ambientale (geologia ed idrogeologia, rumore, vegetazione ed ecosistemi, paesaggio, assetto urbanistico del territorio, accessi intermedi – cantierizzazione) a determinare scelte importanti,

confermate successivamente da considerazioni più strettamente tecniche, di esercizio ferroviario ed economiche.

Descrizione del tracciato

Il corridoio entro il quale sono state sviluppate le soluzioni progettuali di tracciato si estende entro una fascia lungo la val d'Isarco nel tratto tra Fortezza e Bolzano e quindi lungo l'asta dell'Adige fra Bolzano e Verona.

Più precisamente nel tratto tra Fortezza Bolzano la morfologia del terreno è caratterizzata dalla stretta vallata d'Isarco, che non lascia aperta possibilità all'inserimento del tracciato lungo il fondovalle, nel rispetto dei parametri standard.

Nel tratto compreso tra Bolzano e Ala (Trentino), il corridoio si snoda lungo la valle dell'Adige per circa 100 km. La valle dell'Adige in questo tratto è caratterizzata da un fondovalle prevalentemente piatto ed intensamente coltivato (frutteti e vigneti) con una larghezza che non supera i 4-5km. È caratterizzato da situazioni morfologiche molto diverse con alterna presenza di tratti più stretti dominati da versanti molto ripidi ed acclivi soprattutto in orografica destra e tratti molto più ampi soprattutto in corrispondenza della confluenza di alcune valli laterali dove tra il resto si estendono le aree più densamente popolate.

Nel tratto a sud di Trento sono stati individuati due corridoi uno ad ovest lungo la valle dell'Adige ed uno ad est lungo l'asse dei Monti Lessini – Val Pantena. Tali corridoi e i relativi tracciati si innestano al nodo di Verona ad ovest sulla Milano Verona od in alternativa ad est sulla linea Venezia Verona.

a) In provincia di Bolzano

A partire da Fortezza ovvero dalla quota altimetrica di uscita del tunnel di base, il tracciato si sviluppa per circa 56 km in galleria naturale, lungo un percorso parietale, in accostamento quanto più possibile al fondovalle, per consentire così la realizzazione degli accessi necessari.

Già questo fatto rappresenta un intervento di riduzione dell'impatto ambientale perché riduce molti degli effetti soprattutto in fase di costruzione.

Il tracciato attraversa in tre punti la Valle dell'Isarco con tratti molto brevi, in zone non abitate e "compatibili" sotto il profilo paesaggistico, bypassa la città di Bolzano e esce all'aperto in corrispondenza del Comune di Ora. Per la precisione da Fortezza ad Ora è prevista una catena di gallerie interrotta da 4 attraversamenti di fondovalle assai ridotti. Un altro vincolo altimetri-

co è quello rappresentato dalla necessità di interconnettersi a Bolzano con la nuova galleria di Cardano, all'interno della quale sono già previsti i cameroni per la interconnessione futura.

Le finestre previste per questo primo tratto di galleria sono 6 con altrettante aree di cantiere, più alcuni pozzi.

La ubicazione delle finestre a distanza regolare, considerando anche la presenza di accessi carrabili ad alcuni imbocchi delle gallerie sopra descritte, aveva permesso di poter eliminare la galleria di servizio, anche in questo caso con evidenti riflessi in positivo di carattere ambientale.

A sud di Ora il tracciato prosegue sostanzialmente all'aperto in un tratto assai delicato; lo stesso tracciato si sviluppa comunque relativamente lontano dai centri abitati con la previsione di due gallerie artificiali interrate per la risoluzione di alcune interferenze con la linea esistente e per problemi legati al rumore.

La grossa contrapposizione di cui accennavo in precedenza è nata in particolare in quest'area, perché le alternative in sostanza erano due, ovvero una linea che proseguiva completamente in galleria ed una linea che invece usciva all'aperto. A livello locale e politico la spinta era fortissima nei confronti dell'alternativa in galleria, solo per il fatto che era in galleria.

Ma sotto un punto di vista ambientale tale soluzione può non essere la migliore se l'argomento viene trattato libero da emozioni.

La linea in galleria presentava una situazione idrogeologica molto complessa, una geomeccanica complessa, la necessità di interconnessioni che comunque attraversavano il fondovalle per poter incontrare la linea esistente, dei costi d'investimento molto elevati, la posizione degli imbocchi e delle finestre di accesso in zone comunque più delicate.

La linea all'aperto permetteva invece l'individuazione di quel famoso corridoio di infrastrutture, di cui precedentemente si è parlato, permetteva il miglioramento di alcuni tratti della linea esistente con la creazione di piccole varianti, eliminando e liberando quindi del terreno prezioso in corrispondenza di zone antropizzate, l'impatto del rumore veniva ridotto prevedendo tratti in galleria artificiale nei punti delicati, le interconnessioni erano previste con rami ridottissimi ed i costi comunque inferiori rispetto all'alternativa galleria.

Ecco quindi che il confronto era e rimane assai equilibrato con una probabile prevalenza di vantaggi "ambientali" a favore della linea all'aperto rispetto a quella in galleria, fatta eccezione per l'occupazione di territorio.

Motivo per cui ancora oggi l'argomento è molto aperto e la soluzione non è ancora definitiva.

Comunque riportandosi al ragionamento iniziale, se vogliamo critico ma obiettivo, si conferma che il contenimento dell'impatto ambientale esiste per i tracciati in galleria solo in condizioni ben precise e dove le condizioni geomorfologiche ed urbanistiche sono chiaramente favorevoli per uno sviluppo di un tracciato in galleria.

Proseguo con la descrizione del tracciato per le altre due province.

b) In provincia di Trento

In Provincia di Trento il tracciato si sviluppa in parte all'aperto e di in parte in galleria principalmente per bypassare i principali centri abitati quali Trento e Rovereto e per superare alcune zone con condizioni morfologiche non favorevoli.

Anche in questo caso soprattutto nei tratti all'aperto si è cercato sempre una soluzione che accorpasse le tre infrastrutture di trasporto (A22, linea storica e linea nuova), proponendo anche importanti varianti ai tracciati esistenti di autostrada e ferrovia.

Infatti a sud di Salorno la linea si sviluppa per oltre 13 km all'aperto, affiancando A22 e linea storica. Tale obiettivo in questo tratto, è stato raggiunto proponendo anche delle varianti alla linea ferroviaria esistente quanto meno interessanti, in quanto così operando si è cercato di modificare tratti di linea esistente in aree fortemente urbanizzate restituendole al territorio.

Nell'area di Zambiana a nord di Trento sono previste le interconnessioni sia con l'Interporto che per la linea storica. Quindi il tracciato si sviluppa in galleria in orografica destra sotto le pendici dei dossi di Terlago e quindi sotto il Bondone per circa 13 km, per uscire poco a sud di TN nuovamente all'aperto.

In questo tratto la nuova linea affianca la A22, compatibilmente con gli standard planimetrici di progetto, per circa 10 km, in posizione mediana del fondovalle e lontana dai centri abitati, per svilupparsi poco prima del paese di Nomi (Rovereto) di nuovo in orografica destra in galleria, dove è prevista anche un'interconnessione con la linea esistente. Con la galleria di circa 13 km si bypassano una serie di centri abitati tra cui la città di Rovereto.

Successivamente il tracciato si sviluppa di nuovo all'aperto attraversando con un lungo viadotto le infrastrutture stradali esistenti, per riportarsi in affiancamento alla linea esistente. Anche in questo caso, si è cercato un corridoio unico di infrastrutture al fine

di ipotizzare interventi efficaci per ridurre l'impatto ambientale complessivo, con varianti importanti anche sulla A22, oltre che varianti ridotte della linea esistente.

Il tracciato prevede ancora in Provincia di Trento altre 2 gallerie, la prima in orografica destra corta (circa 4 km), per poi svilupparsi all'aperto su viadotto per attraversare il fondovalle in corrispondenza di Sabbionara Avio ed entrare in orografica sinistra nel massiccio dei Lessini, da dove si sviluppa una galleria di oltre 10 km, sbucando a sud di Peri.

c) In provincia di Verona

A sud di Peri il tracciato si sviluppa per circa 9 km all'aperto e dopo aver sovrappassato la SS12 e la linea esistente nonché per 3 volte il fiume Adige, si affianca all'autostrada fino a superare l'abitato di Dolcè.

A sud di Dolcè supera per l'ultima volta le infrastrutture esistenti per rientrare in galleria a nord di Ceraino. Da qui sono state esaminate due alternative di percorso, al fine di poter prevedere l'innesto al nodo di Verona sia da est che da ovest.

Questo argomento dovrà essere probabilmente aggiornato, per tener conto degli sviluppi progettuali relativi all'alta velocità, allora allo stato embrionale.

Il tracciato al tempo prescelto T1/1 prevedeva dopo un tratto di galleria di circa 12,5 km, che in sotterraneo sovrappassa l'attuale galleria Domegliara Dolcè, l'uscita ad est di Corrubbio; in questa area erano previste le interconnessioni con la linea storica in prossimità della stazione di Verona Parona.

Queste interconnessioni dovevano consentire ai treni che non devono transitare per Verona Porta Nuova di inserirsi in entrambe le direzioni (nuova > storica e storica > nuova), direttamente sulla linea Venezia Milano o Verona Bologna, transitando per il bivio S.Massimo, senza quindi appesantire il traffico nel nodo di Verona.

Proseguendo con il tracciato T1/1 superata Verona Parona il tracciato si dirige in sotterraneo in galleria compiendo un'ampia curva in questo caso con deroga agli standard progettuali e si dirige a sud in direzione del centro abitato di Verona.

Questo tratto assai delicato sotto il profilo realizzativo si snoda lungo l'asse di via Cipolla, sotto l'ampio crocevia di Porta Vescovo e sotto la radice del fascio di binari della stazione Porta Vescovo per risalire in affiancamento ai binari della Venezia Milano prima del ponte Adige che porta alla

stazione di Porta Nuova.

L'altro percorso (T1/1 ovest) prevedeva una interconnessione con la linea esistente nei pressi di Dolcè ma in galleria, e si sviluppava con una galleria lunga circa 10 km per uscire all'aperto in località La Secca in corrispondenza del canale Alto Veronese. Da cui il tracciato proseguiva all'aperto, in parte in trincea ed in parte in rilevato o quota campagna sovrappassando il fiume Adige, per poi rimettersi in galleria per circa 4 km per sottopassare tra le altre interferenze, l'autostrada A22.

Da qui il tracciato in parte in trincea ed in parte in rilevato raggiunge ed affianca la linea storica Milano Venezia fino a Verona.

Discariche

Alcuni numeri interessanti sempre sotto il profilo ambientale:

Materiale di smarino: mc 26.000.000 di cui il 65% riutilizzabile (mc 16.700.000) Smarino riutilizzabile nell'ambito del progetto: mc 7.500.000

smarino da stoccare temporaneamente; mc 9.200.000

smarino da scaricare: mc 9.100.000.

Osservazioni finali

Si vuole infine ancora ricordare un ulteriore problema che il percorso in galleria viene a formare ossia una forma di impatto a carico dell'utente, forse troppo trascurata dalle analisi ambientali. Ci si riferisce al lungo percorso in galleria che l'utente è costretto a sopportare, creando a volte condizioni anche di carattere psicologico non sempre favorevoli alla condizione di benessere che in generale si cerca di assicurare.

In conclusione è possibile confermare che il percorso in galleria pur obbligando senza dubbio l'utilizzo di risorse finanziarie rilevanti e superiori ad altre soluzioni, è reso spesso necessario da un complesso di condizioni oggettive che lo rendono alternativo a quello all'aperto..

Non vi è dubbio allora che per la complessità dei problemi che si determinano, lo studio, soprattutto a partire da quello di fattibilità, deve essere estremamente attento, impegnato ed allargato ad ogni componente che possa comportare, in qualche modo un miglioramento o contenimento dell'impatto ambientale.

Siamo però anche tutti convinti che gli accorgimenti progettuali e le possibilità che la moderna tecnologia mettono a disposizione sono di condizione tale da poter mitigare le forme di impatto rendendole compatibili con gli obiettivi che si vogliono raggiungere e

Nuovi percorsi in galleria per fluidificare il traffico urbano: il progetto preliminare del collegamento viario a nord della città di Verona

Mario Bellesia

Descrizione dell'intervento

L'intervento di seguito descritto riguarda il Collegamento viario a nord della città di Verona dal termine della Tangenziale Est fino all'intersezione con la SS 12 in località Cà dei Cozzi. Tale intervento è comunemente noto come "Traforo delle Torricelle" in riferimento alla tipologia prevalente dell'opera e alla toponomastica delle colline attraversate.

L'infrastruttura s'inserisce nell'ambito di un sistema viario di scorrimento in parte già realizzato ed in parte da realizzare all'esterno del nucleo urbano di Verona, costituito da:

- tangenziale sud;
- raccordo tra il casello di Verona est e la SS 11;
- tangenziale est;
- collegamento a nord;
- collegamento ad ovest e raccordi a nord ovest di completamento.

Figura 2 Assetto futuro

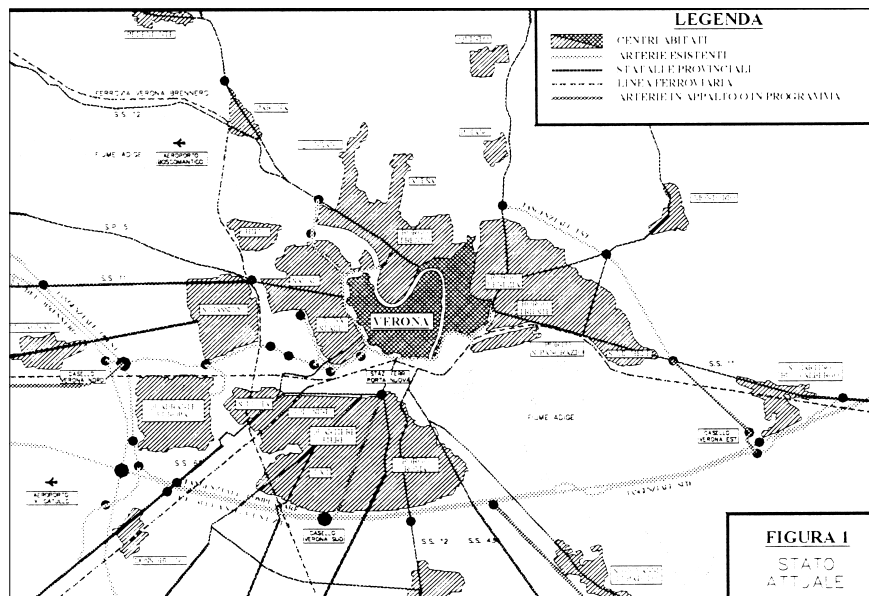
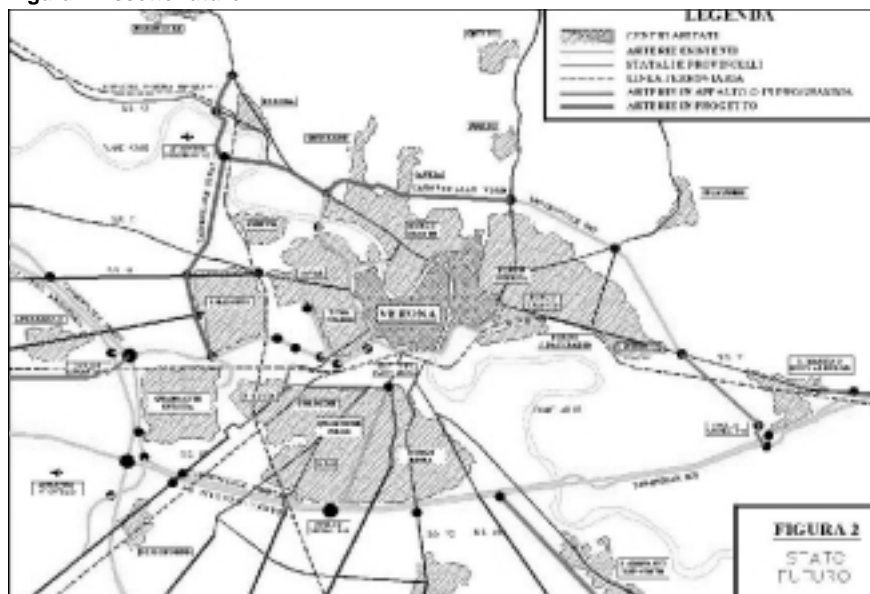


Figura 1 - Stato attuale

Nella figura 1 è evidenziato l'attuale assetto della viabilità urbana della città di Verona, dal quale si evidenzia la mancanza di un collegamento est-ovest nella zona nord della città. In questa zona non esiste infatti una reale gronda di scorrimento, raccolta e connessione dei sostenuti flussi di traffico tra Valpolicella, Valpatena e la direttrice Est (S. Martino Buon Albergo-Soave).

La realizzazione dell'opera in progetto consentirà di aggiungere un segmento all'anello esterno al nucleo urbano, che, attraverso la tangenziale ovest,

connetterà direttamente i tre caselli autostradali a servizio della città.

Tutto ciò, inoltre, garantirà una nuova flessibilità e gerarchizzazione nell'uso delle reti viarie della città, offrendo una pluralità di scelte di percorrenza e, all'occorrenza, una valvola di sfogo al traffico cittadino.

Nella figura 2 è mostrato l'assetto futuro della viabilità della città di Verona. Il collegamento infrastrutturale di progetto consentirà agevoli connessioni tra:

- la parte orientale della S.S.11 e la Valpatena
- la S.S.12 in direzione Trento e Valpolicella e le parti occidentali del territorio veronese.

Di conseguenza si avrà la decongestione dei quartieri di Borgo Venezia, Veronetta, Teatro Romano e Borgo Trento, a tutt'oggi gravati da notevoli volumi di traffico, e si creerà un'efficace connessione con il sistema autostradale.

La S.p.A. Autostrada Brescia - Verona - Vicenza - Padova

Il collegamento a nord della città di Verona è un'opera prevista all'interno del Piano Finanziario della Società Autostrada Brescia - Verona - Vicenza - Padova, che, in qualità di concessionaria ANAS:

- ha costruito e gestisce l'autostrada A4 tra Brescia e Padova;
- gestisce l'autostrada A31;

- ha costruito e gestisce raccordi e tangenziali nelle provincie di Brescia, Verona, Vicenza e Padova.

Il tracciato

Il collegamento nord ha inizio dallo svincolo della Tangenziale Est, su Via Colonnello Fincato, in località Cà Rossa (Poiano), ma l'intervento previsto dall'attuale studio preliminare comincia, in realtà, sulla stessa Tangenziale Est, dov'è prevista l'ubicazione della stazione di pedaggio. Tale stazione sarà in uso per la riscossione del pedaggio sulla sola Tangenziale Nord, mentre lascia a libera viabilità il traffico per e dall'esistente Tangenziale Est.

Tornando al tracciato di progetto, dopo un breve tratto in superficie, la Tangenziale Nord, entra in galleria naturale per 2.300 m, uscendo all'aperto poco dopo Via Monte Ortigara, a nord del quartiere di Pindemonte.

A partire dal punto di uscita della galleria, il tracciato prosegue in trincea profonda, al fine di attenuare l'impatto ambientale, sottopassando la sede dell'alveo del torrente di Avesa (imbriigliato con un ponte canale) e le viabilità esistenti di Via Villa e Via del Fabricato Scolastico, fino all'altezza della sede dell'attuale Via S. Rocco, la quale viene sottopassata in galleria artificiale, per una lunghezza di 145 m, per avere la minor interferenza possibile con le strutture esistenti nella zona. All'interno della stessa sono ubicate le due corsie di accelerazione e decelerazione dello svincolo di uscita in zona Saval. Lo svincolo di uscita, del tipo a "trombetta", è direttamente interconnesso con l'incrocio tra Via Cà di Cozzi e Via dei Caduti del Lavoro.

Tale incrocio sarà rimodellato con l'inserimento di una rotatoria di dimensioni adeguate allo smaltimento dei flussi provenienti dalle due suddette arterie.

Alla progressiva di sfiocco delle rampe

Tabella a - Sintesi delle opere

Studio preliminare	
Inizio	Via Colonnello Fincato
Fine	Svincolo Saval
Lunghezza totale (km)	4.100
Galleria naturale (km)	2.300
Galleria artificiale (km)	0,145
Rilevato / trincea (km)	1,655
Interventi di viabilità ordinaria (km)	1.000

di svincolo (km 4+100), termina l'intervento allo studio.

Nel seguito è riportata la sintesi delle opere. (tabella a)

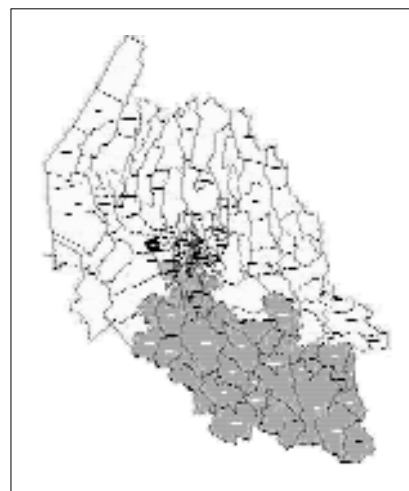
Il traffico

Nell'ambito dello studio del traffico sono state considerate diverse variabili, e conseguentemente sono sviluppati scenari alternativi che hanno tenuto conto, tra l'altro, di:

- assetto delle infrastrutture di trasporto;
- politiche della mobilità del traffico (istituzione di ZTL, ecc.);
- orizzonti temporali;
- caratteristiche geometriche delle nuove strade.

In tal modo sono state evidenziate le attuali e le future criticità della rete viaria.

Le analisi di traffico mostrano che il bacino d'utenza delle opere progettate è di interesse provinciale; il collegamento a nord capta infatti anche i flussi di traffico dei Comuni posti a Nord della città, così come evidenziato dalla sottostante figura (dove in azzurro sono indicate le zone influenzate dalla realizzazione del collegamento nord, in blu quelle di massima influenza, in bianco infine quelle che sostanzialmente non risentono della realizzazione dell'opera).



Aree di influenza

Le stime dei trend, sviluppate mediante l'analisi di dati storici, mostrano che a Verona la mobilità veicolare cresce mediamente del 2,5% all'anno. Ciò porterà, secondo le stime, ad un incremento del traffico 43% circa al 2026.

L'inserimento della nuova opera porterà ad una diminuzione della congestione sulla rete, e ad una riduzione dei volumi di traffico sulle arterie urbane a nord della città.

Con la chiusura dell'anello risulta possibile ridurre la congestione inaccettabile fino al 60-70%, così come il tempo perso a causa della congestione.

La lunghezza media degli spostamenti

Tabella 1 - Volumi di traffico a 20 anni dall'apertura

Scenario	tangenziale nord				
	dir. ovest	dir. est	cap	vol / cap	tgm
1	1.839	1.568	2.100	0,88	33.402
2	2.213	1.618	2.100	1,05	37.559
3	2.053	1.692	2.100	0,98	36.716
4	2.470	1.775	2.100	1,18	41.618
5	2.198	1.721	3.600	0,61	38.422
6	728	610	3.600	0,20	13.118
7	2.751	1.750	3.600	0,76	44.127
8	1.410	614	3.600	0,39	19.843
9	2.561	2.118	3.600	0,71	45.873
10	3.100	2.218	3.600	0,86	52.137
11	2.958	2.520	3.600	0,82	53.706
12	1.791	915	3.600	0,50	26.529
13	1.034	871	3.600	0,29	18.676
14	1.834	1.542	3.600	0,51	33.098
15	2.155	1.588	3.600	0,60	36.696
16	1.909	1.326	3.600	0,53	31.716

rimane pressoché invariata ma la loro durata può ridursi del 20-30%. Corrispondentemente la velocità media può crescere del 30-40% rispetto a situazioni di non progetto. L'importanza dell'intervento in progetto è altresì desumibile dai volumi di traffico in gioco espressi dalla tabella successiva (tabella 1).

Vol/cap	LoS
0,00-0,25	a
0,25-0,50	b
0,50-0,75	c
0,75-1,00	d
1,00-1,20	e
>1,20	f

Tabella 2 - Correlazione tra livelli di congestione e di servizio

Distanziamento tra veicoli (nuovi orientamenti normativi)			
	100 mt	80 mt	50 mt
Velocità	Capacità	Capacità	Capacità
90	857	1059	1636
80	762	941	1455
70	667	824	1273
60	571	706	1091
50	476	588	909

Tabella 3 - Capacità oraria di una corsia

Si è ritenuto opportuno evidenziare i valori di flusso a 20 anni dalla presumibile apertura, così da avere riferimenti più significativi.

Al fine di ottenere una corrispondenza tra i livelli di congestione (espressi dal rapporto Volume orario su Capacità, VOL/CAP) e i Livelli di Servizio (o LoS) dell'HCM, si possono indicativamente considerare i seguenti valori.

La necessità di adottare una sezione a due corsie per verso di marcia per la galleria viene generata anche dai nuovi orientamenti normativi. Questi infatti prevedono l'imposizione di una distanza minima tra i veicoli, tale da ridurre considerevolmente le capacità.

La successiva tabella, elaborata tenendo conto di ciò, ne è la conferma poiché fornisce i valori delle capacità in funzione delle distanze e della velocità. Si può notare che anche adottando distanze di 50 m e velocità consentite di 90 km/h si avrebbero capacità inferiori rispetto ai flussi stimati per strada ad una corsia per senso di marcia.

In sintesi dall'analisi condotta, sotto il profilo trasportistico risultano fondate le seguenti affermazioni conclusive.

In assenza di grandi interventi infrastrutturali, la rete stradale attuale sarà ancora sufficiente nell'anno 2006, ma sarà insufficiente negli anni successivi, con raggiungimento di altissime criticità nel 2026 ed ancor più nel 2033.

Appare opportuno sottolineare che la nuova infrastruttura potrà essere di notevole ausilio nello sviluppo di politiche della mobilità che tendano alla salvaguardia delle aree più centrali della città. In tal caso si verificherà un incremento, che potrà essere consistente, dei flussi sulla Tangenziale nord.

Gli studi di traffico hanno altresì consentito di dimensionare le sezioni stradali di progetto delle nuove arterie e la barriera di esazione.

Dai calcoli effettuati risulta consigliabile una tipologia B della nuova normativa CNR per la realizzazione della Tangenziale Nord (2 carreggiate separate da spartitraffico con 2 corsie per senso di marcia con larghezza totale di 22.00m).

Sezioni trasversali tipo

Sezione in rilevato

La definizione tipologica della sezione trasversale è derivata dalle analisi effettuate nell'ambito dello studio di traffico. La scelta è ricaduta sul tipo B della nuova normativa CNR per l'intero tracciato scelto.

Essa è così caratterizzata:

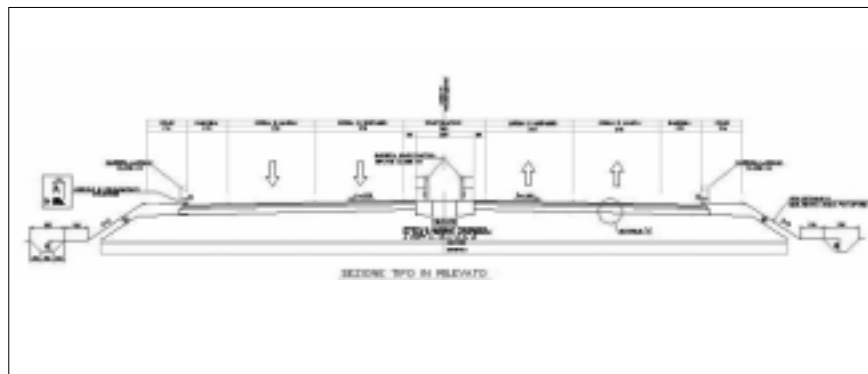
- due carreggiate separate da sparti traffico da 2.50 metri
- due corsie per senso di marcia da 3.75 metri ciascuna
- banchina di destra da 1.75 metri
- banchina di sinistra da 0.50 metri

La sezione misura complessivamente 22 metri di cui 19.50 metri di superficie pavimentata.

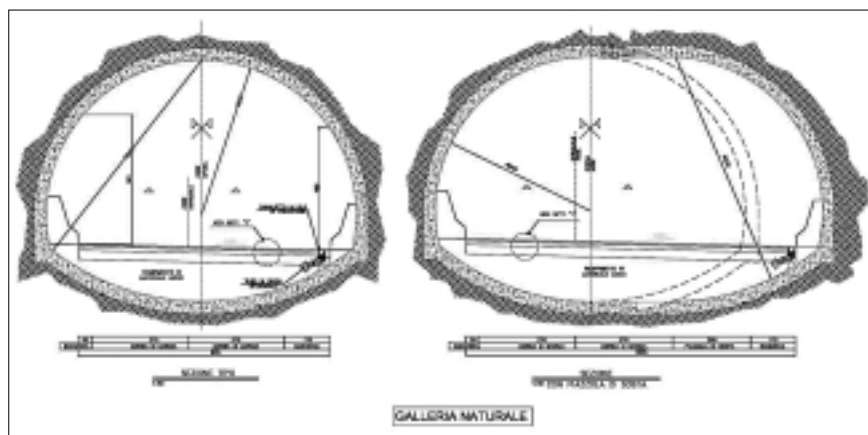
Il raggio minimo previsto da normativa è di 178 metri, con una velocità di progetto compresa tra 70 e 120 km/h. La pendenza longitudinale massima è del 6%, mentre quella trasversale è del 7%.

Si introdurranno barriere metalliche di

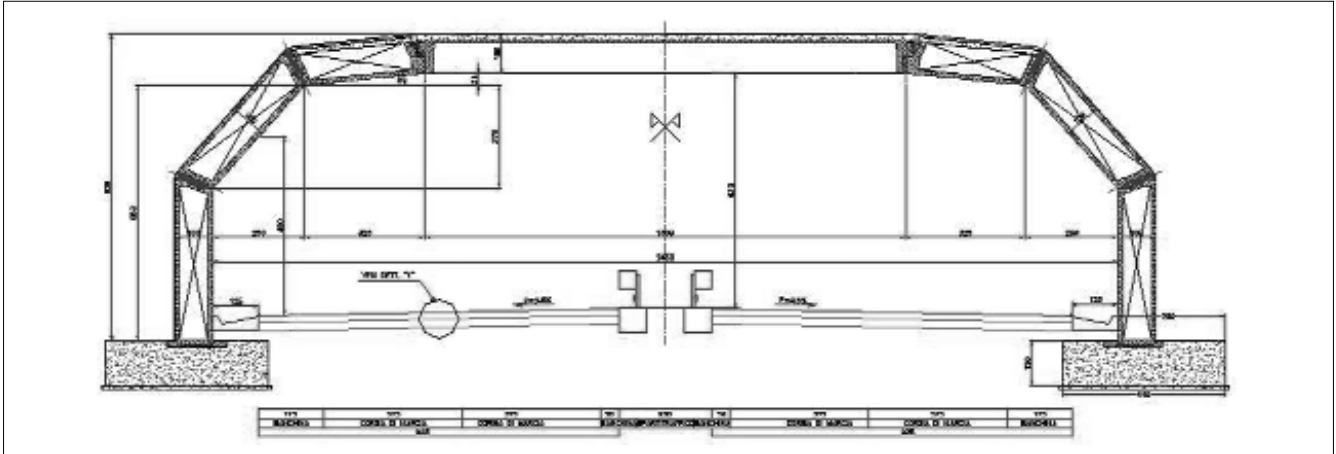
Sezione tipo in rilevato



Sezione tipo (a sinistra) e sezione con piazzola di sosta (a destra)



Galleria artificiale con elementi modulari prefabbricati



contenimento bordo, spartitraffico, etc., in ragione delle tipologie di sezioni.

Gallerie tipo

Come in precedenza descritto, lungo i tracciati oggetto di studio verranno realizzate opere in galleria (naturale o artificiale), per le quali nel progetto preliminare sono state indicate le dimensioni, le opere complementari e, in via preliminare, le modalità esecutive.

La soluzione scelta prevede una sezione tipo B della nuova normativa CNR e per tale ragione la galleria naturale avrà un doppio fornice.

All'interno di ogni singolo fornice, le dimensioni della carreggiata permangono identiche a quelle dell'esterno, e gli elementi di ritenuta vengono sostituiti da appositi elementi contenitivi di tipo new jersey, sagomati secondo le dimensioni interne del fornice. Tali dimensioni della piattaforma sono da ritenersi minime e adeguabili in relazione alle esigenze connesse alla dislocazione degli elementi marginali necessari, quali segnaletica verticale, marciapiede di servizio, ecc.

L'altezza libera misurata da qualsiasi punto della carreggiata deve essere non inferiore a 5 metri, mentre per gli elementi di margine (banchine) tale franco può scendere a 4.80 metri.

La distanza planimetrica tra i due fornici, misurata tra gli affacci esterni, è variabile, ma di buona regola, si prevede non inferiore alla larghezza di un altro ipotetico fornice.

È stata anche prevista la realizzazione di passaggi pedonali e carrabili, di collegamento tra i due fornici, sia per la manutenzione sia per la sicurezza.

Tali varchi sono stati disposti con una cadenza di 150 metri circa per il tipo pedonale, e di 800 metri circa per quelli carrabili. Il varco di tipo pedonale ed

è dotato di:

- doppia porta tagliafuoco con resistenza minima di almeno 120 minuti,
- maniglioni antipánico,
- segnalazione automatica di apertura.

Il varco di tipo carrabile è dotato di una porta pedonale, con maniglione antipánico, con resistenza al fuoco pari almeno a 120 minuti. All'altezza dei passaggi carrabili sono previste piazzole di emergenza per facilitare il parcheggio di veicoli in avaria. In prossimità dei varchi e delle piazzole di emergenza sono anche previste delle nicchie che avranno anche lo scopo di accogliere degli accessori per la sicurezza..

Nel caso della galleria artificiale (svincolo Saval) si prevede l'uso di elementi modulari prefabbricati, prodotti in stabilimento, e costituiti da più corpi in calcestruzzo. Sotto il profilo strutturale questa sarà ad arco a due cerniere, con una larghezza libera tra i due piedritti idonea a contenere l'intera sede stradale e due cunette mod. francese di 1.25 metri ciascuna, poste ai bordi delle banchine di destra.

Inquadramento geomorfologico, idro-geologico e cenni sulle caratteristiche dei terreni

Il tracciato oggetto di studio interseca, nella zona Tavernelle, le pendici di un rilievo collinare lessineo, entrando in galleria naturale.

Per la quasi totalità dell'opera di attraversamento, lo sviluppo avviene entro masse rocciose calcaree, appartenenti in prevalenza alla formazione dei calcari di tipo nummulitico, con un indice R.Q.D. compreso tra il 50 e il 100%. Ciò comporta classi R.M.R. di tipo 2 e 3, che richiedono modesti interventi di consolidamento provvisorio, escluse le zone in corrispondenza degli imbocchi

e nel tratto centrale, di più modesta copertura, dove l'indice di classe R.M.R. si alza fino a 4 e 5, e dove sono previste adeguate opere di sostegno ed idonei metodi di scavo.

Prefattibilità ambientale

Lo studio di prefattibilità ambientale è stato redatto sviluppando l'analisi dei sistemi:

- fisico
- naturale
- antropico

e valutando per ognuno la sensibilità rispetto alla realizzazione delle opere in progetto.

L'analisi è stata redatta valutando i diversi aspetti: geologico, morfologico, uso del suolo, etc.

Inoltre i vari ambiti di criticità sono stati riportati in una tavola di sintesi, facendo di conseguenza emergere, per ognuno dei sistemi studiati, le zone maggiormente sensibili e pervenendo a conclusioni di ammissibilità dell'opera e compatibilità della stessa con il territorio attraversato.

Sviluppi futuri

I passaggi successivi per realizzare l'opera possono essere così sintetizzati:

- redazione del progetto definitivo,
- iter approvativo (Via, Conformità urbanistica,
- Conferenza dei Servizi, etc.),
- approvazione ANAS e dichiarazione di pubblica utilità,
- procedura espropriativa,
- redazione del progetto esecutivo,
- appalto dei lavori,
- costruzione dell'opera.

Il progetto per il grande tunnel del Brennero

Carlo Comin

Chi si occupa di infrastrutture, quando si trova a parlare dopo un ideatore di ambienti vivibili, rischia di apparire come un distruttore. Le infrastrutture infatti, se nella fase pionieristica contribuiscono a generare tessuti urbani e socio/economici, nella fase matura devono diventare strumento di regolazione e gestione dello sviluppo.

Questa premessa non è propedeutica alla commercializzazione della nuova linea del Brennero, ma intende proporre una riflessione e un'analisi di tutti i fattori che possono risultare favorevoli alla costruzione di questa linea Verona-Monaco, anche per fasi.

Negli ultimi due anni sono stati investiti all'incirca 16 milioni di Euro per indagini propedeutiche sul territorio al fine di aggiornare i precedenti studi di fattibilità che oramai hanno più di dieci anni, ma con qualche incertezza legata alla presunta scarsità di traffico e quindi all'interrogativo se sia opportuno o meno investire ingenti capitali nella costruzione dell'opera.

Una delle prime risposte che bisognerà dare, quindi, è la dimostrazione dell'effettivo futuro incremento del traffico sull'asse del Brennero.

Lo sviluppo del traffico, al di là delle previsioni calibrate a 10-15 anni, è legato ad altri fattori come, ad esempio, la volontà politica di spostare il traffico dalla strada alla rotaia (sappiamo benissimo che oggi il trasporto su strada inquina di più). Un altro fattore determinante sarà costituito dall'accesso all'infrastruttura ferroviaria da parte delle imprese di trasporto. In questo le Ferrovie Italiane sono state fra le prime in Europa a dare attuazione alla Direttiva europea che prevede, appunto, il libero accesso all'infrastruttura per chi consegue la licenza di trasporto ferroviario.

La liberalizzazione dell'infrastruttura ferroviaria, per quanto condizionata da varie difficoltà, produrrà gli esiti sperati che sono quelli di un progressivo trasferimento del traffico dalla gomma ad altri modi meno inquinanti quale la ferrovia.

Tornando al tema odierno vediamo lo stato dei collegamenti attraverso i valichi transalpini.

La linea Genova-Marsiglia è in fase

di progettazione. Le Ferrovie stanno progettando la tratta Genova-Ventimiglia che in alcuni tratti è già stata spostata in galleria. Praticamente, tutta la linea correrà in galleria liberando così tutta la zona litoranea del ponente ligure dall'ingombrante barriera ferroviaria.

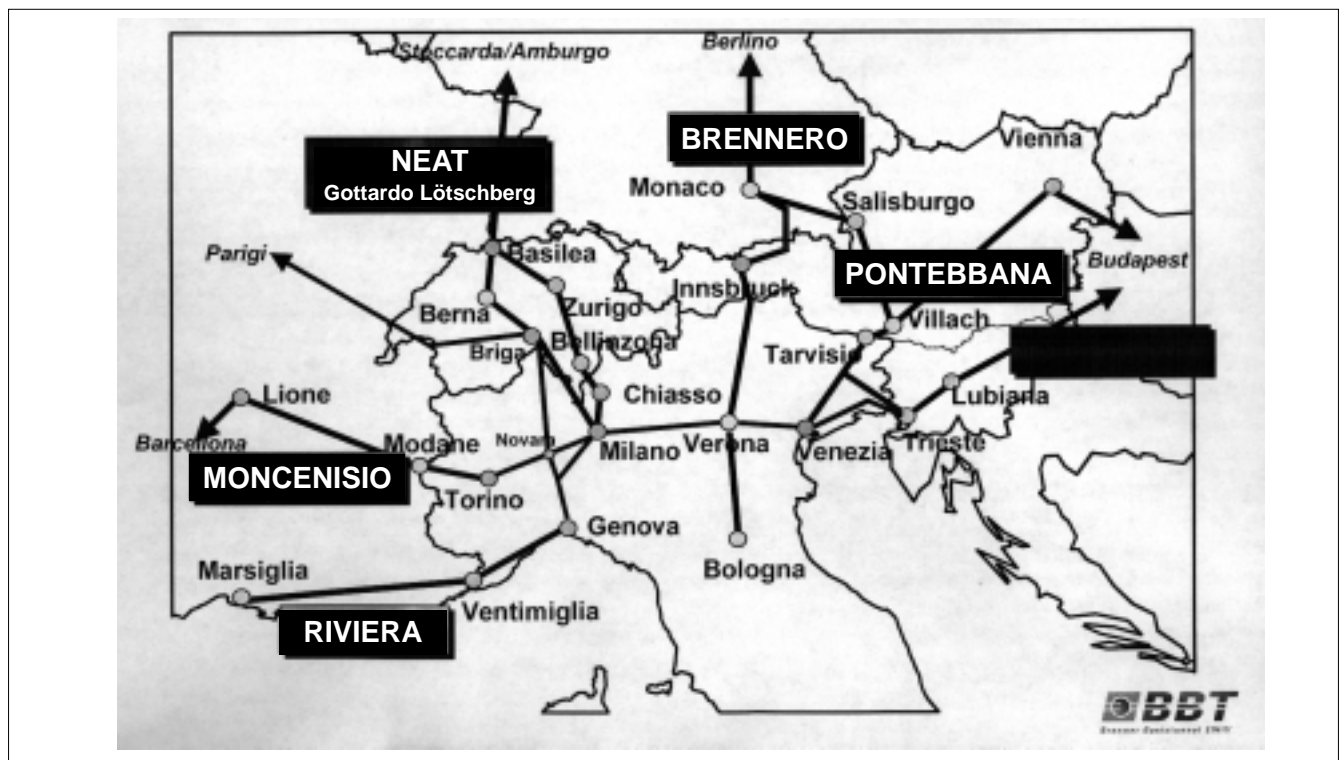
Il valico del Frejus o Moncenisio è stato oggetto del trattato bilaterale tra Francia e Italia siglato lo scorso gennaio, che ha sancito il proseguimento degli studi per avviare la costruzione della galleria di base di 52 km di lunghezza da attivare entro il 2015. Si tratta di un lavoro che ha già preso avvio e che, alla fine, dovrà condurre alla realizzazione della nuova linea ferroviaria Torino-Lione quasi tutta in galleria.

Gli attraversamenti svizzeri sono già in costruzione, il Gottardo ha raggiunto il 20% della costruzione e gli scavi in galleria avanzano nei tempi previsti, per cui entro il 2009 si attende l'entrata in esercizio.

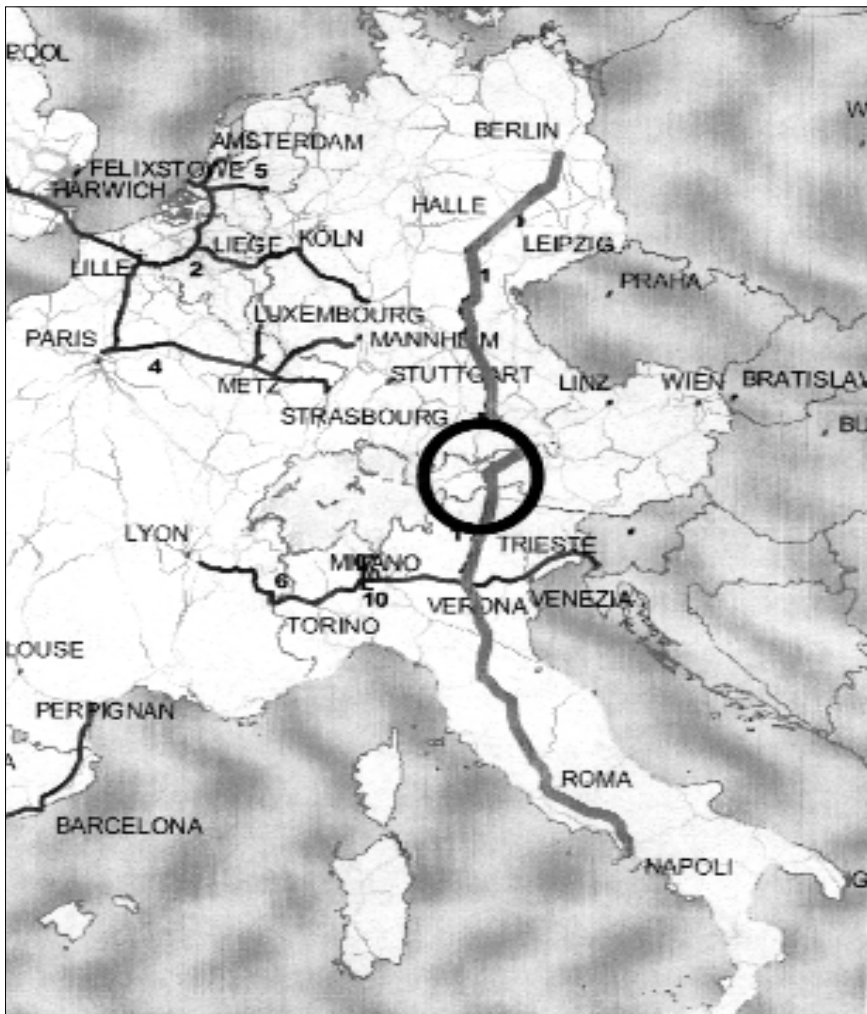
La Pontebbana è stata ultimata circa sei mesi fa, e consente di istradare treni verso Salisburgo e Vienna senza limitazione di sagoma.

Uno dei maggiori problemi degli attraversamenti alpini è legato proprio

I collegamenti ferroviari transalpini.



Dott. Carlo Comin - Amministratore della società GEIE Galleria di Base del Brennero



Asse TEN Berlino - Napoli

alle sagome, perché i treni attuali, nella maggior parte delle gallerie vecchie, non possono trasportare qualsiasi tipo di camion per cui bisogna realizzare nuove gallerie idonee al transito delle sagome maggiori.

Quello del Brennero è l'unico progetto per il quale vi sia stata una decisione politica e per questo è stato deciso di costituire un GEIE (Gruppo Europeo di Interesse Economico) italo-austriaco che deve predisporre il progetto esecutivo della galleria di base.

Ma cosa è stato fatto oggi sul Brennero? La linea attuale, che ha 120 anni, è stata potenziata, perché ci sono più treni di quanti la linea ne possa far transitare: dalla parte italiana, sono stati costruiti trenta chilometri di variante in galleria. Oggi il Brennero è idoneo al transito di tutte le sagome previste a livello europeo.

In una seconda fase è previsto il potenziamento del sistema di accesso nord, in maniera tale da spostare il traffico est-ovest su un'altra linea liberan-

do quindi l'attuale linea nord-sud. Vedremo, più avanti, perché è necessario costruire la galleria di base del Brennero e, soprattutto, provvedere al potenziamento della tratta di accesso sud.

Io ricordo sempre che da Verona a Monaco la linea è lunga 440 chilometri, di cui 240 sono in Italia, per cui si tratta di un problema prevalentemente italiano.

Gli obiettivi del GEIE sono: elaborare il progetto della galleria di base, elaborare modelli di finanziamento (dato che la Comunità Europea finanzia, ma pretende che tutti i progetti della rete transeuropea siano realizzati con cofinanziamenti privati), organizzare il marketing del progetto con autorità, popolazioni e privati (e cioè far capire alle persone che cos'è questo progetto e cosa può significare), elaborare le previsioni di traffico e i modelli di esercizio, ottenere le autorizzazioni necessarie alla costruzione, progettare il tracciato e gli allacciamenti alle linee di

accesso.

La linea Bologna-Firenze, oggi di grande attualità per i risvolti ambientali che produce, ha un grande vizio di fondo perché le popolazioni erano poco informate. Quando si predispose un progetto, la prima cosa da fare è informare i politici, le amministrazioni e la popolazione. Questo è un principio che non tutti percepiscono ma è fondamentale per la riuscita di qualsiasi progetto di grande impatto.

Non è vero che la linea da Verona a Monaco consente, attualmente, il passaggio di 200 treni: ci sono tratte in cui transitano 300 treni e tratte in cui ne transitano 160. Il sistema ferroviario è complesso e interdipendente: è inutile costruire una linea da 220 treni quando poi vi sono colli di bottiglia dove non ne possono passare più di 160.

È dunque importante capire che cosa avviene nell'insieme della linea, dall'origine alla destinazione.

L'Italia è l'unico Paese in Europa, a mio avviso, dove prima si definiscono e si finanziano i progetti, e solo successivamente si chiedono le autorizzazioni: in tutti gli altri Paesi, invece, prima di chiedere il finanziamento è necessario avere l'autorizzazione (benessere politico e autorizzazioni per costruire). In Austria, ad esempio, la procedura di impatto ambientale dura almeno due anni ma, una volta conclusa, non vi sono più eccezioni o discussioni e si può cominciare la costruzione senza impedimenti.

Il GEIE nasce, abbiamo detto, per studiare la galleria di base del Brennero, ma avere un'infrastruttura, fra tunnel di base e linea esistente, che può far transitare 450 treni al giorno, non ha senso se poi le linee di accesso ne fanno transitare 240. La tratta di accesso sud necessita, quindi, di potenziamenti.

Prima di andare a vedere gli aspetti tecnici bisogna, però, capire come sarà l'evoluzione del traffico. L'evoluzione del traffico è legata a motivi politici (volontà politica di trasferire il traffico) e a motivi di mercato (non sappiamo ancora bene cosa porterà la liberalizzazione ferroviaria).

Tenendo conto di tutti questi fattori noi ci siamo rivolti ad una società, che già nel 1997 aveva redatto per conto della Comunità Europea uno studio sul traffico (poi rivelatosi inesatto sull'asse del Brennero perché aveva sottostimato fino al 30% lo sviluppo del traffico realmente avvenuto): a quella società abbiamo chiesto di rifare l'analisi partendo da dati socio-economici e da dati di origine e destinazione delle merci, dall'offerta e dalla domanda potenziali.

Per quanto riguarda l'offerta, abbiamo chiesto di predisporre degli scenari

che prevedono:

- 1- la costruzione di tutti tunnel alpini,
- 2- la costruzione di parte dei tunnel alpini, oppure:
- 3- nessuna costruzione.

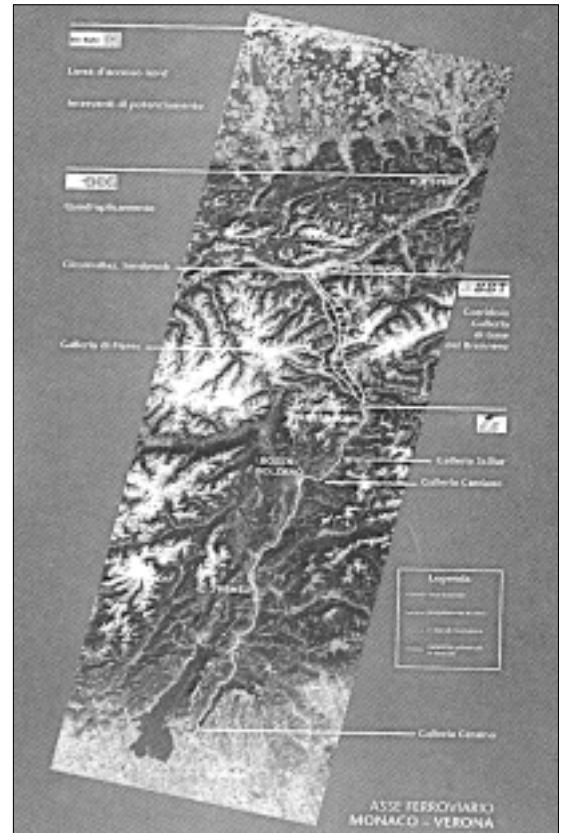
È risultato che il valico del Brennero avrà uno sviluppo pari a quello del Gotardo, che è già in costruzione, e uno sviluppo maggiore del Moncenisio, che è già stato deciso a livello ministeriale.

Oggi sul Brennero passano circa 16.000 auto e 6.000 camion in media al giorno, mentre nel 2015 saranno rispettivamente 25.000-26.000 auto e 7.500-8.000 camion al giorno, anche tenuto conto che parte di questi camion verranno trasferiti su treno. Queste sono previsioni inquietanti, perché già oggi chi percorre l'autostrada del Brennero si rende conto che è spesso intasata, rischiosa quasi quanto il tratto appenninico dell'autostrada Bologna-Firenze.

Se osserviamo il traffico dei passeggeri per ferrovia vediamo che l'incremento previsto è marginale. Oggi, infatti, ci sono 1.700.000 passeggeri per anno e, nella migliore delle ipotesi, saranno, nel 2015, 2.300.000-2.400.000. Da questo si deduce che la ferrovia del Brennero è a vocazione prevalentemente merci.

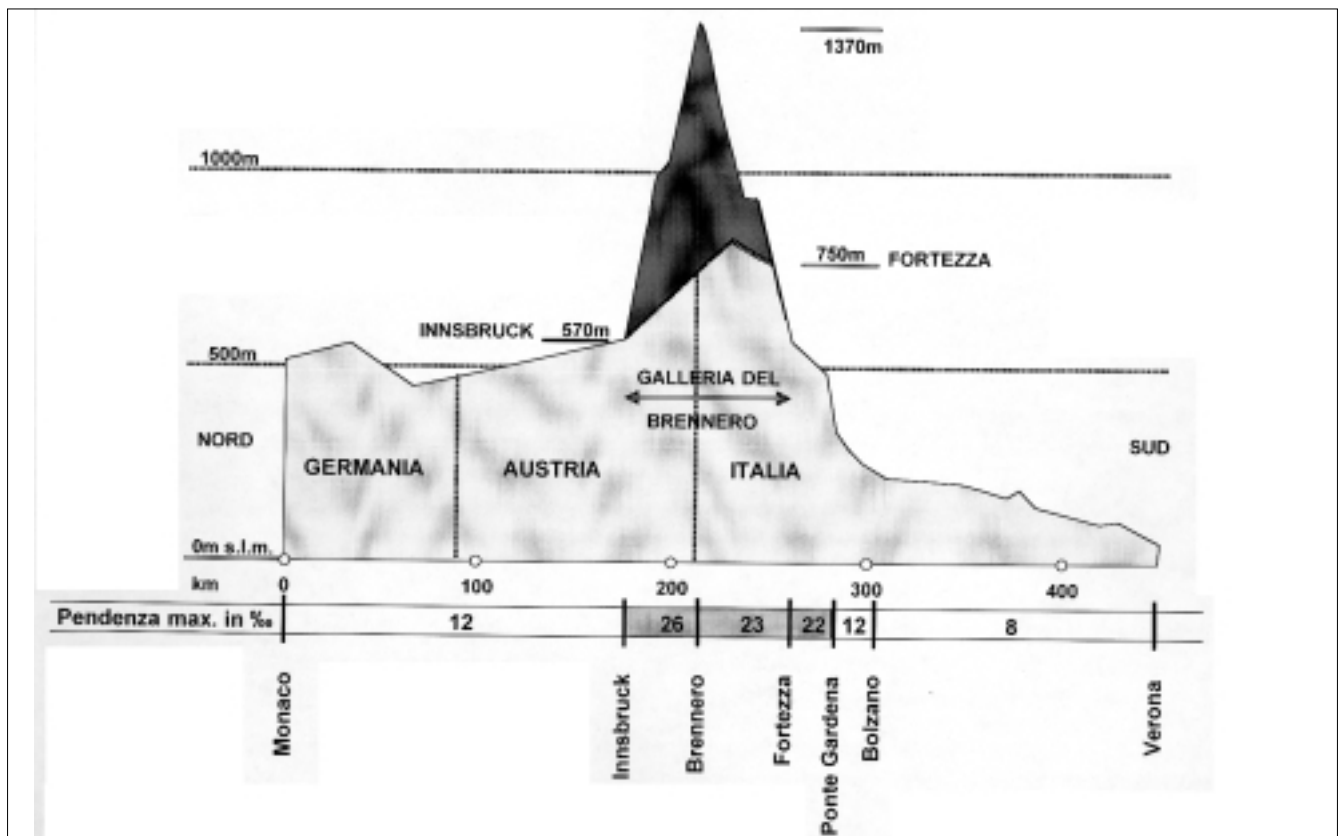
Le previsioni del traffico merci per ferrovia tengono conto dei piani generali di trasporto di tutti gli Stati interessati e la Valsugana non è indicata. Se, invece, andiamo a vedere la strada, la Valsugana ha delle quote di traffico che sono metà di quelle tra Verona e Bolzano. In pratica, da Trento si inserisce quasi metà del traffico che parte da Verona e va verso il nord.

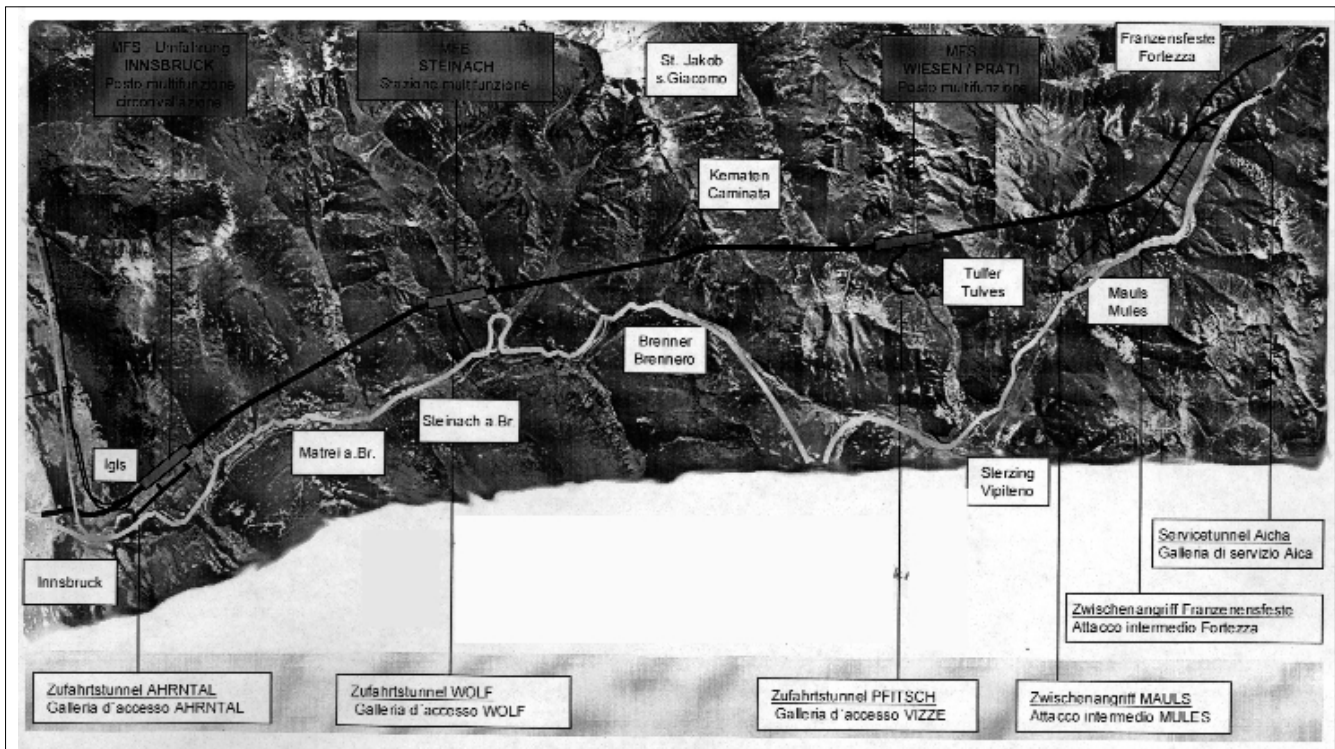
I dati di traffico oggi dimostrano un enorme sviluppo che, trasferito su diagrammi, fa vedere come la ferrovia dal 1960 al 2000 sia rimasta sostanzialmente stabile. Oggi siamo a 28 milioni su strada e 10 milioni su ferrovia. Se andiamo a vedere le proiezioni al 2015 vediamo che il traffico su ferrovia aumenterà fino a 17 milioni nel caso non vengano costruite altre infrastrutture. La capacità massima di trasporto dell'infrastruttura attuale è di 20 milioni di tonnellate all'anno, e questo



Asse ferroviario Monaco-Verona

Profilo longitudinale della linea ferroviaria Monaco-Verona





Corografia generale con il tracciato della galleria del Brennero (linea nera).

deriva dalle tonnellate nette di merce che si possono trasportare su ogni treno.

Se si percorre una linea che ha il 26 per 1000 di pendenza sono necessarie locomotive che possono trainare 400-500 tonnellate nette per treno, mentre con una linea nuova di base con pendenza massima dell'11 per 1000, con una sola locomotiva si riescono a trainare 650-700 tonnellate. Questo vuol dire che ogni treno che percorrerà la nuova linea sarà equivalente a due treni sulla linea attuale (100 treni sulla linea nuova equivalgono a 200 treni sulla linea attuale) e questo è uno dei vantaggi di avere la disponibilità della galleria di base.

Anche il traffico stradale mostra notevoli incrementi e, a seguito della costruzione della galleria di base, tenderà a calare, ma non significativamente. Le previsioni indicano, nel 2015, 62 milioni di tonnellate.

La capacità massima dell'autostrada è di 45 milioni di tonnellate di merce trasportate: è necessario comunque fare qualcosa, perché un traffico di 45 milioni di tonnellate significa la stessa densità del traffico diurno anche nelle ore notturne (oggi in Austria il pedaggio notturno per i mezzi pesanti è doppio di quello diurno).

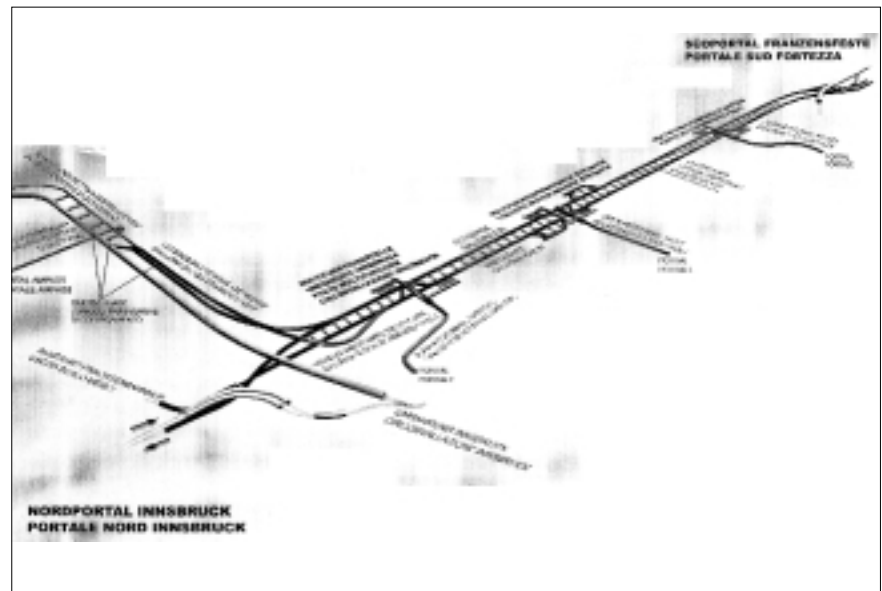
Se osserviamo la situazione delle emissioni inquinanti si nota che tutto il

comparto industriale, elettrico, termoelettrico e privato ha ridotto le emissioni di CO2 mentre, in controtendenza, le emissioni di CO2 prodotte dal traffico sono in continuo aumento e questo è un altro aspetto da valutare, perché non è chiaro chi paghi i costi.

Se si analizzano alcuni dati riguar-

danti le registrazioni delle emissioni in Alto Adige, si può vedere che per il fattore inquinante NO2, che provoca i maggiori disturbi a livello respiratorio, Vienna ha valori inferiori a Bolzano, e analoghi a quelli lungo l'alta Valle dell'Isarco. Se però ci si sposta in alto di 1.500 m, sempre nella Valle

Portale Nord Innsbruck della galleria.



dell'Isarco, i valori si riducono di 10 volte. Se si analizzano i valori in un paesino della Val Venosta, dove non c'è un traffico simile a quello dell'asse del Brennero, si può vedere che i valori sono circa quattro volte inferiori. Forse è il momento di meditare su questi dati.

Nel Libro Bianco si parla di un costo di pedaggio che potrebbe variare, per 100 chilometri, tra i 16 e i 44 Euro (da 300 a 800 lire per Km). Per la prima volta il Libro Bianco parla di incentivi per trasferire il traffico e soprattutto parla di finanziamento trasversale (argomento gradito alla società dell'Autostrada del Brennero, che attende il dispositivo di attuazione della legge 449/... sul finanziamento per le infrastrutture ferroviarie della linea del Brennero, da prevedere nel piano finanziario trentennale da predisporre per il rinnovo della Concessione), ammettendo forme di finanziamento da una modalità di trasporto più inquinante ad una meno inquinante. Il Libro Bianco prevede, inoltre, che i lavori per la costruzione delle grandi infrastrutture ferroviarie sotterranee, in particolare attraverso le Alpi, vengano incentivati con finanziamenti statali.

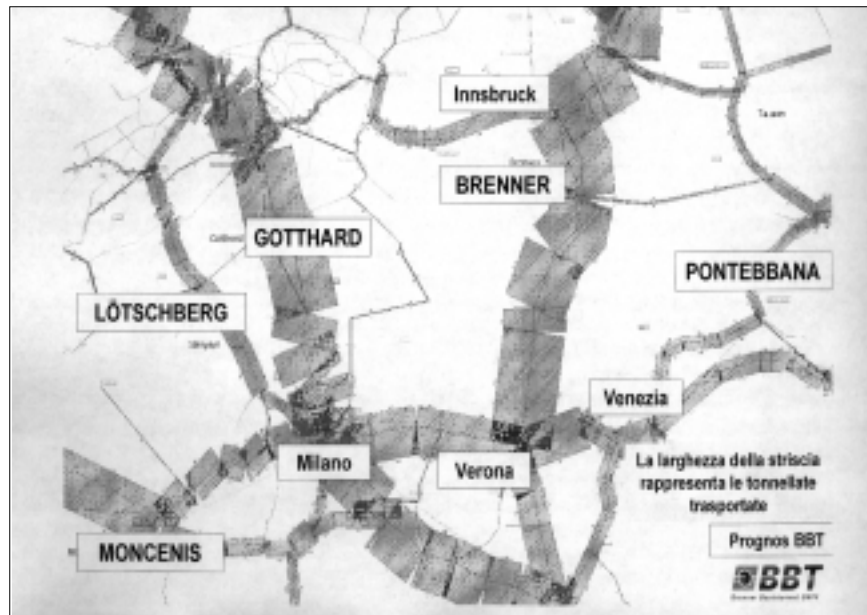
Quali sono le priorità? La realizzazione del quadruplicamento della bassa valle dell'Inn. Si legge nei giornali che il Brennero è un progetto della durata minima di 20 anni e del costo di 20.000 miliardi di lire, mentre in realtà queste sono inesattezze, perché il Brennero può essere un progetto da 5.000 miliardi che si realizzerà in 10 anni anche per fasi. La linea del Brennero, in configurazione finale, sarà in grado di trasportare 60 milioni di tonnellate all'anno, per cui in un primo momento è sufficiente una fase funzionale intermedia che consenta di trasportare 40 milioni di tonnellate e, poi, fra 20-30 anni, la generazione successiva alla nostra potrà provvedere all'ulteriore potenziamento se necessario. La linea del Brennero è fattibile con benefici enormi per tutto l'asse e, soprattutto, per le valli e le popolazioni.

Un'altra priorità è l'incremento del traffico su rotaia all'accesso sud, ma questo è un problema che troverà soluzione con la liberalizzazione dell'accesso all'infrastruttura.

Quest'anno, in Austria, c'è stato anche un incremento di 35 treni merci sull'asse est-ovest e questo la dice lunga sulla volontà che hanno tutti i Paesi al di sopra delle Alpi di crearsi corridoi est-ovest evitando che le merci seguano la via dai porti tirrenici e adriatici verso est.

In Italia c'è questa capacità ancora non sfruttata che sarà opportuno utilizzare quanto prima.

Traffico merci per ferrovia - Previsione al 2015 - Scenario di tendenza



Importante è fare il tunnel di base del Brennero, da Innsbruck a Fortezza, ma servirà sicuramente fare un collegamento in galleria anche fino ad Ora. Questo vuol dire che il sistema sarà costituito da una galleria che parte dalla circonvallazione di Innsbruck lunga 10 km, poi da un tunnel di base lungo 55 km e, infine, da una galleria fra Fortezza ed Ora di 57 km. Si tratta, quindi, di un sistema abbastanza complesso dedicato alle merci che è, a mio avviso, necessario per liberare la Valle dell'Isarco e la Val d'Adige dall'attuale congestione stradale.

Oggi mezzi stradali e ferroviari salgono fino a 1.370 metri (passo del Brennero), mentre la galleria di base consentirebbe di valicare circa 600 metri più in basso, con pendenze più contenute sia a sud che a nord.

Io ho seguito i grandi lavori delle Ferrovie, ma non ho mai trovato un sostegno così grande da parte di tutte le istituzioni politiche ed amministrative come in questo caso, ed anche una così alta tolleranza delle popolazioni. Le popolazioni non sono, per principio, contrarie, ma aspettano delle soluzioni, perché capiscono che questo è un problema che va risolto di comune intesa. Esiste inoltre un quadro legislativo favorevole, perché ci sono due leggi dello Stato che definiscono gli accantonamenti che può fare l'Autostrada del Brennero a favore della ferrovia (autorizzano ad accantonare 3.000 miliardi di lire complessivamente per costruire la ferrovia). Si dovranno attivare quelle autonomie funzionali a cui si è fatto cenno precedentemente

per cui i nostri interlocutori sono già per legge un investitore privato (Autostrada A22 con 3.000 miliardi disponibili); poi si dovranno cooptare altre istituzioni del settore quali Aeroporti, Camere di Commercio, Province, ecc.

Anche l'orografia è favorevole, perché la galleria di base del Brennero è lunga 55 km, ma, in effetti, siccome la valle corre abbastanza bassa (a parte il tratto nei pressi del valico), si possono realizzare vari accessi intermedi (sei o sette). Si tratterà, quindi, di una galleria lunga, ma interrotta ogni dieci chilometri, con la possibilità di uscire all'aperto attraverso delle finestre laterali.

Per finire aggiungo, solo a titolo informativo, che la galleria verrà realizzata a due canne a singolo binario (è stata, infatti, abbandonata l'idea di fare una galleria unica con due binari): questo dà maggiori garanzie in tema di sicurezza e di interventi di soccorso. Le gallerie verranno poi collegate ogni 300 metri da cunicoli, che consentiranno alla gente di evacuare in fase di soccorso.

Abbiamo parlato di tecnica, di traffico e di trasporto: voglio concludere con un augurio. Qualcuno, recentemente, ha detto che ciascuna generazione si deve ricordare che il territorio in cui vive non è un'eredità dei padri, ma è un prestito dei figli: io credo che i nostri padri, anche se con qualche lacuna, questo concetto l'abbiamo capito e mi auguro che anche noi saremo altrettanto lungimiranti, in futuro, rispetto alle prossime generazioni. □

Lo scavo in ambiente urbano: la penetrazione delle linee Alta Velocità

Giuseppe Agostinelli

L'esigenza di intervenire nei centri urbani per razionalizzare ed integrare le modalità di trasporto è oggi molto sentita in quanto i livelli raggiunti dal traffico veicolare, soprattutto privato, comportano una congestione ed un inquinamento inaccettabili.

Solo la realizzazione di un efficiente sistema intermodale che privilegi i mezzi pubblici può consentire una maggiore mobilità riducendo nel contempo sia l'inquinamento da gas che quello acustico.

La realizzazione di questi interventi, risulta estremamente impegnativa non tanto per motivi tecnici ma per tutti i condizionamenti che l'ambiente nel quale si opera impone durante la realizzazione delle opere.

La progettazione di infrastrutture in ambiente urbano, siano esse linee ferroviarie di penetrazione urbana o arterie stradali, prevede la procedura seguente.

L'impatto ambientale che deriva dall'esigenza di realizzare velocemente gli interventi infrastrutturali si scontra, infatti, con gli effetti che la presenza dei cantieri di lavori comportano sul centro abitato interessato dall'intervento. Nei nostri centri urbani, nati e sviluppati nei secoli scorsi, già congestionati per il traffico connesso alle attività attuali, risulta infatti molto problematico gestire e far accettare dalla popolazione, anche se per poco tempo, le ricadute delle attività di realizzazione delle nuove infrastrutture. Le attività costruttive connesse a grossi interventi infrastrutturali comportano infatti un incremento del traffico pesante, stimabile in almeno 100 cicli di trasporto/giorno, la produzione di rumore e polveri, l'interruzione di strade e di servizi; anche se per un limitato periodo si ha quindi un peggioramento dello standard di vita nelle aree circostanti quelle interessate dai lavori.

Definizione progettuale degli interventi e dei cantieri

La soluzione delle tematiche ambientali risulta più condizionante, nella definizione del progetto, degli aspetti puramente tecnici, vista anche la sensibilità

dei cittadini e delle amministrazioni comunali alle questioni ambientali.

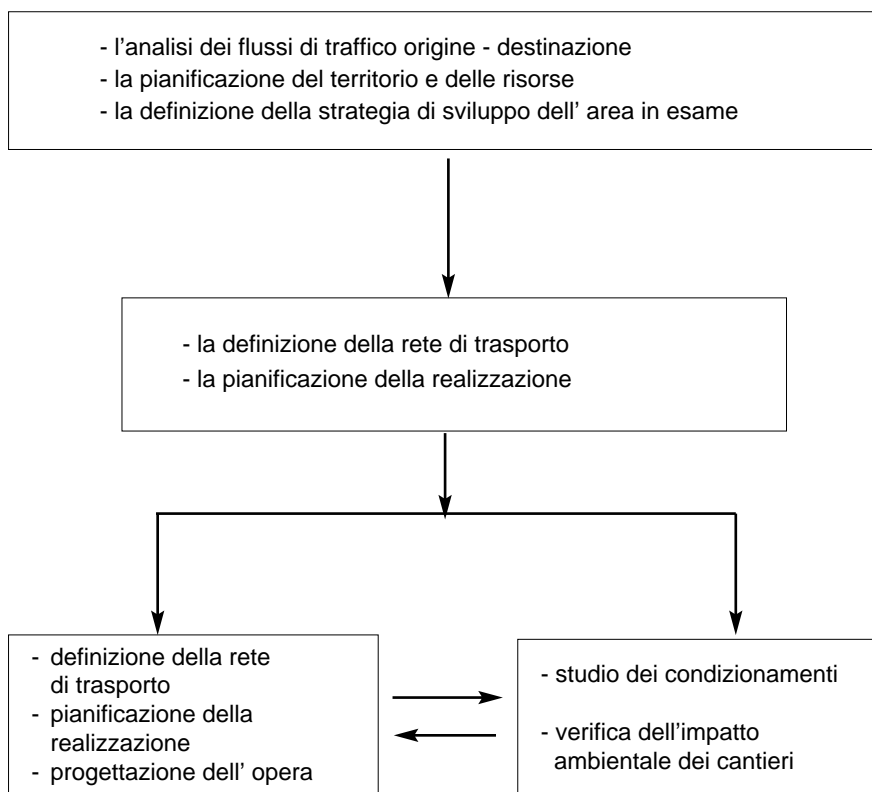
Infatti nella progettazione di una infrastruttura urbana in sotterraneo, mentre:

- si definiscono i punti di interscambio estremi ed intermedi ed il percorso ottimale;
- si identificano i terreni che verranno interessati dallo scavo;
- si identificano le attrezzature più idonee ad effettuarlo;
- le modalità di costruzione sia della linea sia delle stazioni;
- le interferenze con i sottoservizi esistenti e le modalità di soluzione;
- si sviluppano i calcoli strutturali e le varie analisi di fattibilità,

vanno confrontate le soluzioni che si stanno definendo con il contesto cittadino nel quale si opererà per ottimizzarle. Si definirà la posizione dei cantieri e la loro importanza in funzione delle vie di accesso, della possibilità di emettere e/o ridurre l'emissione di rumore e di polveri, delle attrezzature da utilizzare e la scansione operativa in relazione al disturbo ammissibile ed ai vincoli di traffico e di rumore, nonché dalle già citate interferenze sia con eventuali sottoservizi sia con i fabbricati. Come si vede si tratta di un'analisi ambientale che può portare a modificare le scelte che inizialmente, sulla carta, potevano risultare ottimali in base ad analisi tecniche. Per ridurre l'impatto dei cantieri è necessaria un'accurata pianificazione degli interventi, evitando duplicazioni nelle fasi esecutive, prevedendo il riutilizzo delle strutture del cantiere come opere (o parti) funzionali dell'infrastruttura – ad esempio i pozzi di cantiere per lo scavo meccanizzato possono diventare i futuri vani per le stazioni – inoltre devono essere definiti anche quegli interventi sul territorio quali la modifica ed il potenziamento della viabilità esistente, la realizzazione di barriere di abbattimento del rumore nonché la programmazione di interventi di recupero e riutilizzo delle aree destinate ai cantieri per scopi pubblici.

Penetrazione urbana AV in Bologna

Gli interventi previsti per realizzare la penetrazione delle linee Alta Velocità nella città di Bologna possono essere d'esempio per una soluzione alle problematiche di razionalizzazione di un sistema di trasporto urbano integrato. Considerando il solo sistema ferroviario, la realizzazione di nuove linee dedicate al trasporto passeggeri a lunga distanza consente di intensifica-



Ing. Giuseppe Agostinelli - Direttore dei Lavori per Italferr di una tratta di penetrazione urbana a Bologna della linea ferroviaria A.V.



Area urbana circostante l'attuale e la futura stazione A.V. di Bologna

re i trasporti regionali e metropolitani integrando le linee esistenti con quelle in concessione già esistenti, considerando inoltre come i treni merci siano già deviati all'esterno della città tramite le linee di "cintura".

L'attuale Stazione Centrale, che verrà potenziata nei servizi e sarà integrata da una stazione A.V. posta nell'ambito di quella attuale, fungerà da centro di interscambio tra le varie tipologie di trasporto; sul piazzale esterno vi sono terminal per le linee di autobus ed è

Interventi in ambiente urbano.
Opere complesse - in sotterraneo - in spazi ridotti



prevista la connessione sotterranea con la stazione della futura metropolitana cittadina. Ulteriori collegamenti sotterranei sono previsti con parcheggi sia di lungo termine che di interscambio. Per rendere più efficiente il sistema di trasporto urbano sono in corso di realizzazione dodici nuove fermate, poste sia all'interno della città che nei centri limitrofi, connesse con le fermate autobus.

Sono di seguito rappresentati sinteticamente gli interventi programmati.

Interventi principali connessi al sistema A.V.

- Nuova Stazione ALTA VELOCITÀ'
- Linea di Collegamento tra la tratta verso Firenze e quella verso Milano (km 17,876)
- Parcheggio a servizio della stazione di Bologna
- Nuova linea di collegamento verso VERONA
- Nuova linea di collegamento verso PADOVA

Interventi complementari

- Nuovo ingresso indipendente con due binari della linea Pistoia;
- Ingresso nella stazione di Bologna C.le della linea concessa diretta a Vignola;
- Ingresso indipendente nella stazione di Bologna C.le della linea concessa per Portomaggiore;
- Realizzazione di nuove fermate sulle attuali linee ferroviarie per la realizzazione del S.F.M.

- Potenziamento tecnologico della Linea di Cintura (merci);
- Realizzazione di parcheggi a servizio della stazione di Bologna C.le.
- Razionalizzazione del sistema viario nel circondario della stazione e del parcheggio per i mezzi privati e pubblici;
- Predisposizioni per i collegamenti sotterranei tra il servizio ferroviario AV, quello tradizionale e SFM, quello autofilotraviario, la progettata linea metropolitana urbana e il traffico privato.

Tecniche esecutive

Vengono ora descritte le principali tecniche costruttive utilizzate nella realizzazione di linee sotterranee nei centri urbani, basate:

- sulla realizzazione di pozzi e gallerie artificiali;
- sugli scavi a foro cieco.

Il sistema dei pozzi e delle gallerie artificiali

Oggi è applicato per la realizzazione delle stazioni urbane e di gallerie di approccio nella periferia e prevede la realizzazione di opere di sostegno, usualmente paratie, costituite da palificate o setti di diaframma, che fungono anche da strutture definitive e consentono di effettuare lo scavo tra le due strutture già realizzate, successivamente viene eseguita la copertura ed il rinterro dell'opera.

Un notevole miglioramento nei tempi esecutivi e nel dimensionamento delle strutture si ottiene anticipando la realizzazione della soletta di copertura ed il rinterro, lo scavo viene in questo caso eseguito entro il telaio così realizzato, dopo che in superficie sono state ripristinate le precedenti funzioni e servizi. Le attrezzature utilizzate sono ovviamente quelle per fondazioni profonde, sono inoltre presenti autobetoniere, gru, autocarri ed escavatori, quindi tutte le macchine utilizzate per le usuali costruzioni edilizie tradizionali.

È evidente come il fattore più penalizzante di questa tecnica sia l'elevata interferenza con la viabilità ed i servizi esistenti in superficie, che debbono essere interrotti e/o deviati anche più volte. Qualora con tale sistema, conosciuto anche come metodo Milano, vengano realizzate le linee si è in presenza di cantieri che si muovono lentamente lungo il tracciato dell'infrastruttura in costruzione con notevole disagio per tutto il centro abitato. Per questo motivo la tecnica descritta viene oggi limitata a punti ben definiti quali le stazioni o gli accessi intermedi.



Schema ferroviario metropolitano in Bologna

Scavi a foro cieco

Questa tecnica riduce moltissimo i disagi in superficie in quanto vengono predisposti dei cantieri fissi dai quali vengono scavate le nuove infrastrutture. Il disturbo viene quindi concentrato

in punti ben definiti, ed è maggiore la possibilità di ridurre l'impatto conseguente all'emissione di fumi, rumore, polveri ed al flusso dei trasporti. Oggi con queste tecniche vengono realizzate gallerie circolari di diametro compreso usualmente tra i 6,00 ed i

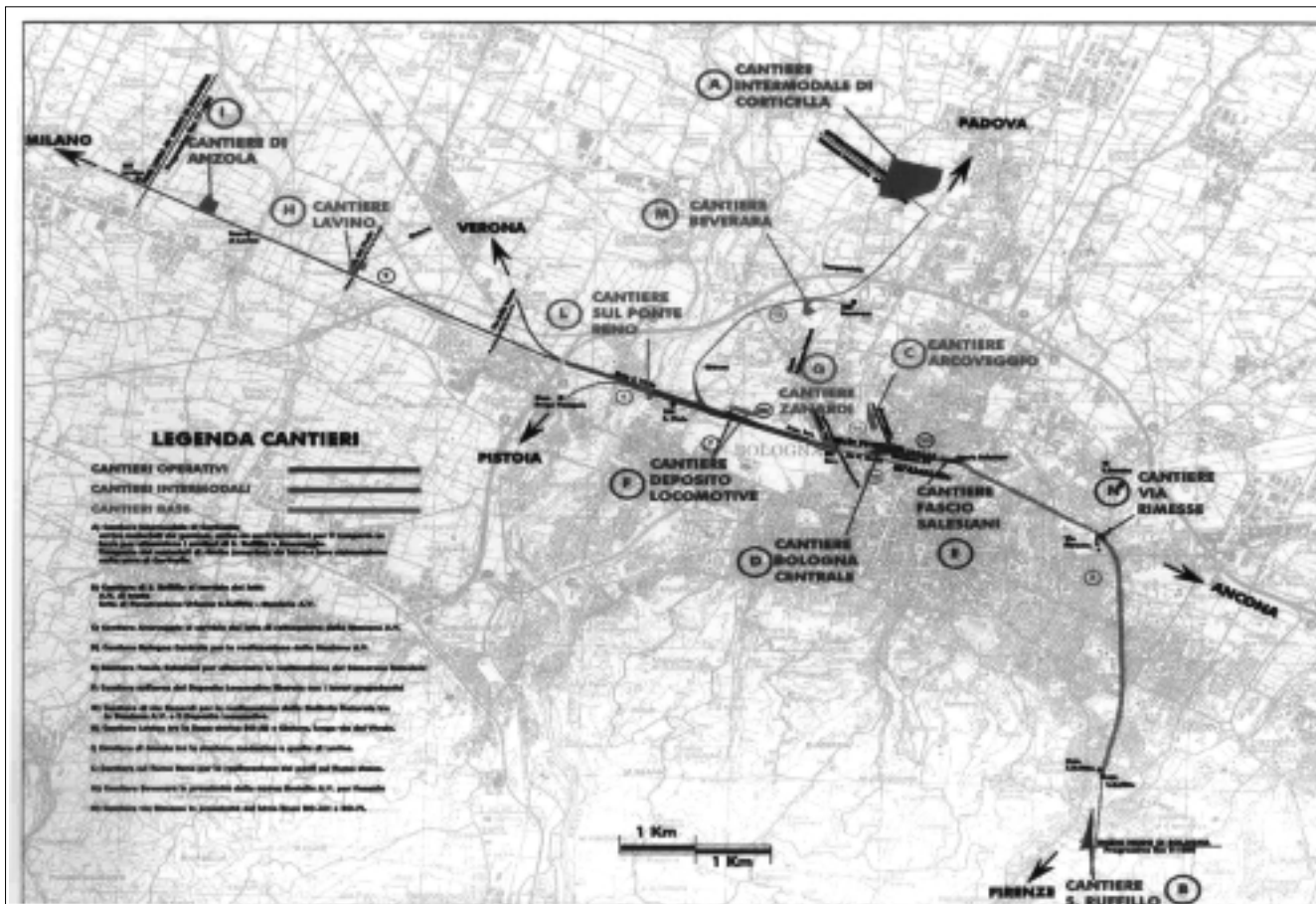
9,50 metri (sono state comunque realizzate frese di 14,70 metri di diametro); indicativamente mentre il diametro minore consente di ubicarvi il binario di una linea metropolitana in quello maggiore possono essere installate o una linea ferroviaria tradizionale o il binario di due linee metropolitane; la scelta di realizzare una o due canne dipende ovviamente da esigenze di tracciato, di sicurezza dell'esercizio, di contenimento dei fenomeni di cedimento superficiale, etc.

Realizzazione del perimetro del pozzo di estrazione frese, utilizzo finale, parcheggio e quattro piani con 300 posti auto



Modalità adottate nello scavo in sotterraneo

La tecnica dello scavo in sotterraneo è stata adottata già dalla prima metà dell'ottocento per lo scavo delle metropolitane di Londra e Parigi. Inizialmente si usavano cunicoli e legname per il sostegno del terreno, mentre la realizzazione della struttura definitiva avveniva per fasi con muratura, si è passati poi al sostegno dello scavo mediante strutture metalliche che costituivano anche la struttura definitiva ed infine si sono introdotti i sistemi di scavo mec-



Schema del tracciato ferroviario A.V. e dei cantieri del Nodo di Bologna.

canizzato, che prevedono lo scavo a piena sezione e la realizzazione di un rivestimento definitivo in conglomerato cementizio. Questi ultimi sistemi, con notevoli miglioramenti, sono utilizzati ancora oggi.

I sistemi di scavo con scudo e le sue evoluzioni sono caratterizzati dal fatto che le due attività principali avvengono operando da cilindro metallico; da un lato vi è il fronte di scavo, sostenuto e scavato con varie tecniche, dall'altro la galleria finita con il rivestimento definitivo già in opera in quanto entro il cilindro vengono montati i conci in conglomerato cementizio (elementi prefabbricati) che costituiscono gli anelli circolari del rivestimento; il cilindro avanza facendo contrasto o sul rivestimento già posto in opera o, nel caso di terreni di sufficienti caratteristiche meccaniche, sul terreno al contorno (sistema usato però prevalentemente in roccia). I vari sistemi si differenziano per le modalità di sostegno del fronte di scavo, di montaggio del rivestimento, di trasporto dei materiali, di realizzazione delle curve, e per tanti aspetti particolari che caratterizzano le diverse case produttrici di macchine.

Scudo tradizionale

Lo scudo tradizionale prevede la possibilità:

di sostenere le pareti dello scavo viene messo in opera il rivestimento prefabbricato; sul fronte invece lo scavo procede alleggerendo il nucleo dopo l'infissione del cilindro tramite la spinta che il cilindro esercita sul rivestimento già in opera.

I settori di scavo e di posa del rivestimento sono separati da un setto dotato di passaggi a tenuta stagna; in presenza di acqua in pressione la camera di scavo può venire pressurizzata.

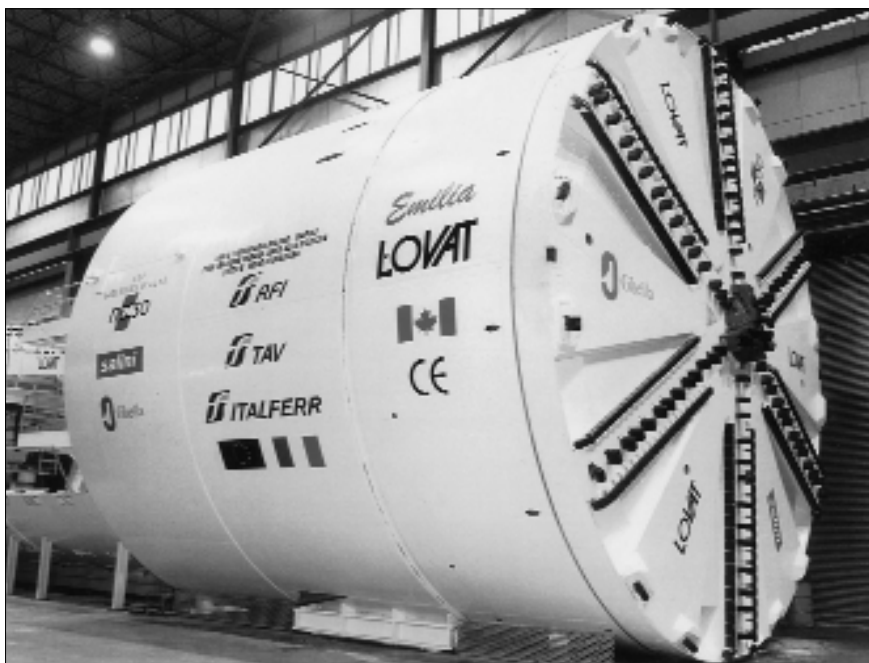
Lo scavo viene effettuato con vari e tecniche, sia dividendo il fronte in vari settori mediante piattaforme fisse poste a varie altezze che consentono di operare agevolmente su aree limitate sia operando a piena sezione con frese puntuali o piccoli escavatori.

I moderni scudi presentano vari miglioramenti quali, sul contorno del cilindro verso il fronte, elementi di sostegno del fronte stesso, ripiegabili, sistemi di scavo con frese puntuali, bracci meccanici o nastri per la movimentazione dei materiali.

Sostegno del fronte con fluidi

Slurryshield

Nei terreni nei quali è necessario contrastare la spinta del fronte di scavo è stata introdotta la tecnica Slurryshield, che prevede la presenza di una testa rotante dotata di utensili di scavo e porte per far cadere il materiale scavato in una camera chiusa detta "camera di fango" ove il materiale viene mescolato con fanghi bentonitici. La miscela costituita dai fanghi (bentonite e terra) equilibra la spinta del terreno non coesivo del fronte da scavare ed all'acqua eventualmente presente, questa tecnica è particolarmente indicata per terreni grossolani ed incoerenti, normalmente interessati da falde. Attualmente sono realizzati impianti a doppia camera, nei quali la pressione sul fronte viene controllata dall'aria compressa posta nella prima camera che agisce sul fango che occupa la seconda. Il materiale scavato, impastato con la bentonite ed allo stato fluido, viene convogliato all'esterno mediante tubazioni e qui trattato per il recupero della bentonite.



Vista laterale di uno dei due scudi TBM che opereranno a Bologna solo per parte dello scavo (a - 20)

In questo tipo di attrezzatura l'efficienza dell'impianto di trattamento e rigenerazione dei fanghi, posto all'esterno della galleria, condiziona la produttività della macchina, dal punto di vista cantieristico è necessario studiare come rendere accettabile l'impatto acustico ed ambientale che tale impianto produce.

Earth Pressure Balanced Shield – EPBS -

Ultimamente è stata introdotta la tecnica EPBS la quale effettua il sostegno del fronte di scavo mediante la stessa terra scavata resa opportunamente plastica con l'aggiunta di acqua e schiume (foto n°9); pale sia fisse che mobili, poste nella camera del fango, mescolano il terreno scavato con opportuni additivi (polimeri - acqua - bentonite) per renderlo plastico. Questo tipo di macchina è più adatto a terreni fini e coesivi.

Usualmente il materiale viene estratto dal fondo della camera del fango mediante un convogliatore a coclea che consente di dosare l'estrazione in funzione dell'avanzamento della macchina, in modo da garantire la prevista pressione di sostegno al fronte di scavo. La coclea scarica il materiale su un sistema di nastri trasportatori che lo porta fino ad un sistema di distribuzione che lo carica sui carrelli che lo trasportano all'esterno.

Altri sistemi prevedono il trasporto mediante sistemi di nastri; vanno però

mantenuti i carrelli per il trasporto dei materiali al fronte, in altri casi, se il diametro della galleria lo permette, si sono utilizzati gli autocarri per effettuare tutti i trasporti.

Oggi esistono macchine che possono essere configurate sia nella forma slurryshield che in quella EPBS in poco tempo e con limitate modifiche e quindi garantiscono una flessibilità operativa notevolissima.

Attrezzatura per lo scavo meccanizzato

Per utilizzare un esempio concreto si fa riferimento alla macchina prevista per lo scavo delle gallerie ferroviarie di Penetrazione Urbana del Nodo di Bologna. L'attrezzatura completa presenta una lunghezza di 195 metri; di questi 10 sono relativi allo scudo mentre i restanti 185 sono costituiti da una struttura ad elementi snodati (back-up) sulla quale sono montati i servizi ed i serbatoi, i binari di ricovero dei treni materiali, il sistema di scarico dei materiali e di carico della terra scavata. Le parti fondamentali e qualificanti di queste macchine sono costituite dall'attrezzatura di scavo e posa del rivestimento contenute nello scudo; per poter realizzare le curve previste e per poter effettuare correzioni di tracciato questo è dotato di uno snodo gestito da martinetti oleodinamici.

L'attrezzatura di scavo è sinteticamen-

te costituita:

- dalla testa fresante e relativi apparati volti allo scavo del terreno, alla sua asportazione, al sostegno del fronte;
- dal sistema erettore che consente la posa in opera del rivestimento definitivo;
- dal sistema di iniezione che effettua l'intasamento tra il rivestimento ed il terreno;
- dal sistema di trasporto e carico del materiale scavato dalla coclea di estrazione ai vagoni.

Testa fresante: è costituita da una ruota dotata di sei razze del diametro di m 9,40; sulle razze e sulla corona circolare sono montati gli utensili per lo scavo, questi possono essere sostituiti sia per usura che in funzione del tipo di terreno; i vani tra le razze, aperti durante lo scavo, possono essere chiusi mediante portelloni per sostenere il fronte in caso di fermi del lavoro e per l'esecuzione degli interventi di manutenzioni; in questo caso si opera dalla retrostante camera, detta camera dei fanghi, che viene svuotata parzialmente. La testa fresante ruota su un cuscinetto di 6 metri di diametro, che costituisce uno dei punti delicati del sistema; al centro infine vi è l'albero motore che viene mosso da motori idraulici alimentati da motori elettrici.

L'avanzamento dello scudo avviene mediante n°18 coppie di martinetti oleodinamici che poggiano sul rivestimento già messo in opera e bullonato e che fanno avanzare lo scudo fino a 1,50 metri, raggiunto tale avanzamento viene sospeso lo scavo e posato un altro anello di rivestimento, retraendo i soli martinetti interessati dal concio che si sta mettendo in opera.

Il materiale scavato, che nella camera dei fanghi viene impastato da lame di miscelazione con schiume per plasticizzarlo, viene estratto da una coclea che lo deposita sul sistema di nastri per il trasporto al punto di carico.

Per l'accesso alla camera dei fanghi, che in certe condizioni può risultare pressurizzata, vi è una doppia camera iperbarica per le compressioni/decompressioni.

Come già detto i vari sistemi di scavo meccanizzato sono caratterizzati dalle modalità di sostegno del fronte e di condizionamento del materiale scavato per l'estrazione ed il trasporto; rimane invece identico tutto il sistema posto a tergo della testa fresante, che procedendo dalla testa verso l'imbocco può essere schematizzato come segue:

- gruppo dei motori elettrici delle pompe e dei motori idraulici che, tramite ingranaggi fanno ruotare la testa fresante;
- sistema erettore: consente il solleva-

mento e posizionamento dei conci del rivestimento,

- sistema di iniezione della malta di intasamento del vano tra il rivestimento prefabbricato ed il terreno, con serbatoio di stoccaggio della malta di intasamento e relativo impianto di carico e miscelazione;
- sistema di scarico dai carrelli e traslazione dei conci sotto l'erettore per la loro movimentazione;
- sistema di trasporto, distribuzione e carico del materiale scavato;
- impianti di trasformazione e distribuzione dell'energia elettrica;
- impianto di stoccaggio e distribuzione della condotta di ventilazione, con sistema di convogliamento dell'aria al fronte;

Per la movimentazione dei materiali provenienti dall'esterno (conci, malte di intasamento, materiali vari) e per il trasporto del materiale scavato (marino) vengono utilizzati convogli composti da carrelli diesel e vagoni a scartamento ridotto, in gallerie di grande diametro (m 9,40) come a Bologna sul fondo del rivestimento viene posata una coppella prefabbricata che consente la posa di due binari; questo per garantire, oltre i trasporti, anche l'accesso in ogni caso ad eventuali mezzi di soccorso; lungo la stessa vengono inoltre realizzati e mantenuti un passaggio pedonale e le linee di alimentazione elettrica, idrica e di ventilazione (per le slurryshield anche le tubazioni di trasporto fanghi).

Per garantire i trasporti è sufficiente un solo binario di servizio, in questo caso può essere posato su traverse al centro della galleria, realizzando ogni 1500 – 2000 metri stazioni di incrocio. Il rivestimento è in conglomerato cementizio armato, a forma circolare, ed è costituito da anelli della lunghezza di m 1,50 composti da sette conci dello spessore di cm 40; il settimo elemento, detto "chiave", è più piccolo degli altri e trapezoidale e serve a mettere in compressione tutto l'anello. Per consentire la correzione di eventuali disassamenti e per realizzare le curve le due facce dell'anello non sono piane ma formano un piccolissimo angolo opportunamente calcolato; la posizione degli anelli quindi viene variata opportunamente per mantenere il tracciato di progetto.

Il cantiere esterno è essenziale per l'efficienza dell'attività di galleria; deve infatti consentire:

- il deposito, lo scarico e l'allontanamento di 1.000 metri cubi di materiale sciolto al giorno, con punte fino a 1.500 metri cubi;
- il deposito della scorta dei conci del rivestimento (una settimana di lavoro equivale all'utilizzo di 70 anelli

pari a circa 500 elementi e richiede di un'area di 1.000 mq);

- i depositi dei materiali vari quali rotaie, traverse o conci di base, tubi e cavi, etc.

Sono inoltre presenti i seguenti impianti:

- le attrezzature di scarico dagli automezzi dei conci di carico sui treni;
- l'impianto di preparazione della malta di intasamento e di carico sui vagoni serbatoio per il trasporto in galleria;
- l'impianto di aspirazione e di pompaggio dell'aria di ventilazione;
- le cabine di trasformazione dell'energia elettrica;
- i serbatoi di accumulo e di raffreddamento dell'acqua industriale utilizzata in galleria;
- l'impianto di depurazione delle acque che provengono dalla galleria;
- le officine i prefabbricati per uffici e per i servizi degli operai.

La produttività delle attrezzature di scavo, in Ambiente Urbano, risulta condizionata non tanto dai terreni che si scavano quanto dai flussi di materiale in entrata ed in uscita. Una produzione di 12 metri/giorno, normale per attrezzature moderne, implica il trasporto di 56 conci (8 anelli completi, 16 autocarri) e di 900 – 1.500 metri cubi di materiale di scavo sciolto, pari a 45 – 75 autocarri) oltre ad altri 3 autocarri medi/giorno per esigenze varie, quindi 65 – 100 cicli/giorno.

I cantieri di supporto alle attrezzature di scavo meccanizzato, per i quali sono da prevedere circa 25.000 metri quadri, devono pertanto essere studiati con un'ottica simile a quelle degli insediamenti industriali, definendo:

- le vie di accesso e gli effetti dell'aggravio al traffico connesso alla circolazione di mezzi pesanti che è prevedibile,
- i livelli acustici connessi alle attività produttive, le tecniche e le attrezzature che consentono di ridurle, le modalità di abbattimento possibili;
- la tempistica sia operativa sia dei trasporti per ottimizzare il ciclo produttivo delle attrezzature;
- la produzione di polveri e le modalità di contenimento e/o abbattimento;
- le interferenze sia con i fabbricati esistenti in modo da garantire lo standard di vita che la sicurezza sia con i sottoservizi, studiando le deviazioni in modo da non ridurne la funzionalità.

Nel cantiere di scavo delle gallerie con sistema meccanizzato di Bologna già in Conferenza dei Servizi fu previsto che i trasporti sarebbero stati effettuati tramite treno, data la vicinanza del cantiere ad una stazione ferroviaria. Questo impone sia la costruzione di

uno scalo ferroviario di 50.000 mq, dedicato per il carico e lo scarico dei materiali. Questa scelta elimina il trasporto su gomma, non aggrava il problema dell'inquinamento da gas di scarico e non appesantisce la viabilità, pone però problemi di impatto acustico sull'ambiente, sia per le attività ferroviarie che per quelle di carico del materiale di scavo. Per ridurre questa problematica il terreno, trasportato con nastri, viene caricato mediante un sistema di distribuzione che trasla sui vagoni in sosta su due binari racchiusi in un capannone isolato acusticamente delle dimensioni di 200x10 metri.

Va valutata attentamente la modalità di movimentazione e carico del materiale proveniente dagli scavi, fluido, e di movimentazione dei carichi, che necessita di carri ponte di notevole portata. Infatti solo per la movimentazione dei conci occorre considerare lo spostamento di 230 – 360 tonnellate/giorno in funzione del diametro, occorre ovviamente aggiungere tutti gli altri carichi.

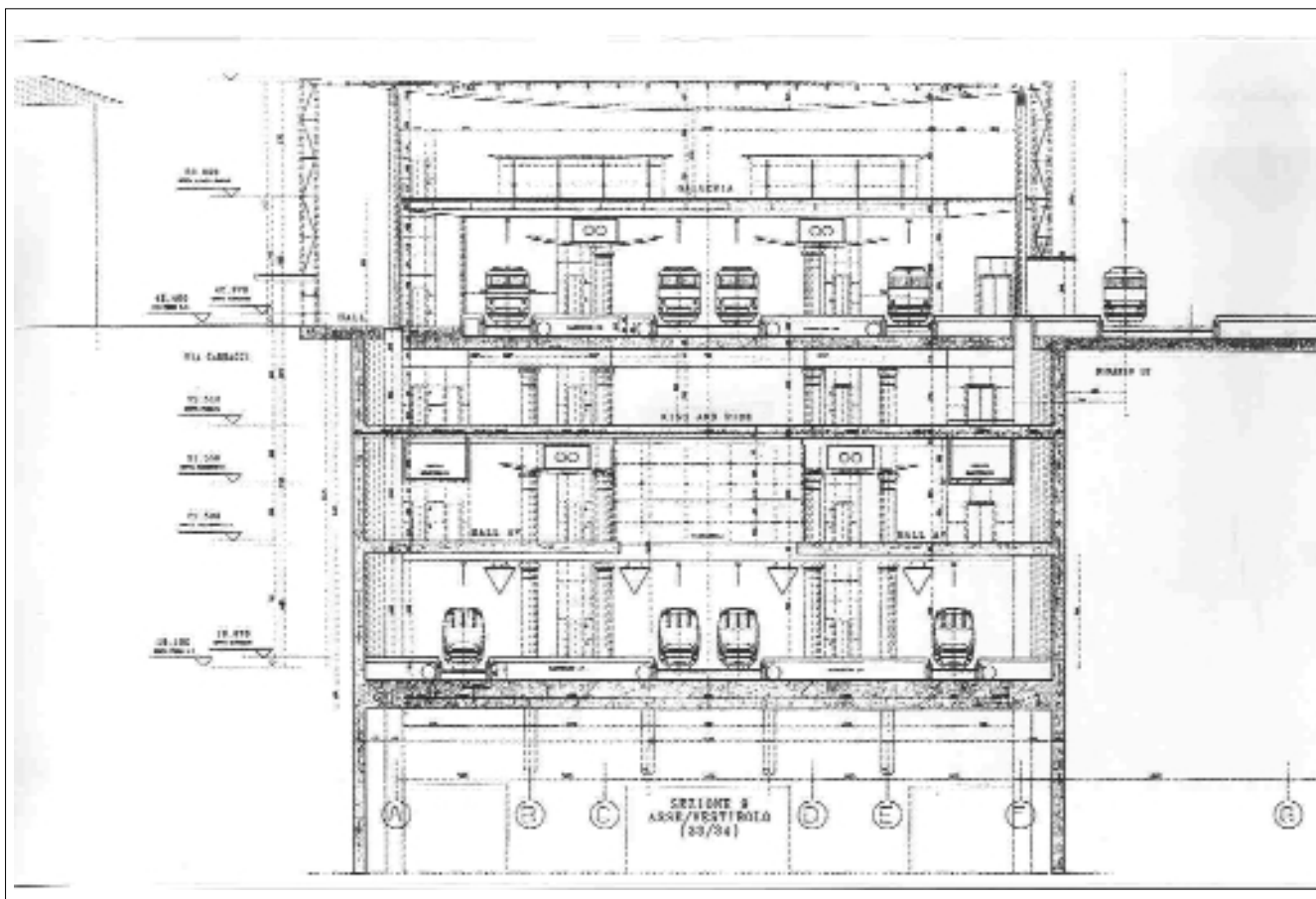
È molto importante anche la definizione dello stabilimento destinato alla prefabbricazione dei conci del rivestimento, vi sono due modalità produttive: a carosello o con casseri fissi.

Per la realizzazione della gallerie di Bologna è stato scelto un impianto a carosello: consiste in una serie di 26 carrelli (quattro anelli completi) che percorrono un circuito rettangolare; su un lato lungo vi è la serie di stazioni di confezionamento del concio e sull'altro il forno per la maturazione a vapore.

Il ciclo prevede la seguente sequenza: il cassero vuoto e pulito si presenta nel punto dove viene messa in opera della gabbia di armatura prefabbricata, quindi vengono posati i distanziatori e chiuse le porte del cassero, viene effettuato il getto e la vibratura, quindi aperte le porte superiori del cassero il carrello entra in un forno a tunnel per la stagionatura a vapore a bassa temperatura, dopo 7 ore esce dal forno già parzialmente raffreddato ed in ambiente protetto avviene lo scasso del concio; quindi il carrello viene pulito e predisposto per un altro ciclo.

I conci, dopo o scassero, completano il raffreddamento, nel frattempo vengono puliti e montate le guarnizioni che garantiscono l'impermeabilità della galleria; vengono quindi stoccati all'aperto in attesa della messa in opera.

Questo tipo di impianto presenta un ciclo di produzione dura 8 ore e consente una produzione di 12 anelli (84 elementi) completi sulle 24 ore; occupa un'area di 20.000 mq dei quali 12.000 per la zona di stoccaggio. La produzione di questo tipo di impianti è



Schema stazioni A.V. al piano campagna attuale i treni del servizio tradizionale, a -25 metri quelli del servizio A.V.

paragonabile al fabbisogno giornaliero di una attrezzatura di scavo.

Un altro sistema per la produzione dei conci prevede l'utilizzo di casseri posti su linee di prefabbricazione posati sul pavimento di un capannone, tramite carroponte si cala l'armatura e si effettua il getto, dopo la vibratura a banco i casseri vengono coperti con teli e, se del caso, somministrato vapore per accelerare la maturazione. La produzione dipende dal numero di casseri, mentre il ciclo produttivo è di un elemento al giorno per cassero.

Monitoraggio

La realizzazione in ambiente urbano sia delle gallerie con scavo a foro cieco sia dei pozzi dei cantieri o delle stazioni impone il controllo delle deformazioni del terreno per evitare che i fenomeni di decompressione e subsidenza possano danneggiare le strutture limitrofe.

Il monitoraggio delle deformazioni consente inoltre di valutare la qualità della

realizzazione dello scavo e dell'intasamento che viene effettuato tra l'anello prefabbricato ed il terreno, intasamento, che consente anche di proteggere ed impermeabilizzare il rivestimento definitivo.

Per valutare la quantità di sovrascavo che non viene riempito e quindi innescare le deformazioni si opera tarando opportunamente i parametri di funzionamento della macchina, quali - spinta sulla testa - volume scavato - quantità di miscela iniettata - riuscendo ad ottenere valori dello 0,2 - 0,4% di sovrascavo.

In condizioni normali di profondità e distanza da fabbricati questo equivale a deformazioni che vengono assorbite dagli edifici alcun problema.

Le sezioni di monitoraggio principali sono composte da inclinometri, assettimetri e piezometri disposti trasversalmente all'asse della galleria. Uno schema tipico prevede che le letture vengono effettuate iniziando con una distanza in anticipo pari ad almeno tre diametri rispetto al fronte di scavo e continuata con cadenza almeno gior-

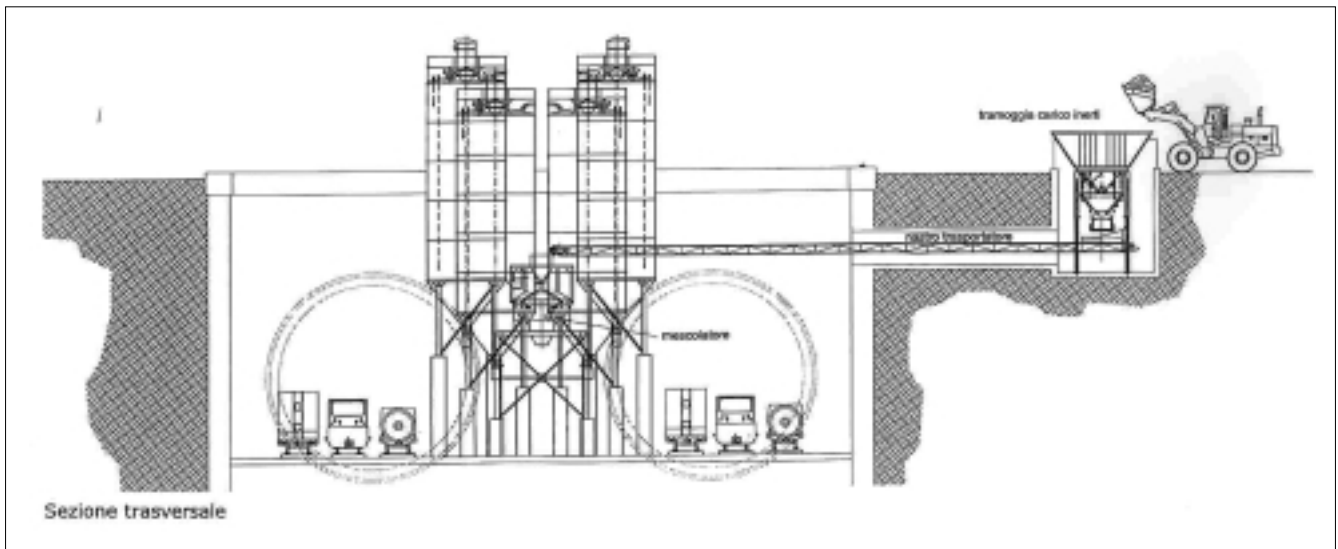
naliera finché si sia allontanato di almeno altri tre diametri, quindi le letture continuano con cadenza più rada fino alla stabilizzazione completa.

Oggi sono disponibili strumenti di acquisizione dati a lettura automatica con la trasmissione dei dati a punto remoto; è quindi possibile, per i giorni critici, avere un'acquisizione ed una visione dei dati in continuo.

Le sezioni sopra descritte sono integrate da monitoraggi puntuali di opere sensibili e da un rilievo e controllo topografico di precisione di caposalda posti sui fabbricati circostanti. Questo controllo topografico permette, oltre a verificare gli abbassamenti dei punti considerati, anche di estendere le analisi che possono essere effettuate nei punti monitorati dalle sezioni attrezzate.

Caratterizzazione e gestione del materiale di scavo

Un aspetto delicato da pianificare attentamente è quello della definizione delle aree di conferimento del materia-



Schema di un pozzo di cantiere per gallerie scavate con sistema meccanizzato (EPV)

le scavato. Sono infatti normali produzioni di 900 – 1.500 metri cubi di materiale al giorno; produzioni che si prolungano per qualche anno.

Inoltre gli insediamenti antropici ed industriali delle aree urbane oggetto dei lavori possono aver causato l'inquinamento dei suoli interessati dai lavori. In fase progettuale vanno quindi definiti sia il piano di conferimento del materiale di scavo sia quello di caratterizzazione preventiva dei terreni per l'identificazione di possibili zone inquinate; durante l'esecuzione dell'opera, inoltre, dovrà essere effettuata una continua verifica dei materiali che proven-

Realizzazione del perimetro del pozzo di partenza frese - utilizzo finale - galleria artificiale di trascrizione verso quelle a foro cieco.



gono dagli scavi per la conferma dei dati già acquisiti in fase progettuale e per gestire correttamente i materiali che, se inquinati ed in funzione del tipo e della concentrazione dei prodotti rilevati, possono essere oggetto di disinquinamento o conferiti a discariche idonee.

È inoltre opportuno uno studio dei materiali di risulta per prevederne, se possibile, il riutilizzo; in particolare la frazione lapidea ma anche quella fine (limi argillosi), che può essere ad esempio utilizzata per la produzione di laterizi.

Considerazioni sui metodi di scavo meccanizzato

La costruzione in sotterraneo mediante le sofisticate attrezzature illustrate si configura come un sistema costruttivo industrializzato che ha soppiantato, nella costruzione di gallerie in terreni sciolti ed in ambiente urbano, tutte le tecniche di scavo tradizionali precedentemente adottate.

Oltre a ridurre le deformazioni del terreno in superficie e consentire l'immediata realizzazione di una struttura definitiva garantisce velocità esecutive stimabili in 8 – 12 metri/giorno di galleria finita, con una qualità costruttiva industriale che soddisfa tutti i requisiti di qualità, sicurezza ed igiene del lavoro oggi prescritti.

Lo scavo delle gallerie quindi non è più "un'arte" legata all'esperienza pratica come era fino ad oggi concepita, ma un'attività industriale che definisca un ciclo produttivo da ripetersi ogni 1,50 metri, quindi migliaia di volte, che con-

sente una ottimizzazione dei cicli e delle attrezzature.

In questo modo sono drasticamente ridotte le fonti di inquinamento da gas di scarico, essendo ridotte le attrezzature diesel, e le attività produttive sono concentrate al fronte, ove tutte le movimentazioni sono meccanizzate. Operazioni pericolose rimangono quelle di manutenzione entro la camera dei fanghi, effettuate principalmente per la manutenzione degli utensili di scavo o dei taglienti. Oggi comunque la gran parte di queste attività di manutenzione è effettuabile dall'interno della camera chiusa e quindi in ambiente protetto.

Anche il cantiere esterno opera a livello industriale, in quanto vengono effettuate soltanto operazioni di carico e scarico dei componenti e delle terre.

Questo comunque evidenziando come ogni costruzione civile sia un'esperienza unica, un prototipo, in quanto variano sempre le condizioni ambientali al contorno e, per le gallerie, i terreni entro le quali vengono realizzate.

Aspetti di inserimento ambientale

Mentre lo scavo in sotterraneo è diventato un'attività industriale rimane un'attività "artistica", a mio avviso, la capacità di inserire i cantieri produttivi in un contesto urbano. Infatti tutti vogliono usufruire di efficienti infrastrutture purché queste vengano costruite disturbando gli altri. Quindi vanno attentamente esaminati tutti quegli aspetti che consentano di ridurre l'impatto dei cantieri senza ridurre l'operatività e/o la sicurezza. Ad esem-

pio per la sospensione del ciclo di scavo la decompressione del terreno si concentra ed amplia al fronte, con possibilità di problemi alla ripresa dello scavo. E la sospensione delle attività nel fine settimana e/o di notte è la prima richiesta che viene fatta.

Viene infatti incrementato sia il traffico pesante (inquinamento da rumore e gas nocivi, oltre alla minore viabilità) sia la produzione di rumore e polveri connessi all'operatività dei cantieri stessi. E inoltre prevedibile l'interruzione di strade e la necessità di deviare i servizi esistenti, con disagi e temporaneo peggioramento dello standard di vita nelle aree limitrofe ai cantieri stessi.

Quindi è necessario prevedere sia barriere di insonorizzazione che la segregazione, per quanto possibile, delle attività rumorose e studiate le modalità di abbattimento delle polveri.

La necessità di ridurre questi impatti impone un attento studio dell'ubicazione e delle fasi operative dei cantieri, e l'adozione di attrezzature di scavo, di modalità operative, di cicli e turni di lavoro compatibili con l'ambiente circostante; può succedere che i cantieri risultino penalizzati sia in ambiti già disturbati, ove non è facile restare nei limiti consentiti, sia in aree poco disturbate ove i limiti ammissibili risultano molto più penalizzanti.

Soluzioni progettuali adottate nella penetrazione AV di Bologna

L'opera più prestigiosa dell'intero intervento è la nuova "Stazione Alta Velocità", che come già espresso risulta il punto nodale di tutto il sistema trasporti, essenziali poi le linee di accesso sud e nord.

"Stazione Alta Velocità"

Si pone in corrispondenza dell'attuale stazione, sotto i binari posti dall'altro lato della stazione; con una lunghezza di 650 metro ed una larghezza di 30 metri; il piano ferro è posto a 24 metri di profondità dal piano del ferro attuale. La sua realizzazione è divisa in due fasi funzionali; quella relativa alla parte strettamente ferroviaria prevede:

- il piano binari per i treni "Alta Velocità" posta a 24 metri dalla superficie – sono previsti quattro binari serviti da marciapiedi;
- un "Piano servizi – Hall" posto a – 16 metri, a disposizione dei passeggeri in attesa, è collegata tramite scale ed ascensori ai piani soprastanti e sottostanti;
- un "Piano viabilità (kiss and ride) sia stradale che pedonale" posto a – 8

metri per l'accesso viario sia privato che pubblico al complesso "Stazione";

- i binari di stazione per i treni tradizionali al piano stradale attuale, collegato con la stazione AV sottostante mediante scale ed ascensori;

Vengono inoltre realizzati nell'ambito dell'intervento i collegamenti tra i vari sistemi di trasporto; con i parcheggi ed il potenziamento della viabilità urbana. La seconda fase è invece relativa alla realizzazione di una futura "Nuova Stazione Centrale" della città; con riqualificazione dell'intera zona oggi occupata dalla stazione ferroviaria e ricucitura del tessuto urbano.

Linea di accesso sud

Prevede la realizzazione di una galleria artificiale di imbocco, lunga 900 metri, di due gallerie parallele della lunghezza di 6.150 metri scavate con sistema meccanizzato, a binario unico; dotate di passaggi di intercomunicazione ogni 250 metri; da un pozzo di 24 metri di profondità, 20 metri di larghezza e 200 metri di lunghezza di arrivo delle gallerie monobinario, dove sono ubicati le comunicazioni tra i binari e quattro piani di parcheggio sotterraneo ed un tratto di galleria a due binari di arrivo alla stazione, della lunghezza di 124 metri. È prevista inoltre la realizzazione di un pozzo di accesso intermedio alle gallerie a semplice binario.

È importante sottolineare come le gallerie monobinario scavate con tecnica EPBS corrono in area ferroviaria sotto i binari dell'attuale linea Bologna – Firenze. Questa soluzione, se diminuisce l'interferenza con fabbricati o altre strutture urbane, impone di monitorare i binari ferroviari per verificarne l'assetto. Delicato inoltre risulta il sottopasso delle strutture di fondazione di alcuni viadotti ferroviari in mattoni della citata linea Bologna – Firenze.

Linea di accesso nord

Prevede la realizzazione di una galleria naturale a doppio binario della lunghezza di m 1.200, scavata con sistemi tradizionali, una galleria artificiale della lunghezza di m 2.000, dalla quale si dipartono i due ulteriori gallerie artificiali per i binari di svincolo della linea verso Padova; un tratto di linea allo scoperto, fino al fiume Reno, ove verranno realizzati due viadotti a 15 campate da 23 metri, e infine gli ultimi 7.500 metri di linea per il collegamento con la tratta Bologna – Milano; da questo tratto di linea si dipartono i due binari della linea verso Verona.

Gli interventi progettati non prevedono

massicce occupazioni di aree cittadine, in quanto la maggior parte delle opere in superficie quali la stazione ed il parcheggio vengono realizzate su aree già ferroviarie, le nuove linee ferroviarie saranno realizzate sotto quelle esistenti (penetrazione sud) o in proprietà ferroviaria, nuove aree verranno acquisite solo in località San Ruffillo, ove inizia la linea di penetrazione sud, ma al termine di lavori le stesse, dopo una parte riambientalizzazione, verranno destinate a verde pubblico, ed in affiancamento alla linea Bologna – Milano, verso nord, su aree periferiche di limitato pregio.

Situazione delle attività

Gli accordi relativi alla realizzazione delle opere sono stati formalizzati mediante la "Conferenza dei Servizi" tenuta con il Ministero dell'Ambiente, Ministero dei Trasporti, Ferrovie dello Stato SpA, TAV SpA, Regione Emilia Romagna, Provincia di Bologna, Comune di Bologna, e conclusa il 7.7.97.

In tale sede sono state tra l'altro affrontate le problematiche generali connesse anche all'impatto delle opere e dei cantieri, all'incremento dei trasporti ed al rumore connesso alle lavorazioni, valutandone l'impatto sulla città e dettando le regole generali di comportamento e di valutazione delle problematiche. Era comunque previsto che l'effettiva valutazione dell'impatto dei cantieri sarebbe stato effettuato dopo l'affidamento dei lavori, in quanto le scelte organizzative risultano di competenza degli Appaltatori.

Successivamente alla Conferenza Servizi sono stati redatti i progetti esecutivi delle opere effettuate le gare ed affidati i lavori; attualmente sono state risolte gran parte delle problematiche connesse all'impatto ambientale dei cantieri, al riordino della viabilità in conseguenza dei nuovi flussi di traffico generati dai cantieri, recependo le esigenze e le variazioni intervenute in ambito cittadino dal 1997 ad oggi e sono iniziate le attività produttive.

La Variante di Valico: l'attraversamento autostradale degli Appennini

1ª relazione

Descrizione dell'opera

Mario Bergamo

Le motivazioni della Variante di Valico

Da circa venti anni, cioè fin dagli anni '80, si sono profusi sforzi da parte dell'allora Ministero dei LL.PP., dell'ANAS e della Società Autostrade per giungere all'approvazione di quei progetti che consentissero di realizzare il potenziamento della tratta appenninica dell'Autosole. Questo lunghissimo periodo di tempo è stato causato dalla complessità dell'opera e soprattutto dalle molteplici ricadute che la stessa comportava sul territorio a causa delle quali il Ministero dell'Ambiente ha richiesto approfondimenti progettuali sui possibili tracciati. La conclusione del tormentato iter approvativo e progettuale si è avuta con la delibera del Consiglio dei Ministri del 9 Agosto 2001 che ha di fatto confermato il progetto precedentemente approvato dall'ANAS e dagli Enti locali.

Il Sistema Nazionale Integrato dei Trasporti, individuato nel nuovo Piano Generale dei Trasporti e della Logistica del 2001, definisce una serie di interventi urgenti finalizzati al miglioramento di evidenti criticità funzionali. In particolare per quanto concerne le autostrade gli interventi ritenuti prioritari si riferiscono alla messa a norma delle autostrade esistenti, al completamento dei corridoi longitudinali di cui fanno parte il Tirrenico, l'Adriatico ed il Dorsale – nel quale rientra la Variante di Valico – al potenziamento o creazione di by-pass per alleggerire la pressione sui grandi nodi metropolitani, al potenziamento della trasversale Sicilia – Calabria – Puglia, all'ammodernamento della Salerno – Reggio Calabria ed al completamento degli assi insulari Messina – Palermo, Messina - Siracusa – Gela e Cagliari Sassari.

Il progetto di potenziamento del tratto appenninico della A1 tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello si inserisce in un programma di potenziamento autostradale riferito all'intero tratto compreso fra Bologna e Firenze che

riguarda l'ampliamento a tre corsie del tratto Casalecchio - Sasso Marconi ed il potenziamento del tratto Barberino del Mugello - Incisa Valdarno.

La realizzazione degli interventi previsti sul tratto Sasso Marconi – Barberino, consentirà di risolvere le principali criticità oggi riscontrabili sulla tratta:

- La congestione del traffico mediamente pari a 47.000 unità/giorno – di cui 13.000 merci – con punte di 60.000 unità/giorno;
- I livelli di servizio inferiori rispetto agli standard della rete;
- l'integrazione territoriale, e la salvaguardia ambientale.

Il volume di traffico che si registra sull'asse risulta più che doppio rispetto di quello previsto originariamente in sede progettuale ed addirittura quadruplo se si considerano solamente i mezzi pesanti.

In base ai dati del Conto Nazionale dei Trasporti, si apprende che nel solo segmento autostradale della Bologna – Firenze transita una quantità di mezzi pesanti pari al 15% del totale delle tonnellate che viaggiano sulla rete ferroviaria;

Per quanto concerne l'area fiorentina, è stato in particolare ritenuto prioritario l'intervento di realizzazione della terza corsia Firenze Nord – Firenze Sud. In questo tratto oltre al traffico di lunga percorrenza vi è una forte presenza di traffico pendolare e turistico, ed il progetto di terza corsia è caratterizzato proprio dalle numerose opere di integrazione fra tracciato autostradale e rete urbana quali la viabilità di accesso alla città, ed i parcheggi di interscambio necessari per facilitare la sosta del mezzo privato utilizzato per la percorrenza extraurbana e favorire l'accesso al mezzo pubblico per gli spostamenti cittadini.

Relativamente al tratto appenninico dell'autostrada del Sole, aperto al traffico il 3-12-1960, la necessità di realizzare la Variante di Valico nasce dal fatto che l'attuale tracciato costituisce una vera e propria "strozzatura" del sistema dei trasporti, che penalizza i collegamenti tra il Nord ed il Sud del Paese.

In questo punto, infatti, i volumi di traffico prima richiamati si rapportano con le caratteristiche plano - altimetriche, tipiche di un'autostrada di montagna progettata e realizzata tra la fine degli anni 50 e gli inizi degli anni 60 con normative e tecniche costruttive dell'epoca; vi sono pendenze superiori al 2% per buona parte della lunghezza (>41%), 85 fra ponti e viadotti, 25 gallerie.

Il tratto progettato per una velocità media di 80-100 km/h è oggi percorso ad una velocità media di 60 km/h per i veicoli leggeri e 40 km/h per i pesanti, con rallentamenti e code dovute alla presenza di cantieri di manutenzione delle strutture e del corpo stradale, determinata oltre che dall'anzianità di "servizio" dell'autostrada anche dalle sollecitazioni indotte dal traffico commerciale, che ha presentato una crescita ben superiore a quella originariamente prevista.

Condizioni meteorologiche avverse (pioggia, neve ghiaccio e nebbia) normalmente si presentano nel periodo ottobre - marzo.

Il potenziamento di tale tratto autostradale risultava, tra l'altro, tra gli interventi previsti anche dal precedente Piano Generale dei Trasporti (PGT) quale componente del Corridoio Plurimodale Dorsale Centrale, nonché nei Piani Integrati dei Trasporti (PRIT) delle Regioni Toscana e Emilia Romagna.

Le forti motivazioni a monte del progetto di potenziamento hanno fatto sì che già dall'inizio degli anni '80 venissero avviati degli studi di fattibilità per ricercare le soluzioni tecniche migliori per intervenire sull'infrastruttura.

Nella determinazione delle alternative di tracciato furono acquisiti gli studi sulla mobilità eseguiti al fine di valutare sia gli effetti prodotti dal potenziamento della viabilità di grande comunicazione in direzione Nord – Sud e/o altre modalità di trasporto in termini di deviazione del traffico sulla ferrovia Bologna – Firenze, sia gli andamenti presumibili del traffico autostradale nel tratto in esame sul breve, medio e lungo periodo.

Relativamente al potenziamento della viabilità di grande comunicazione furono presi in considerazione i previsti completamenti della Autostrada Tirrenica, della Roma – L'Aquila – Teramo, il programmato tratto di interconnessione tra la A22/Brennero e la A15/Cisa, il Collegamento Fiano S.Cesareo sulla A1 ed il completamento della E45 tra Orte e Cesena. Furono poi esaminati gli effetti determinati sul traffico autostradale dall'attuazione del piano di potenziamento delle ferrovie e la possibile ripartizione tra le due modalità.

Sulla base di tali studi furono analizzate 13 soluzioni alternative riconducibili a 5 principali direttrici:

- Modena – Lucca – Livorno
- Modena – Pistoia
- Variante di valico
- Imola – Incisa

- Forlì – Arezzo

Dal punto di vista del traffico si evidenzia, e questo è stato confermato anche dalle più recenti verifiche richieste dal Ministero dei Lavori Pubblici, che sia le soluzioni ad est che quelle ad ovest della A1 non erano in grado di risolvere, se non limitatamente ai problemi dell'Appennino e pertanto potevano essere considerate più che alternative delle possibilità di integrazione.

Il progetto della Variante di Valico

Le principali caratteristiche dell'intervento di adeguamento funzionale del tratto fra Sasso Marconi e Barberino del Mugello prevedono tre diverse modalità di tracciato in conseguenza di specifiche problematiche trasportistiche, morfologiche ed ambientali.

Tratto Sasso Marconi - La Quercia

Per la prima parte tra Sasso Marconi e La Quercia (Rioveggio), di lunghezza 20 km (dal km 199+520 al km 219+267), l'autostrada è interessata per i primi 5 km da allargamenti a tre corsie della sede attuale.

Segue una prima rettificazione di tracciato in prossimità dell'abitato di Sasso Marconi, le cui opere più importanti sono il viadotto Reno (718 m) e la galleria Monte Mario (2300 m).

Subito fuori della galleria, superata la S.S. 325 della Val di Setta, l'autostrada si colloca sulla sede esistente con l'asse spostato di 8 m ad est per evitare l'occupazione del letto del fiume Setta.

Questo tratto di nuova autostrada, praticamente quasi tutto il galleria tra la valle del Reno e del Setta, permette di saltare l'attuale tortuoso tracciato di circa 4 km che fiancheggia l'abitato di Sasso Marconi caratterizzato da un andamento plano-altimetrico con elementi geometrici al di sotto degli standard necessari ai volumi di traffico ed alla velocità di progetto attuali. In questa zona sono ubicati il nuovo svincolo e la nuova stazione di Sasso Marconi; l'attuale svincolo allorché dismesso sarà utilizzato a servizio della viabilità ordinaria (SS 64 e 325).

In prossimità dell'abitato di Lama di Setta, si prevede una seconda rettificazione, anch'essa quasi totalmente in galleria e viadotto: complessivamente le due rettificazioni permettono l'eliminazione di alcune curve e la riduzione del tracciato di circa 1 km. In corrispondenza delle due rettificazioni è prevista la dimissione dell'attuale sede autostradale che verrà demolita o declassata a

variante della S.S. 325. Il progetto così articolato, in relazione anche alle indicazioni fornite dagli Studi di Impatto Ambientale, è finalizzato al miglioramento delle caratteristiche geometriche del tracciato mediante l'eliminazione delle curve a basso raggio, all'allontanamento dello stesso dalle aree di rispetto del fiume Reno (che verrà sovrappassato dall'omonimo viadotto) e dagli abitati di Sasso Marconi e di Vado con riduzione del rischio di inquinamento acustico atmosferico e idraulico del fiume Setta. A questo proposito, particolare cura è rivolta alla tutela del patrimonio idrico, attraverso il nuovo collegamento idraulico tra il fiume Reno e il centro di potabilizzazione Val di Setta. Sono previste centraline di monitoraggio che controllano la qualità dei principali corsi d'acqua. Tre collettori fognari nel Comune di Marzabotto, allontanano le acque di scarico dei centri abitati dalle nuove prese del Reno, convogliandole nei nuovi depuratori. Sono inoltre previste vasche di decantazione, poste lungo il tracciato autostradale, dove verranno convogliati i liquidi inquinanti accidentalmente sversati sulla sede autostradale.

Tratto La Quercia - Aglio

Per la seconda parte fra La Quercia (Rioveggio) ed Aglio, di 32,5 km (dal km 219+267 al km 255+593), che costituisce un raddoppio fuori sede dell'attuale A1 e rappresenta la vera e propria "Variante di Valico", è stata prevista una nuova sede a due corsie per senso di marcia;

Il sistema costituito dai due itinerari realizzerebbe, proprio nel tratto ove più serve, un sistema ad elevata capacità e ad elevata affidabilità in quanto consentirebbe di gestire il traffico, per via telematica, tra i due percorsi in funzione dell'accadimento degli eventi (incidenti, cantieri di manutenzione, eventi atmosferici avversi, ecc.) garantendo sempre un itinerario di deflusso. In questa lunga tratta, il nuovo asse correrebbe ad una quota progressivamente inferiore rispetto all'autostrada attuale: infatti a partire da Rioveggio (località La Quercia) l'autostrada in esercizio sale con forti pendenze ed elevata tortuosità verso Pian del Voglio e poi verso il valico di Citerna, mentre la variante si svilupperebbe con ampie curve e basse pendenze fino a Badia Nuova dove imbocca la nuova galleria di base. Ciò si rende possibile nel rispetto ambientale, sviluppando più della metà del tracciato in galleria nonché prevedendo la realizzazione di importanti opere di protezione ed inte-

grazione ambientale. A metà circa di questa tratta, all'altezza di Pian del Voglio, è stato previsto un interscambio di servizio tra i due itinerari: esso consentirebbe, superando il dislivello di 90 metri esistente in quel punto tra i due tracciati, connessione tra l'autostrada in esercizio, posta a quota di 534 m s.l.m. (parcheggio Ca'Nova) e la variante posta a quota 447 m.

In corrispondenza dei punti iniziali e finali della Variante di Valico, dove il nuovo tracciato confluisce sull'attuale A1, il traffico proveniente sia da nord che da sud avrebbe la possibilità di scegliere la tratta di percorrenza (l'attuale o la nuova). Il tratto in variante comprende la Galleria di Base di circa 8600 Km di sviluppo con valico posto a quota 490 s.l.m..

Per tale opera che risulta la più rilevante dell'intero tracciato, sono stati eseguiti i cunicoli pilota che hanno consentito di individuare l'esatta natura geologica del sottosuolo nei tratti ove è stato possibile scavarli.

Tratto Aglio - Barberino

Per la terza parte fra Aglio e Barberino di Mugello, di 7 km (dal km 255+593 fino al km 262+306), il progetto approvato prevede la realizzazione di una nuova carreggiata a tre corsie a senso unico verso sud, utilizzando quindi l'intera attuale sede autostradale in senso unidirezionale verso nord. Tale soluzione deriva dalla scelta di non intervenire in ampliamento sui viadotti esistenti, alcuni dei quali presentano soluzioni architettonico-strutturali che rendono poco agevole l'intervento.

Dei 59 km di sviluppo del tracciato, approssimativamente 44 km si trovano in regione Emilia-Romagna e 15 km in Toscana.

Per ciò che riguarda le sezioni tipo, si è previsto in base ai flussi di traffico l'utilizzo minimo di tre corsie per senso di marcia e l'adozione di uno spartitraffico di larghezza 4,00 m provvisto di barriere tipo New Jersey, secondo gli schemi usualmente adottati; a seconda dei tratti di percorrenza la larghezza della sezione varia da 32,00 m quando le due carreggiate affiancate sono a tre corsie per senso di marcia (1° tratto Sasso Marconi-La Quercia), ai circa 24,00 m dei tratti a due corsie per carreggiata (2° tratto di Variante di Valico La Quercia-Aglio), fino a 14,70 m del 3° tratto Aglio-Barberino

Per le dimensioni delle corsie sono stati adottati i valori tipici: m 3,50 per la corsia di sorpasso veloce, m 3,75 per le corsie di sorpasso e marcia normale, m 3,00 per la sosta di emergenza. Sono stati adeguati anche i tratti in cui

sarà necessario ampliare le carreggiate in sede, eventualmente riducendo lievemente i valori dei raggi planimetrici al fine di un corretto inserimento di curve di transizione.

Anche il profilo longitudinale è stato migliorato: sulla Variante di Valico sono stati previsti raccordi altimetrici a raggi di curvatura molto ampi (50.000÷200.000 m), escludendo i viadotti per lo scavalco del Torrente Setta e Rio Elle per i quali si prevedono comunque valori non inferiori a 30.000 m di raggio; di fronte inoltre ad una pendenza del 3,0÷3,5% presente per quasi tutto il tratto attuale corrispondente, la livelletta di progetto assume valori quasi sempre inferiori al 2%, con un solo breve tratto al 2,39%. Per ottenere questo andamento il tracciato si sviluppa in viadotto per 10,6 km (18% del totale), in galleria per 28,7 km (48,6%) e in sede naturale per i

restanti 19,7 km (33,4%).

La quota di valico a 490 m s.l.m. a fronte della quota di 716 m s.l.m. dell'attuale tracciato; la velocità di progetto è variabile tra 100 km/h e 140 km/h.

È stato stimato che, con la realizzazione della nuova infrastruttura, i benefici ambientali direttamente connessi dal solo esercizio - e quindi senza considerare gli interventi di riqualificazione ambientale specifici sul lungo il tracciato e sul territorio, che costituiscono il 30% del costo totale dell'investimento - sono rappresentati dalla possibilità di un risparmio annuo di 4 milioni di ore di trasporto che corrispondono a 45.000 tonnellate di carburante. Il conseguente minore costo del trasporto varrebbe più di 200 miliardi di lire/anno (pari quindi al 29% del costo globale stesso) e ad esso si aggiungerebbero risparmi per altri 50 miliardi/anno dovuti alla mancanza dei cantieri, di cui 22

miliardi per costo effettivo dei lavori e 28 miliardi per maggiori tempi e consumi causati all'utenza. Tali oneri vengono oggi sopportati dalla collettività, unitamente al citato maggiore inquinamento che grava in particolare sull'ambiente locale.

Sono poi da considerare i vantaggi sulla collettività anche in termini di salute pubblica; attualmente, a causa dei fenomeni di criticità riscontrabili sul tratto appenninico, che fanno registrare velocità di percorrenza medie a volte non superiori ai 40 km/ora, si ha un tasso di incidentalità superiore del 70% rispetto alla media nazionale ed un costo di manutenzione triplo rispetto alla media della rete.

2ª Relazione La realizzazione della Galleria di Base

Orlando Mazza

Premessa

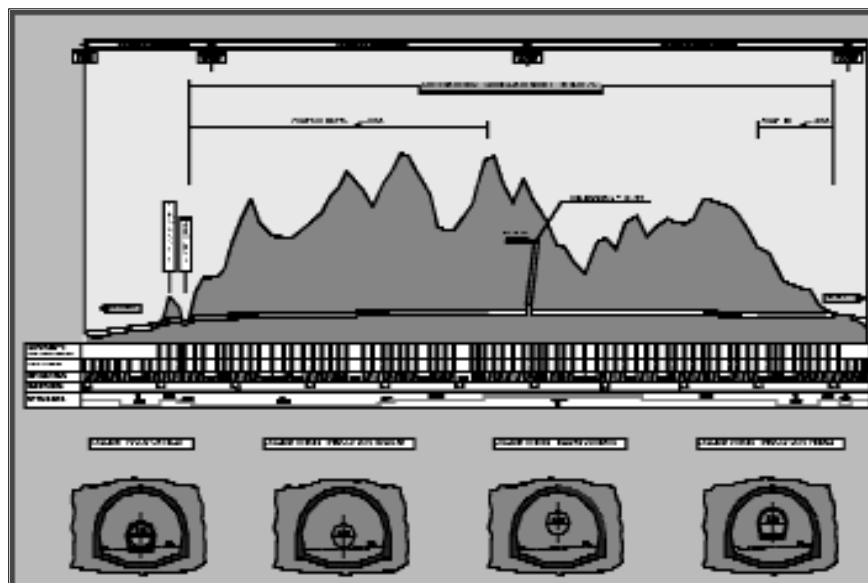
L'opera simbolo della Variante di Valico è la Galleria di Base, un tunnel di circa 8,6 Km che unisce le regioni Emilia Romagna e Toscana, congiungendo a nord la futura area di servizio di Badia Nuova con il nuovo svincolo di Poggolino a sud.

Si tratta di una galleria a carreggiate separate con sezione di scavo di circa 160 mq; la larghezza della piattaforma stradale è di 11,95 ml ed accoglie 2 corsie di marcia più una di emergenza tutte larghe 3,75 ml.

La Galleria di Base è separata dalla galleria Poggio Civitella (250 ml) dal ponte Setta 2 (100 ml): in esercizio le opere, anche grazie alla prevista copertura del ponte sul Setta, formeranno una struttura stradale continua di quasi 9 Km di lunghezza.

Nella figura è evidenziato il tratto investigato dai cunicoli pilota e la posizione della discenderia intermedia, meglio dettagliati nelle immagini successive.

Sotto il profilo dell'Appalto la Galleria di Base era originariamente costituita da tre lotti separati [l'imbocco nord (lotto 9), la discenderia (lotto 10) e l'imbocco sud (lotto 11)], successivamente unificati in un unico lotto - denominato "Galleria di Base" - dal valore di circa 600 milioni di Euro (1.200 miliardi di lire). La scelta, oltre che andare nella direzione di Appalti sempre più corpo-



Galleria di base. Profilo altimetrico - tratti esplorati con cunicolo pilota

si, è giustificata dall'ottimizzazione della gestione dello smarino che trova interamente collocazione all'interno del lotto, andando a costituire i rilevati dell'area di servizio di Badia all'imbocco nord e del nuovo svincolo di Poggolino all'imbocco sud.

Le indagini

Per investigare il massiccio della Galleria di base, nel maggio '97 furono consegnati i lavori dei 4 cunicoli esplorativi: la decisione di verificare con un foro pilota ogni canna rispondeva alla necessità di ottimizzare il tracciato

della galleria riducendo il tratto di interferenza con il complesso caotico delle argilliti ed è stata accolta dal parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n°81 del '96.

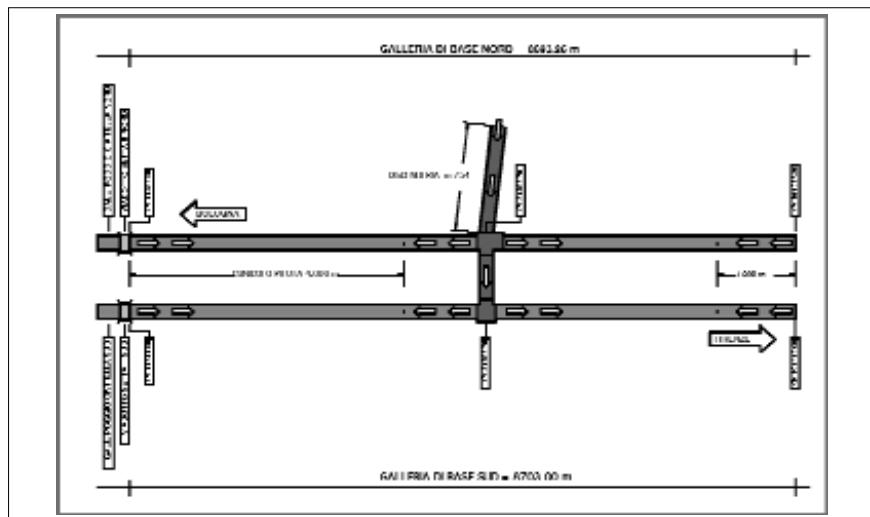
Nel luglio del 99 si è però deciso di concludere anticipatamente i lavori di scavo, rescindendo il Contratto con l'Appaltatore, a causa di numerose venute di gas - anche di carattere eccezionale - che avevano reso pericoloso l'avanzamento, specialmente ai fronti più lontani dagli imbocchi. I cunicoli si sono quindi arrestati alla progr. circa 4.000 ml dall'imbocco nord e progr. circa 1.000 ml dall'imbocco sud, dopo aver verificato di aver raccolto i dati sufficienti per la progettazione dell'opera.

Nella figura è visibile la discenderia di Roncobalaccio che costituirà in fase di scavo una finestra di accesso ai 4 fronti intermedi di avanzamento ed in fase di esercizio, appositamente parzializzata da setti strutturali, il canale di ventilazione alimentato dalla Centrale posta in testa alla discenderia.

Le due canne saranno congiunte da by-pass carrabili (sez. 70 mq) ogni 900 ml e da by-pass pedonali (sez. 18 mq) ogni 300 ml. E' prevista inoltre la realizzazione di piazzole di sosta, aventi larghezza 3,00 ml, ogni 900 ml circa.

Interrotto l'avanzamento dei cunicoli pilota, rimaneva da investigare un tratto di circa 3.500 ml in cui il profilo geomeccanico è stato ricostruito, sia pure con minor dettaglio rispetto alle tratte dotate di cunicolo esplorativo, utilizzando indagini sismiche e sondaggi

Galleria di base - schema dei fronti di avanzamento



profondi.

Nella figura successiva è riportata schematicamente la geologia dell'ammasso, avente coperture di oltre 400 ml.

Come si vede il foro pilota ha chiaramente attraversato il tratto in argilla scagliosa posto all'imbocco nord ed ha raggiunto il tratto ipotizzato all'imbocco sud, completando sostanzialmente la sua funzione investigativa.

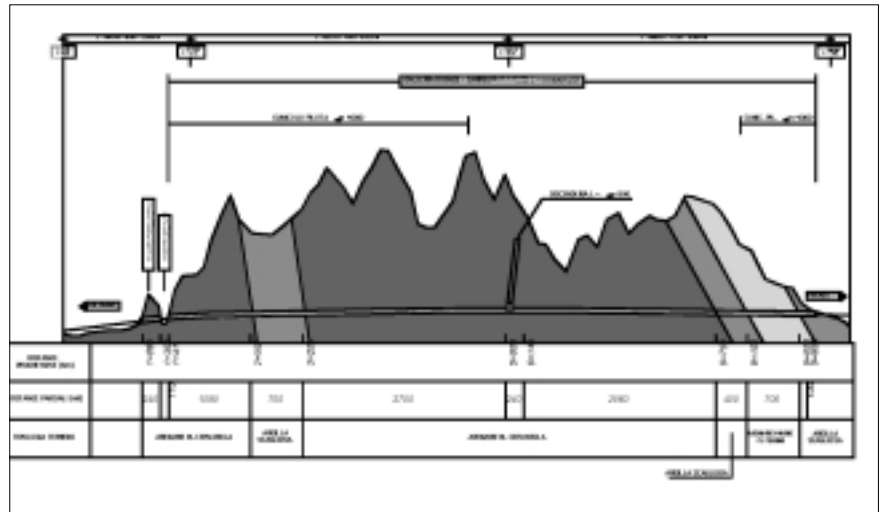
Sui campioni di argilla scagliosa sono state effettuate una serie di prove per verificarne la composizione chimica, la tendenza al rigonfiamento e la reattività al trattamento di stabilizzazione con calce, proprietà quest'ultima che ne consentirà l'utilizzo a rilevato a Poggolino.

Da segnalare che, nel tratto investigato dal cunicolo pilota, l'argilla scagliosa sotto le forti coperture dell'ammasso ha mantenuto un comportamento litoido, confermato ancora oggi dal monitoraggio geomeccanico presente all'interno del foro pilota che non segnala alcuna convergenza delle pareti.

Gli scavi

Mentre gli imbocchi di Badia e della discenderia non pongono particolari problemi, interessando entrambi l'arenaria di Cervarola e richiedendo solo una dima di imbocco ed un primo campo di infilaggi, l'imbocco sud ha evidenziato già dagli scavi del cunicolo pilota notevoli problemi di stabilità della paratia di imbocco.

La soluzione individuata, per non correre il rischio di innescare con gli scavi di allargamento fenomeni di instabilità, richiede l'esecuzione, propedeutica rispetto



Galleria di base - Tipologia del terreno attraversato

agli scavi in sotterraneo, delle gallerie artificiali lunghe circa 170 ml e sottofondate su diaframmi idrofresati. Solo dopo il ritombamento delle due canne si potrà procedere con lo scavo e getto dell'arco rovescio delle artificiali ed ancora successivamente con lo scavo della galleria naturale in avanzamento a piena sezione.

Le sezioni utilizzate per gli scavi in avanzamento della Galleria di base sono complessivamente una ventina (considerando anche piazzole di sosta e by-pass) ed il loro costo, valutato con l'Elenco prezzi Autostrade, varia da 20 a 80 milioni/ml.

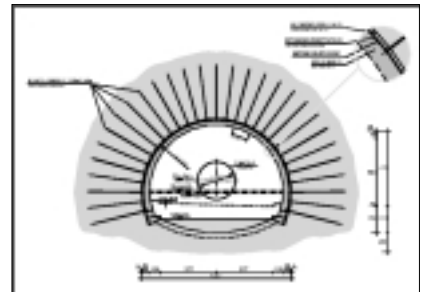
Di seguito sono illustrate alcune tra le sezioni più utilizzate:

Sezione P 1/2 - (utilizzata in Arenaria di M.Cervarola)

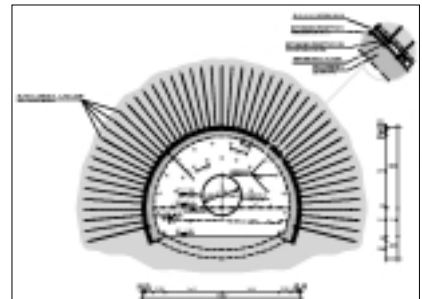
-Scavo a piena sezione/sfondo 3[14,50 ml

-Spritz-beton fibrorinforzato sp. 15+5 cm (regolarizzazione)

-N° 15 chiodi radiali tipo C-Tube o



Sezioni tipo della galleria di base



Gewy L=5,50 Sezione P 2/5 - (utilizzata in Argilla Scagliosa Alte Coperture)

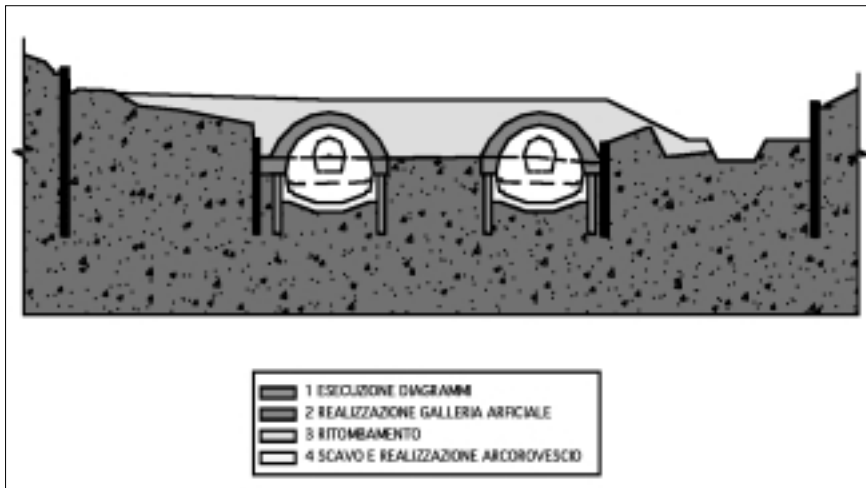
- Scavo a piena sezione / sfondo 1,00 ml
- Spritz-beton fibrorinforzato sp. 25+5 cm (regolarizzazione)

- Centine IPE 180 passo 1,00 ml

- N° 25 chiodi auto perforanti L=6,00 ml

- N° 31 VTR al fronte L=18 ml

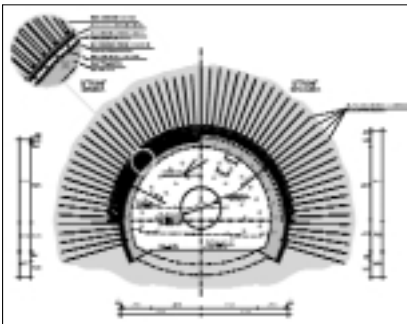
Schema di costruzione delle gallerie artificiali



Sezione P 2/4/5 – (utilizzata in argilla scagliosa basse coperture)

- Scavo a piena sezione / sfondo 0,80 ml
- Spritz-beton fibrorinforzato sp. 25+5 - cm (regolarizzazione)
- Centine IPE 180 passo 0,80 ml
- N° 30 chiodi autoperforanti L=6,00 ml
- N° 50 infilaggi f 127 sp. 10 L=15,0 ml
- N° 54 VTR al fronte L=18 ml

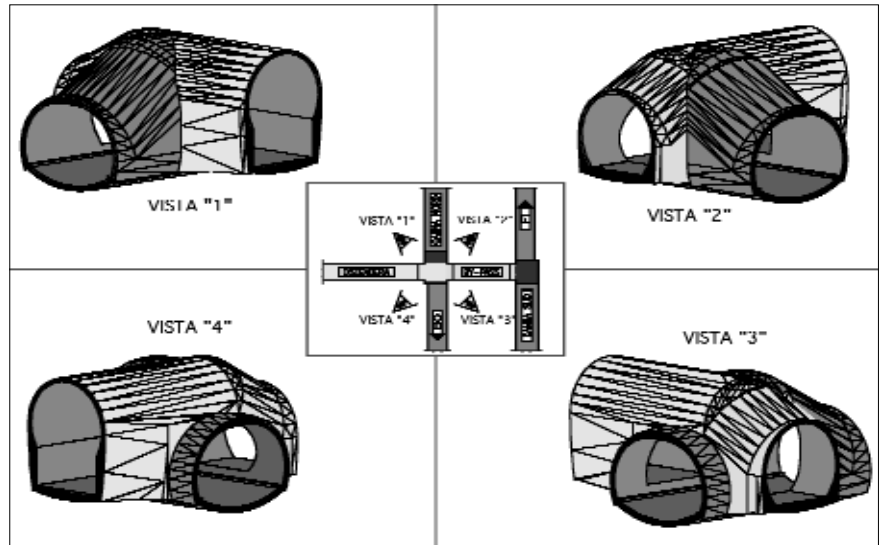
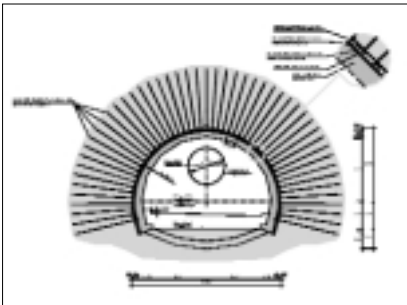
Sezioni tipo della galleria di base



Sezione P 2/4 – (utilizzata in Arenarie/Marne di M.Modino)

- Scavo a piena sezione / sfondo 1,00 ml
- Spritz-beton fibrorinforzato sp. 25+5 cm (regolarizzazione)
- Centine IPE 180 passo 1,00 ml
- N° 25 chiodi autoperforanti L=9,00 ml inclinati di 45°

Sezioni tipo della galleria di base



Galleria di base - Innesto della discenderia

Il monitoraggio del grisou

Dal giorno della sospensione dei lavori, le quattro canne del cunicolo pilota sono monitorate sia sotto il profilo geomeccanico che da quello della presenza di grisou. Visto che alcune limitate venute di gas sono ancora presenti a varie progressive, è stata mantenuta in funzione 24 ore su 24 una ventilazione che consente la diluizione della miscela di metano, mantenendola al di sotto del livello di rilevazione strumentale.

Ad intervalli regolari o in occasione di interventi di manutenzione, la ventilazione viene temporaneamente interrotta e si effettuano misure della presenza di metano e del gradiente di incremento della percentuale in atmosfera, determinando così la portata dell'emissione gassosa che oggi si attesta complessivamente attorno ai 7-9 l/min (contro i 140 l/min misurati durante le manifestazioni più violente che hanno portato alla sospensione dei lavori di scavo dei cunicoli).

La ventilazione dei fori pilota andrà mantenuta anche durante gli scavi di allargo della Galleria di Base, per evitare che la concentrazione di grisou all'interno dei fori pilota raggiunga percentuali pericolose: a tale scopo il Contratto di Appalto prevede il passaggio dell'attuale attrezzatura di ventilazione direttamente al futuro Appaltatore dei lavori che dovrà aver cura di mantenerla in funzione anche durante le fasi di avanzamento e smarino al fronte.

L'innesto della Discenderia

Punto caratteristico della Galleria di Base è l'innesto della discenderia sulle canne nord e sud della galleria stradale.

Dopo aver assolto la funzione di accesso ai fronti di scavo intermedi della Galleria di Base, la sezione della Discenderia viene parzializzata, tramite setti in calcestruzzo, in 4 settori

dedicati all'aspirazione dei fumi ed all'immissione di aria sana in ciascuna delle canne. Infatti, dal punto di vista della ventilazione, la centrale di Roncobilaccio si comporta come un vero e proprio imbocco, dove l'aria viziata viene aspirata all'esterno e viene immessa aria sana in direzione del traffico.

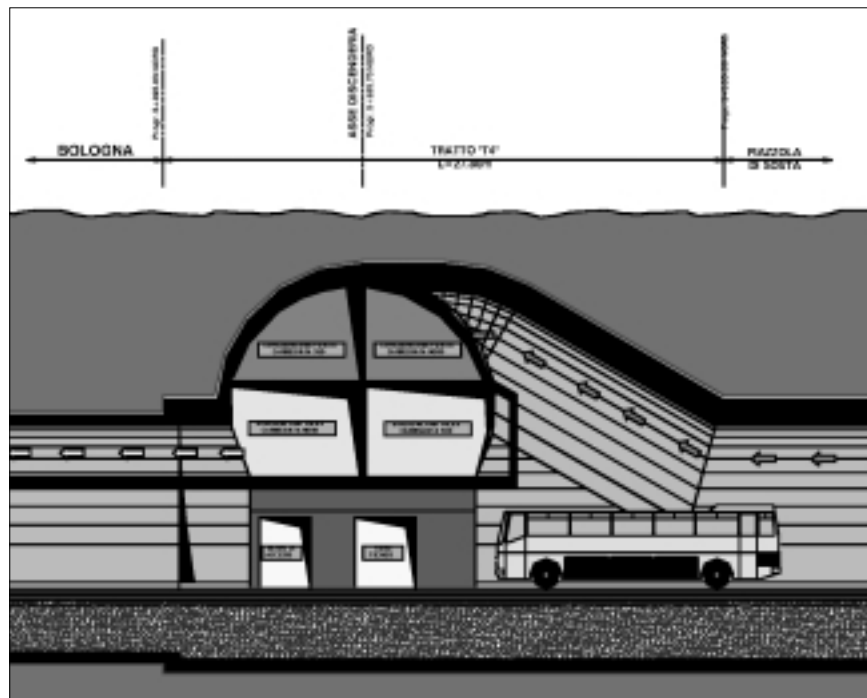
I settori relativi alla canna sud devono quindi scavalcare la canna nord richiedendo la realizzazione di un cavo di notevoli dimensioni.

Vista la conformazione geometrica complessa dell'intersezione tra la discenderia e la galleria stradale, per il sostegno degli scavi si è adottata una fitta bullonatura delle pareti evitando qualunque tipo di centinatura degli scavi. Si è quindi avuta cura di posizionare l'innesto in un tratto avente ottime condizioni geomeccaniche, accertate, in mancanza del cunicolo pilota che non ha investigato questa sezione, tramite opportuni sondaggi.

La figura seguente evidenzia il funzionamento del sistema di ventilazione longitudinale che sfrutta la centrale di ventilazione intermedia per smaltire i fumi e ricaricarsi di aria sana.

Conclusioni

Occorre evidenziare che, se oggi il progetto esecutivo della Galleria di Base offre ampie garanzie di eseguibili



Schema di funzionamento dell'impianto di ventilazione.

lità e consente di attribuire una precisa programmazione non solo ai lavori di scavo ma anche ai movimenti terra legati agli smarini della galleria, ciò è in gran parte dovuto alla preventiva esecuzione dei cunicoli esplorativi.

I problemi di costruzione dei fori pilota, che per certi tratti si sono rivelati insormontabili, hanno in ogni caso fornito una rilevante quantità di informazioni sicuramente determinanti per la realizzazione dell'opera. □