

Rivista svizzera di architettura,
ingegneria e urbanistica

Schweizerische Zeitschrift für Architektur,
Ingenieurwesen und Stadtplanung

3 2018

L'ingegneria di Giovanni Lombardi

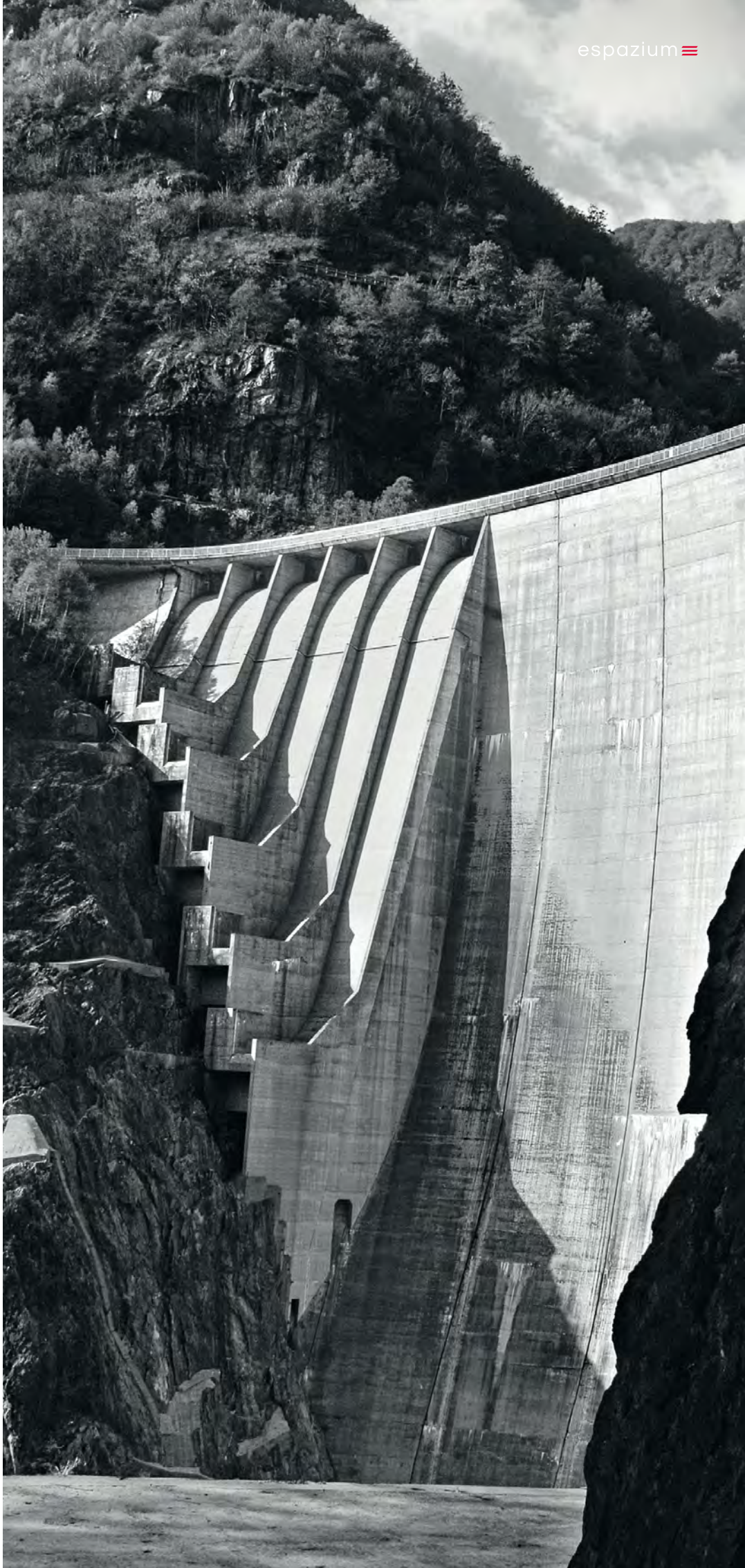
Giovanni Lombardi und
das Bauingenieurwesen

TESTI TEXTE

- Giulio Barazzetta, Andrea Pedrazzini
- Giovanni Barla
- Andrea Debernardi
- Tullia Iori, Ilaria Giannetti
- Gabriele Neri, Andrea Mondada

s i a

Migliorare la qualità, tutelando
la cultura della costruzione



espazium

Der Verlag für Baukultur
Les éditions pour la culture du bâti
Edizioni per la cultura della costruzione

Con TEC21, TRACÉS, Archi
e la piattaforma comune
www.espazium.ch
creiamo uno spazio di
riflessione sulla cultura
della costruzione.

Dai progettisti per i progettisti!
Spazio interdisciplinare,
interculturale, specialistico,
indipendente e critico.

TEC21 TRACÉS archi

Nel prossimo numero:
"Architettura e cinema"

Dello stesso editore:



Tracés n.11
Nouvelle cartographie
espazium.ch/traces



Tec21 n.20
Bauwerk Europas:
der Brenner-Basistunnel
espazium.ch/tec21



competitions.espazium.ch
La nuova sezione della piattaforma espazium.ch
dedicata ai concorsi di architettura

archi

n.3 giugno

- 3 EXPROMO a cura di Federica Botta
- 7 INTERNI E DESIGN a cura di Gabriele Neri
- 10 ACCADEMIA DI ARCHITETTURA AAM
a cura di Graziella Zannone Milan
- 13 SCUOLA UNIVERSITARIA PROFESSIONALE SUPSI
a cura di Manuel Lüscher
- 16 CULTURA DELLA COSTRUZIONE a cura di Silvia Berselli
- 18 NOTIZIE a cura di Stefano Milan

L'ingegneria di Giovanni Lombardi

Giovanni Lombardi und das Bauingenieurwesen
a cura di Giulio Barazzetta e Andrea Pedrazzini

- 21 **EDITORIALE** I LUOGHI DELLA TECNICA
Mercedes Daguerre
- 23 **SCIENZA E TECNICA DI UN MESTIERE**
Giulio Barazzetta, Andrea Pedrazzini
- 25 **GIOVANNI LOMBARDI NELLA STORIA
DELL'INGEGNERIA STRUTTURALE**
Tullia Iori, Ilaria Giannetti
- 30 **UNA FIGURA EMBLEMATICA IN UN'EPOCA
DI GRANDI TRASFORMAZIONI**
Andrea Debernardi
- 34 **IL CONTRIBUTO DI GIOVANNI LOMBARDI
ALLA COMPrensIONE DELLA STATICA DELLE
OPERE IN SOTTERRANEO**
Giovanni Barla
- 38 **UNA DIGA IN 24 GIORNI**
Gabriele Neri intervista Andrea Mondada
- 44 **DIGHE E IMPIANTI**
Diga di Contra
Diga Zimapán
Ricostruzione della diga ad arco di Sera
- 50 **STRADE E TUNNEL**
Ponte Fieud
Tunnel stradale Gottardo
Alptransit
- 56 **INNOVAZIONI E CONTRIBUTI SCIENTIFICI**
Metodo confinamento/convergenza
GIN «Grouting Intensity Number»
FES «Fissured, Elastic, Saturated Rock Mass»

- 63 COMUNICATI SIA a cura di Frank Peter Jäger
- 68 COMUNICATI OTIA a cura di Daniele Graber
- 70 APPUNTAMENTO CON L'INGEGNERIA a cura di Stefano Milan
- 73 LIBRI a cura di Mercedes Daguerre
- 74 PROGETTI TI a cura di Teresa Volponi
- 79 CONCORSI a cura di Teresa Volponi



Complementi al tema
www.espazium.ch/archi3-18_gallery

In copertina:
Giovanni Lombardi, diga di Contra, 1965. Foto Marcelo Villada Ortiz

Scienza e tecnica di un mestiere

Giulio Barazzetta,* Andrea Pedrazzini

*Architetto, professore di Composizione architettonica e urbana al POLIMI

Questo numero di *Archi* è dedicato all'opera di Giovanni Lombardi e alla sua figura d'ingegnere civile progettista. Come lui stesso illustra, la peculiarità del suo contributo al mestiere e alla disciplina si concentra sul rapporto fra l'opera progettata, eseguita, messa in esercizio, assistita nel suo ciclo di vita, e la complessa natura del suo contesto.¹

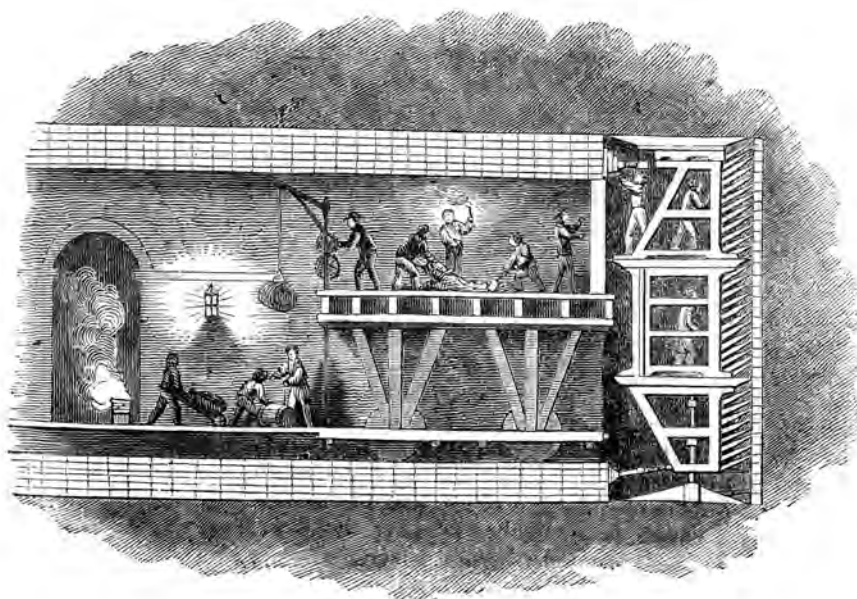
Il neologismo *geo-ingegneria* connota il ramo dell'ingegneria civile che si occupa di dighe e tunnel, rispetto a quello di ponti e viadotti. Opere quest'ultime tradizionalmente intese nel lessico storico dell'ingegneria come «opere d'arte maggiori», definizione che dichiara come il ponte sia *manufatto* per eccellenza, attestando lo sforzo eccezionale che attua l'insediamento umano, la permanenza del superamento dell'ostacolo materializzato nell'opera, effettuato dalla razionalità condotta dal saper fare, infine la trasformazione di genere da *orrido* in *ameno*.

Guardando il sintetico panorama documentato in questo numero di *Archi*, considerando l'intervallo del tempo recente delle realizzazioni, dobbiamo osservare che, grazie all'ingegneria di progetto e costruzione, questa definizione si è estesa a tutte le grandi opere, comprendendo quelle della viabilità sotterranea e quelle – come le dighe – che hanno mutato profondamente l'orografia, la natura dei luoghi e il paesaggio per trarre energia e acqua per la società civile nei cento anni ora trascorsi.

Costatiamo così che anche la nozione di scala è stata essenzialmente rivista nelle pratiche della trasformazione del mondo, ricercando quell'idea di territorio come grande ambiente del progetto che ci ricorda la lezione d'ingegneri della qualità di Vauban e Donegani. Maestri dell'interpretazione dei luoghi come struttura intrinseca cui l'opera deve necessariamente adeguarsi trovando una sua naturalezza. Orografia e tracciato di percorso, fortificazione, galleria o diga che siano.

In questa dimensione di lungo periodo dell'ingegneria il salto di scala nella considerazione delle situazioni corrisponde nella contemporaneità del mestiere all'adesione alla dimensione industriale del progetto e a quella pubblica del suo governo. S'intende qui notare il salto organizzativo che la conduzione di queste opere ha comportato, il lavoro collettivo che le anima e supporta, con la conseguente inclusione della «autorialità» personale nell'opera collettiva, nell'inevitabile multidisciplinarietà simultanea di contributi nel *continuum* del processo di discussione e messa a punto di progetti di tale complessità e dimensione. Ma s'intende qui porre l'accento anche sull'evoluzione di una concezione di progetto che, abbandonando sempre di più lo sfoggio di potenza nelle grandi opere, privilegia invece l'interazione e l'adeguamento all'ambiente, nonché il contributo alla conservazione del paesaggio.

Proprio nel procedere del progetto verso la realizzazione è necessaria la stretta relazione empirica fra pratiche e scienze, che è una caratteristica della figura di Giovanni Lombardi. Sebbene questa particolare relazione sia un carattere generale della cultura politecnica, vogliamo sottolineare qui come lo stesso Lombardi ne sia personificazione composita, a cui principalmente concorrono la formazione e il dottorato a Zurigo, la posizione in Canton Ticino dell'attività ora internazionale,



e infine la laurea *ad honorem* conferitagli dal Politecnico di Milano. Non a caso, il soggetto della sua *lectio* in quell'occasione² è l'illustrazione dell'esperienza nel campo delle dighe, la discussione del nesso fra lettura della natura del suolo – orografica e geologica –, invenzioni tecniche di sperimentazione, di ideazione, costruzione e allestimento della captazione di energia. Una complessità non esaurita alla messa in funzione dell'impianto, ma con ricadute essenziali nelle tecniche di progettazione avanzata di simili opere, che anticipano sin dall'interpretazione delle situazioni con sempre maggiore approssimazione il comportamento della costruzione nel suo esercizio.

Così come la conseguente trasformazione della mobilità transalpina, alla conclusione della sua realizzazione, non esaurisce l'avventura dei tunnel transalpini svizzeri in un'esperienza di progettazione di alto profilo esclusivamente continentale. L'interpretazione del cuore roccioso d'Europa, come problema: territorio da attraversare e paesaggio delle infrastrutture, permette il trasferimento delle tecniche di questi tracciati di mobilità sotterranea a realizzazioni recenti quali il tunnel sotto il canale della Manica, e in corso come il tunnel sotto lo stretto di Gibilterra.

Abbiamo deciso di comporre questo numero basandoci sul dialogo delle nostre competenze di progettisti, ingegnere e architetto, provando a rendere evidente il suo profilo con sguardi diversi e di metterli per così dire «in tensione» con una raccolta di opere scelte. Abbiamo potuto escludere la necessità di dover costruire un profilo generale, data la notorietà della figura e delle opere di Giovanni Lombardi ed essendo facilitati in questo dalle pubblicazioni generali concernenti la sua attività editate da lui stesso nel 2005³ e dalla Lombardi SA nel 2015.⁴ Così come non possiamo non far riferimento al numero di *Archi* dedicato al territorio di AlpTransit,⁵ e a quello, già citato, che pubblica le sue due lezioni al Politecnico e alla SUPSI.

Abbiamo invece cercato di approfondire il suo contributo al mestiere e alla disciplina selezionando sondaggi approfonditi e raccogliendo testimonianze che rendessero nuovi contributi e allargassero lo sguardo al suo lavoro.

A Tullia Iori, professore ordinario titolare della ricerca SIXXI, Storia dell'Ingegneria strutturale in Italia, assieme a Ilaria Giannetti ricercatrice dell'università di Roma Tor Vergata, e ad Andrea Debernardi, ingegnere civile progettista, dottore in Pianificazione regionale e ambientale, progettista di trasporti e mobilità, titolare dello studio META (Mobilità-Economia-Territorio-Ambiente) abbiamo chiesto di inquadrare la figura e l'opera di Giovanni Lombardi e di Lombardi SA dai loro specifici punti di vista della storia dell'ingegneria e della progettazione ambientale delle infrastrutture dei trasporti.

Al professor Giovanni Barla, già professore ordinario di Meccanica delle Rocce al Politecnico di Torino ed editore della rivista «Rock Mechanics and Rock Engineering», di poterne illustrare il contributo all'avanzamento delle discipline e delle pratiche.

Infine Gabriele Neri ha raccolto la preziosa testimonianza dell'ingegnere Andrea Mondada, stretto collaboratore di Giovanni Lombardi sin dal 1956, che riporta in un serrato racconto autobiografico la modificazione della progettazione di opere complesse nel nostro tempo.

Abbiamo infine selezionato l'elenco di *opere scelte* in tre sezioni rappresentative di «dighe e impianti», «strade e tunnel», «innovazioni e contributi scientifici», anche in collaborazione con gli ingegneri Francesco Amberg e Maren Katterbach del Gruppo Lombardi, che qui ringraziamo per la messa a disposizione dell'archivio dello studio e del materiale dei progetti e per il dialogo costante con la redazione di *Archi*.



1 Marc e Isambard Brunel, lo «scudo» per lo scavo del tunnel sotto il Tamigi, Londra 1825-1843. Fonte SOTK2011 / Alamy Foto Stock

2-3 Silvano Zorzi, Carlo Cestelli Guidi, Ulrich Finsterwalder. Fotomontaggio del modello per il progetto di un ponte sommerso per lo stretto di Messina, 1980. Fondo Zorzi, Archivi Storici, Politecnico di Milano

Theorie und Praxis im Bauingenieurwesen

Giovanni Lombardi's Berufsbild des Bauingenieurs und sein besonderer Beitrag zur Disziplin konzentrierten sich auf die enge Verflechtung von Entwurf, Planung, Ausführung, Betrieb und Unterhalt bei jedem Bauwerk – während dessen ganzen Lebenszyklus und stets in einem komplexen Zusammenspiel mit dem Kontext. Heute zeigt sich, dass grossmasstäbliche Projekte ein Denken in industriellen Dimensionen und eine öffentliche Governance benötigen: Auch im Projektmanagement hat ein Massstabssprung stattgefunden. Werke ab einer gewissen Komplexität und Dimension bedingen die Zusammenarbeit einer Vielzahl von Akteuren; die persönliche Autorenschaft fügt sich konsequent in die kollektive Arbeit ein, die Beiträge unterschiedlicher Disziplinen fliessen kontinuierlich in den Prozess ein. Bei der Ausführung ist auch jene empirische Verbindung von Praxis und Forschung nötig, die für Giovanni Lombardi charakteristisch war. Zwar ist diese Kombination ein Merkmal der polytechnischen Kultur im allgemeinen, doch bei Lombardi bestimmte sie die gesamte Projektierung: Er nahm die Wirkung des fertiggestellten und in Betrieb genommen Werkes auf seine Umwelt bereits mit der Interpretation des Bauplatzes vorweg und plante sie von Anfang an ein. In diesem Heft haben wir als Ingenieure, Planer und Architekten versucht, das Profil Giovanni Lombardi's aus verschiedenen Blickwinkeln zu beleuchten und spannungsreich mit einer Werkauswahl in Dialog treten zu lassen.

Note

1. Cfr. Giovanni Lombardi, in «Archi», 2, 2004, pp. 60-85.
2. *Ibidem*.
3. Cfr. Cristina Lombardi (a cura di), *Giovanni Lombardi ingegnere, studi e opere 1950-2005*, Skira, Milano 2005.
4. *Lombardi - Con energia per il futuro*, Locarno-Minusio 2015.
5. Cfr. «Archi», 3, 2016.





Giovanni Lombardi, Augusto Jäggi. Centrale idroelettrica della Biaschina, 1967. Foto Marcelo Villada Ortiz

Dighe e impianti

La progettazione di dighe e impianti accompagna l'attività di Lombardi dagli albori fino al presente. Non è un caso che, dopo aver conseguito il diploma e il dottorato in scienze tecniche presso il Politecnico federale di Zurigo nel 1955 con una tesi intitolata *Dighe ad arco sottili*, egli inizi la propria attività indipendente proprio con incarichi di progettazione di impianti idroelettrici. Dopo la diga di Darbola, il primo importante incarico che segnerà in modo indelebile la storia del suo studio è stato quello per la progettazione della diga di Contra in Val Verzasca (1957-1966).

A segnare l'internazionalità dell'attività, ma anche e soprattutto l'interesse e la proficua ricerca e attuazione di soluzioni costruttive originali, presentiamo la diga ad arco di Zimapán in Messico (1990-1993), opera impressionante anche da punto di vista della relazione fra il manufatto e il contesto orografico.

La terza scelta è caduta sulla ricostruzione della diga di Sera in Vallese (2009-2010) per l'attualità dell'approccio progettuale su un manufatto che termina, e lo sarà per tantissimi altri nei prossimi decenni, il suo ciclo di vita. GB, AP

Committenza: Verzasca SA, Lugano **Fiume:** Verzasca
Ubicazione: Ticino (Svizzera) **Date:** costruzione/riparazione 1961-1965, messa in opera: 1965 **Gestore:** Verzasca SA, Lugano
Volume utile: 94'100'000 mc **Tipologia:** Diga ad arco a doppia curvatura **Quota coronamento:** 473.45 m slm **Altezza massima:** 220 m **Quota invaso massimo normale:** 470 m slm **Lunghezza del coronamento:** 380 m **Volume di calcestruzzo:** 670'000 mc
Capacità sfioratore: 1600 mc/s **Produzione energetica annua:** 234 GWh **Potenza:** 105 MW **Uso principale:** idroelettrico/
 3 turbine Francis **Impresario costruttore diga:** Farsura, Milano (oggi Salini-Impregilo); CSC **Centrale:** Hatt-Haller **Impianti elettromeccanici centrale:** Brown Boveri **Impianti idraulici:** Vevey (turbine) **Strumentazione diga:** Huggenberger AG

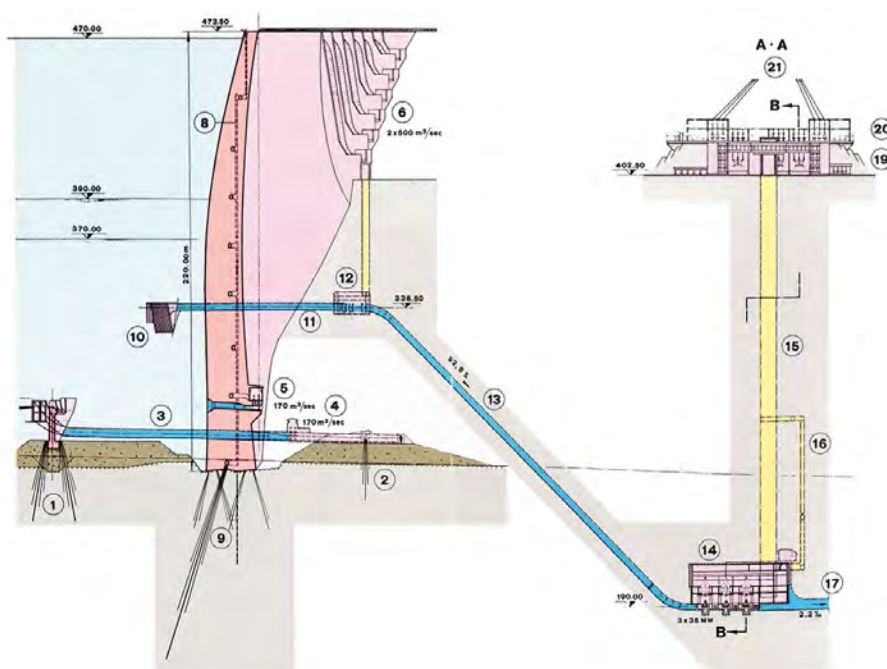
Diga di Contra

Il progresso della tecnica e il costante aumento del consumo di elettricità nel periodo successivo alla seconda guerra mondiale rendevano progressivamente insufficiente il vecchio impianto idroelettrico di Tenero, messo in servizio nel 1911. Nel 1955, la città di Lugano, concessionaria dell'impianto tramite la sua Officina Elettrica, affidava quindi al neocostituito ufficio di ingegneria Lombardi-Gellera di Locarno uno studio finalizzato a valutare se un più completo e razionale sfruttamento dei deflussi disponibili in Val Verzasca non fosse possibile ed economicamente favorevole. Lo studio dimostrò i vantaggi ottenibili nella realizzazione di un importante bacino fino a quota 470 m slm, ossia poco sotto la quota di captazione del vecchio impianto.

Dopo soli 10 anni dall'avvio degli studi preliminari, il nuovo impianto entra in servizio nel 1965. Rispetto alla situazione preesistente, la produzione di energia aumenta di 4 volte e la potenza addirittura di 12 volte. L'importante accumulo d'acqua permette così di coprire i fabbisogni di punta e di regolare in modo ottimale i deflussi assai variabili del torrente Verzasca. Lo schema è abbastanza semplice e costituito dalla diga ad arco di 220 m d'altezza, il pozzo inclinato, la centrale in caverna e la galleria di scarico di 1.9 km di lunghezza che restituisce l'acqua direttamente nel lago Maggiore. La centrale sotterranea dispone di tre turbine Francis da 35 MW cadauna, con una capacità di scarico totale di 50 mc/s e una potenza media generata annualmente di 234 GWh. La diga, del tipo ad arco a doppia curvatura, era all'epoca una delle più alte e snelle al mondo con un volume di calcestruzzo di soli 0.6 mio di mc circa. Le dighe di Mauvoisin e Luzzone, d'altezza paragonabile, avevano volumi di calcestruzzo da 2 a 4 volte superiori.

Il primo riempimento avvenne nel mese di settembre del 1965 in modo rapido e incontrollato a causa di importanti precipitazioni sollevando non poche preoccupazioni sia nei tecnici coinvolti che nella popolazione sottostante. Dopo gli incidenti occorsi alle dighe di Malpasset (Francia, 1959), Vajont (Italia, 1963) e Mattmark (Svizzera, 30 agosto 1965) la percezione della pericolosità di questo tipo di opere aveva raggiunto livelli molto alti.

Al momento della messa in servizio dell'impianto, Giovanni Lombardi aveva raggiunto l'età di 39 anni.

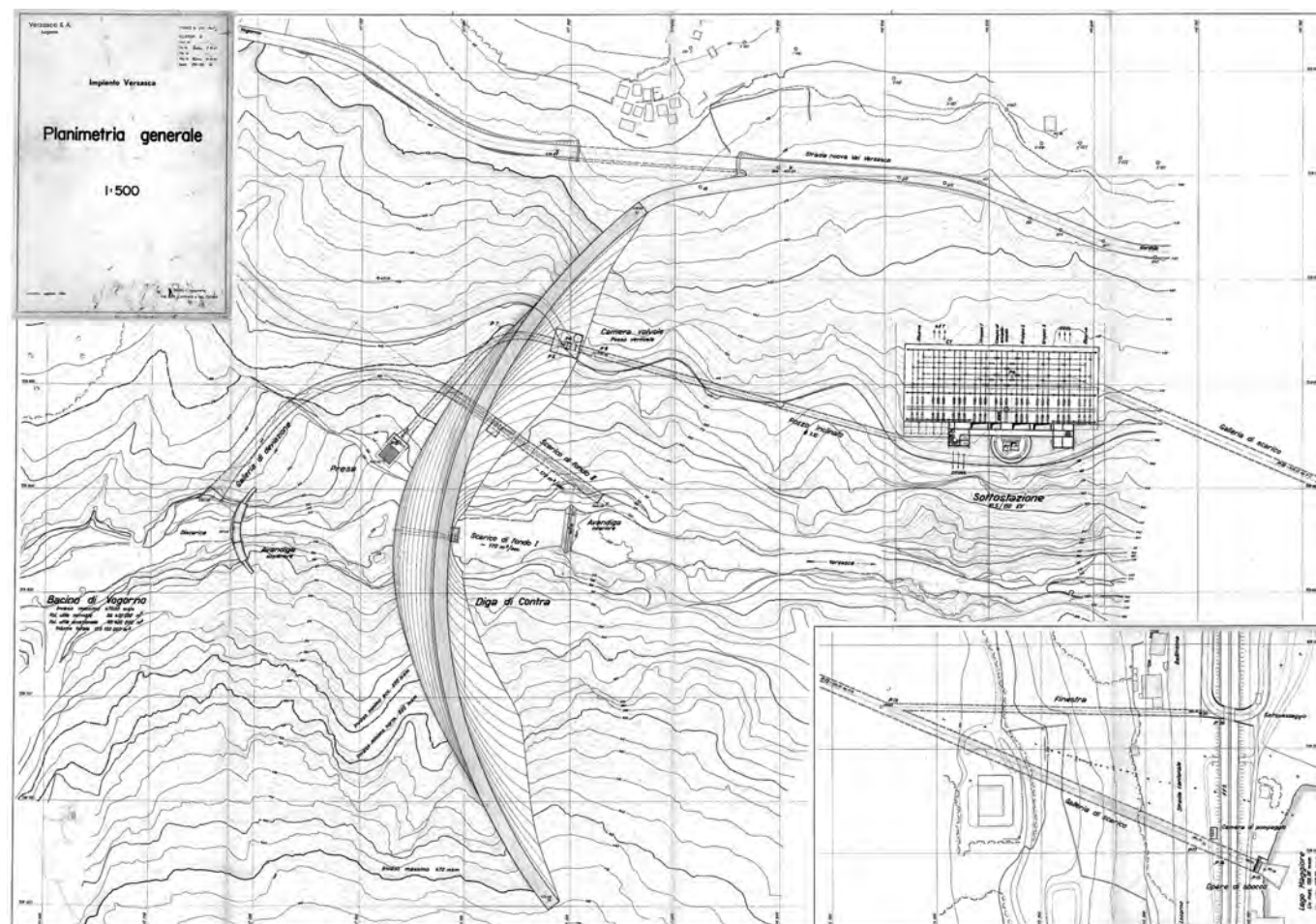


- 1 Impianto Verzasca, profilo longitudinale della diga e della centrale. Fonte Studio Lombardi-Gellerà
- 2 Diga di Contra, 1965. Foto Marcelo Villada Ortiz
- 3 Impianto Verzasca, planimetria. Fonte Studio Lombardi-Gellerà

Testo Archivio Lombardi SA



2



3

Diga Zimapán

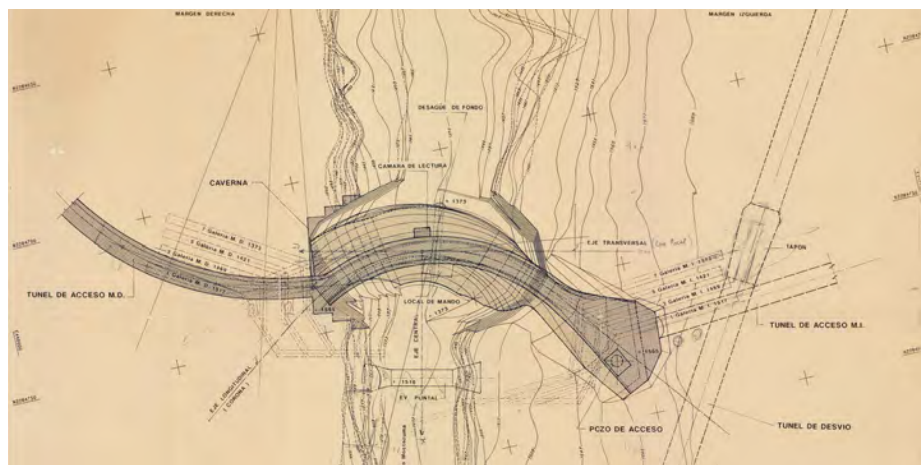
La diga ad arco sottile di Zimapán, alta 207 m con un coronamento di 115 m, chiude una stretta gola scavata nel massiccio calcareo dal fiume Moctezuma, in vicinanza della città di Cadereyta in Messico. Il bacino con un volume utile di 680 hmc si estende su 23 kmq. Il salto netto dell'impianto di 600 m permette la produzione annua di 1140 GWh con una potenza di 292 MW.

L'estrema strettezza della gola ha reso necessarie soluzioni costruttive originali quanto rimarcabili onde ottimizzare tutte le fasi di realizzazione. Due gallerie di accesso a livello del coronamento scavate nel massiccio roccioso d'appoggio hanno permesso di limitare l'estensione degli scavi a cielo aperto. Due conchi della diga sono stati realizzati

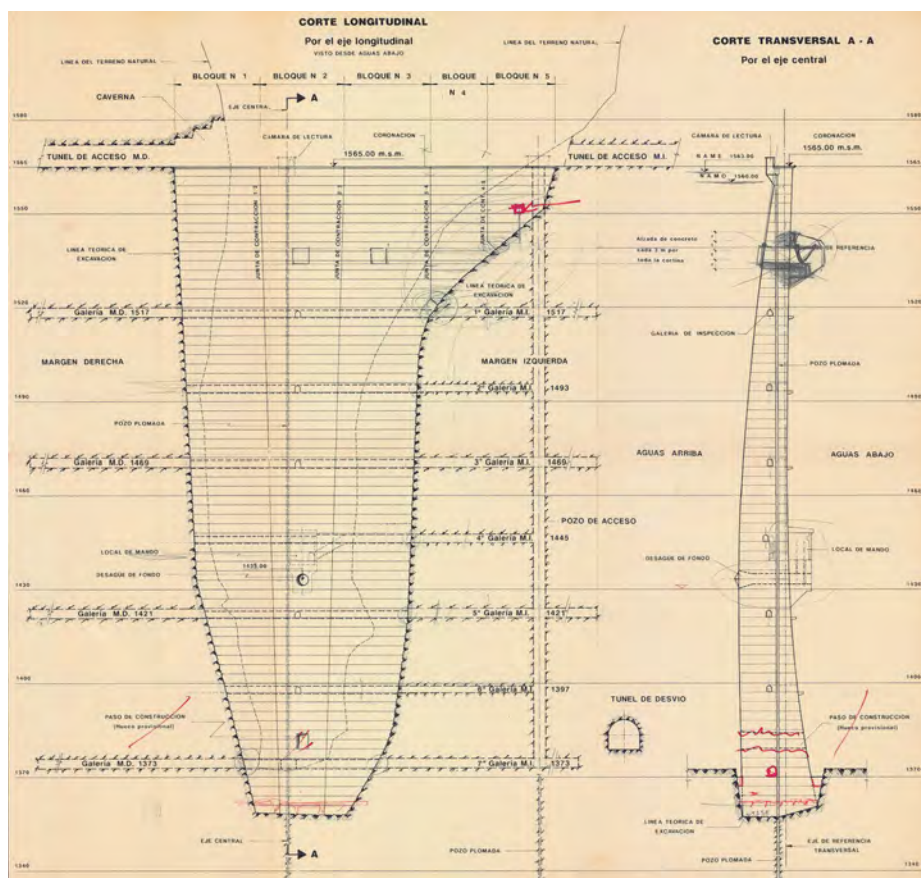
con precedenza nell'appoggio sinistro per offrire maggiore superficie all'installazione del cantiere. In sponda destra lo scavo è iniziato in una semi-caverna ricavata nel ripidissimo fianco della valle.

Due pozzi verticali sono stati realizzati nelle spalle rocciose della diga per dare accesso alle gallerie d'iniezione e di drenaggio, di lunghezze comprese fra i 95 e i 180 m. Tre gallerie nel corpo diga connesse ai pozzi di accesso facilitarono l'ispezione e il monitoraggio. Lo scarico di fondo, situato circa 40 m sopra il letto del fiume, è munito di 2 paratoie piane.

La diga ha richiesto la messa in opera di circa 220'000 mc di calcestruzzo, valore relativamente modesto considerata la sua altezza.



Committenza: Comisión Federal de Electricidad CFE **Fiume:** Moctezuma
Ubicazione: Hidalgo (Messico) **Date:** costruzione/riparazione 1990-1994, messa in opera 1996 **Gestore:** Comisión Federal de Electricidad CFE **Volume totale bacino:** 1'360'000'000 mc **Volume utile:** 680'000'000 mc **Tipologia:** Diga ad arco
Quota coronamento: 1565 m slm **Altezza massima:** 207 m **Quota invaso massimo normale:** 1560 m slm
Lunghezza del coronamento: 115 m **Volume di calcestruzzo:** 220'000 mc
Produzione energetica annua: 1140 GWh **Potenza:** 292 MW **Uso principale:** idroelettrico/2 generatori a turbina Pelton
Impresario costruttore diga: Impregilo

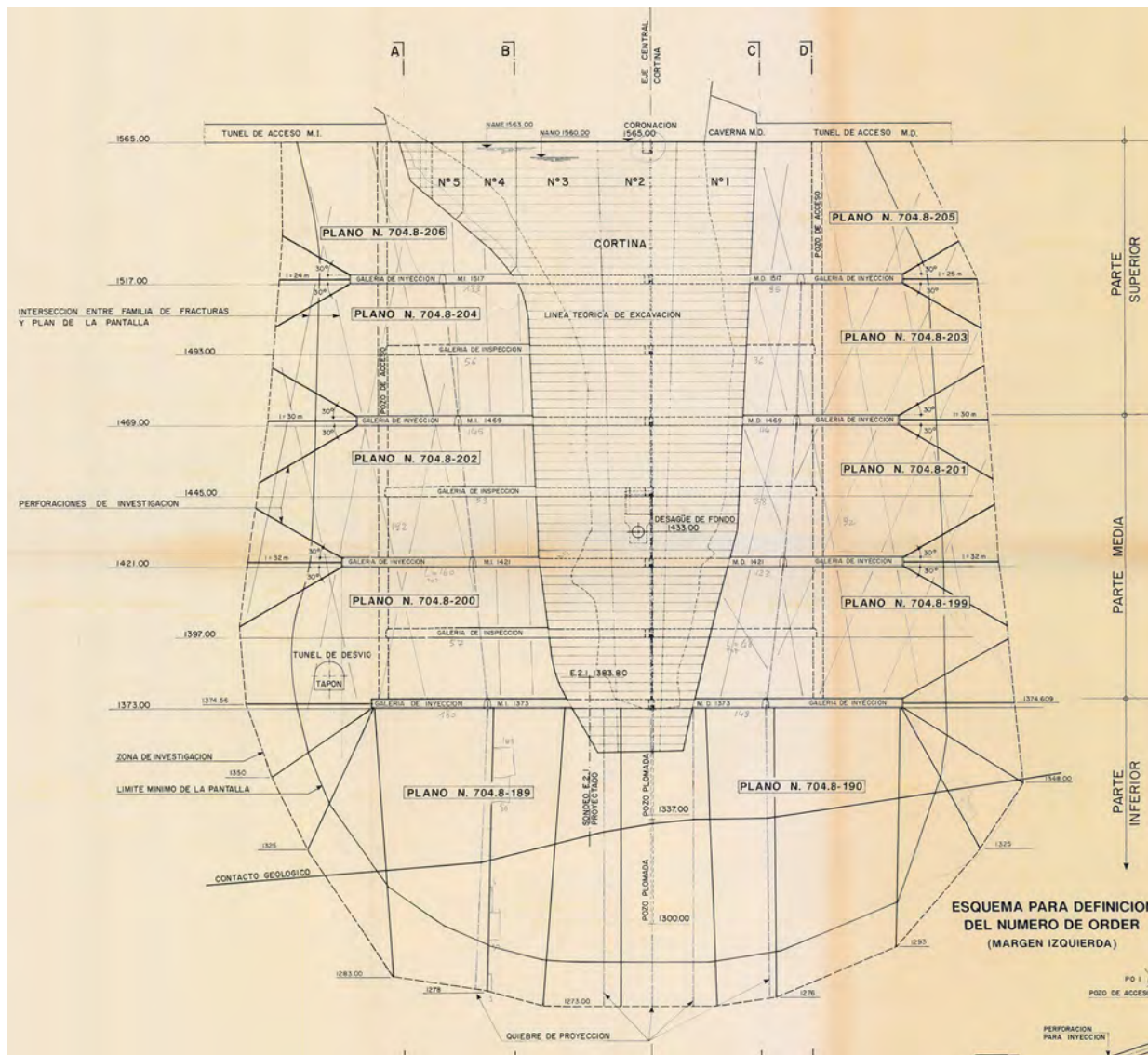




4

- 1 Planimetria
- 2 Vista da valle e sezione
- 3 Diga e schermo di iniezione, vista da monte
- 4 Vista aerea

Testo, foto e disegni Archivio Lombardi SA



3

Ricostruzione della diga ad arco di Sera

La diga ad arco di Sera, ubicata nella Zwischbergental (Vallese), è stata messa in esercizio nel 1952 con l'intento di creare un bacino di compensazione di 175'000 mc per la regolazione giornaliera degli afflussi alla centrale idroelettrica di Gondo.

Si trattava di una diga ad arco molto snella, costituita da un cilindro di 1 m di spessore a fronte di un'altezza di 25 m e una lunghezza del coronamento di 75 m. Il calcestruzzo soffriva di un fenomeno di rigonfiamento dovuto alla reazione chimica tra gli inerti e il cemento conosciuta come reazione alcali-aggregati, che aveva comportato una deformazione irreversibile verso monte e diverse fessure, in particolare lungo il piede di valle.

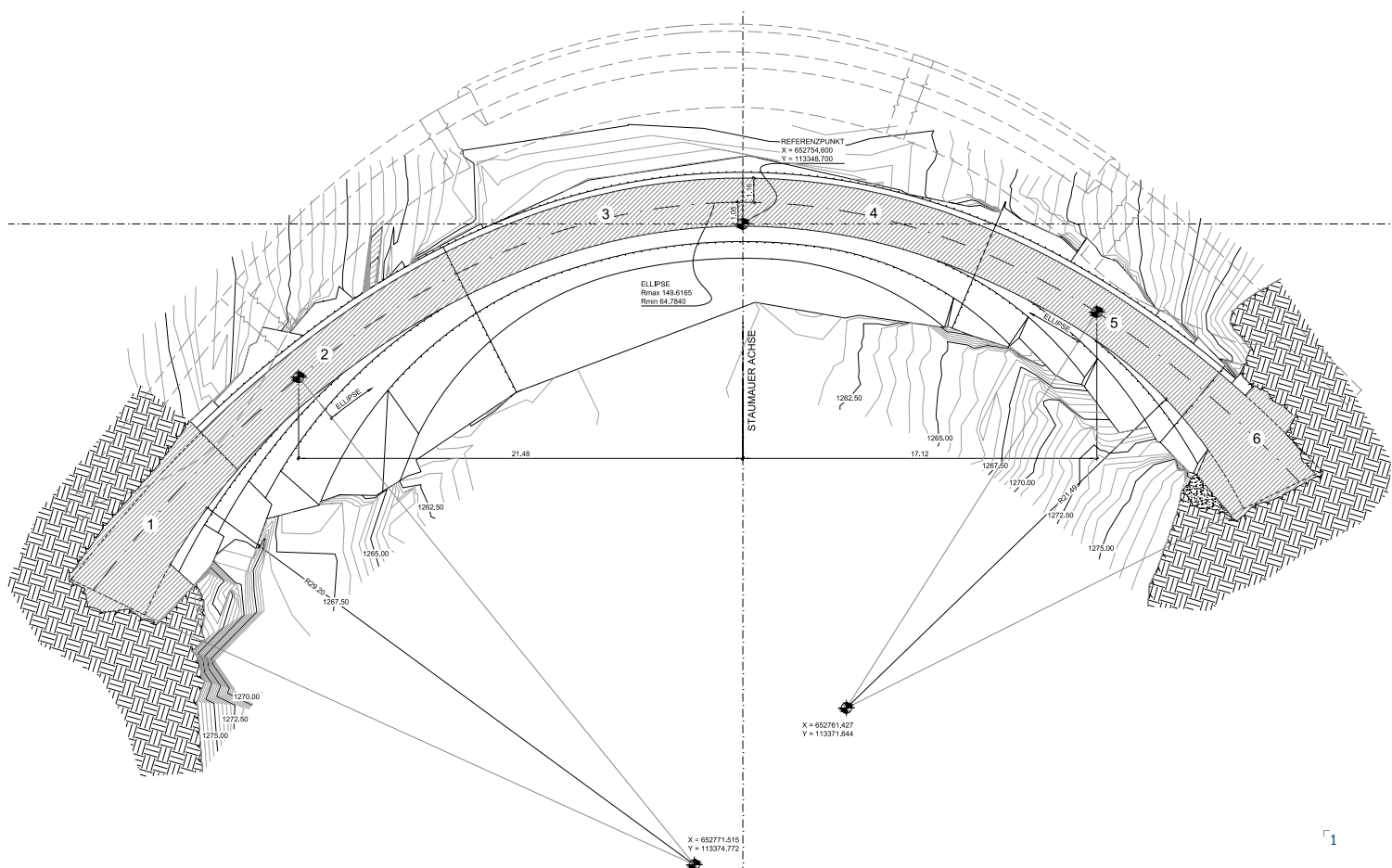
Dopo le prime misure di rinforzo eseguite nel 2006 tramite la posa di ancoraggi precompressi verticali, sono state immediatamente avviate le attività di progettazione per la messa a punto del risanamento definitivo. La costruzione di una nuova diga a valle dell'esistente permetteva di risolvere in modo definitivo le problematiche della vecchia diga e di migliorare la gestione delle piene e dei sedimenti, evitando tuttavia di dover mettere fuori esercizio l'impianto per un periodo prolungato durante i lavori.

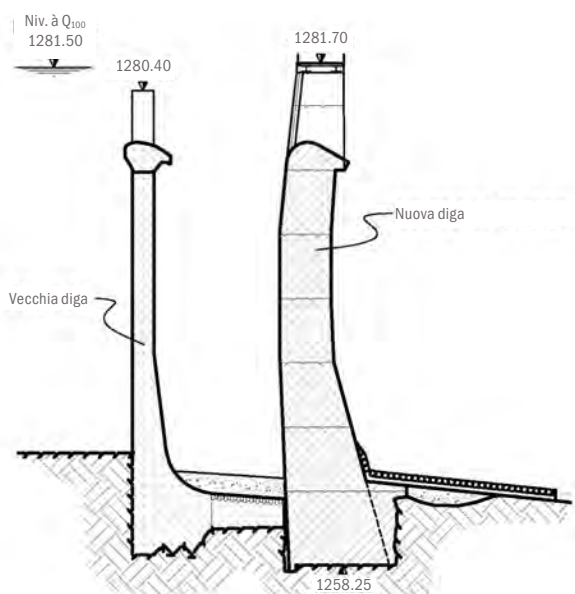
Seppur di dimensioni modeste, la realizzazione della nuova diga ad arco ha praticamente richiesto lo sviluppo di tutti i dettagli esecutivi presenti in una grande diga di questo tipo: una geometria ottimizzata caratterizzata da archi ellittici e una volta a doppia curvatura, i dispositivi di iniezione dei giunti verticali di contrazione, le chiavi di taglio in questi giunti (nella forma a mammelloni proposta da Lombardi già per la diga di Kops), nonché lo schermo di iniezione realizzato secondo il metodo GIN.

Un'ulteriore particolarità era data dall'impossibilità, per la topografia poco favorevole, di allontanare la nuova diga verso valle, che è quindi stata realizzata praticamente a ridosso di quella esistente. In particolare in sponda destra si è dovuto procedere al taglio del piede di valle della diga e della roccia sottostante, onde realizzare la fondazione per la nuova struttura.

Per evitare problematiche di rigonfiamento in futuro, il nuovo calcestruzzo è stato realizzato con l'utilizzo di cemento d'altoforno e la selezione accurata degli inerti. La nuova diga è stata costruita negli anni 2009-2010 e i lavori si sono conclusi con la demolizione di quella originale. Va ricordato infine che la nuova diga è stata dimensionata in modo tale da consentire un eventuale futuro sopralzo di 6 m dello sbarramento.

Committenza: Energie Electricque du Simplon SA **Impresa:** Zenklusen Bau AG **Ingegneria civile:** Lombardi SA **Fiume:** Grosswasser **Ubicazione:** Vallese (Svizzera) **Date costruzione/riparazione:** 2009-2011, messa in opera 1952-2011
Gestore: Energie Electricque du Simplon SA **Volume totale bacino:** 175'000 mc **Volume utile:** 151'000 mc **Tipologia:** Diga ad arco **Quota coronamento:** 1281.70 m slm **Altezza massima:** 25.7 m **Quota invaso massimo normale:** 1278.00 m slm **Lunghezza del coronamento:** 81.5 m **Volume di calcestruzzo:** 3750 mc **Capacità sfioratore:** 580 mc/s
Uso principale: idroelettrico **Impresario costruttore diga:** Zenklusen BAU AG **Impianti elettrici:** Alpiq SA **Impianti idraulici:** i pochi tubi li ha posati l'impresa civile **Iniezioni:** MTS Keller AG **Costruzioni metalliche, incl. scarico di fondo:** Stahlembau+Maschinen AG **Strumentazione diga:** Huggenberger AG **Misura livello d'invaso (sonda di pressione):** Rittmeyer AG





2

- 1 Sezione orizzontale a quota 1276.70 m slm
- 2 Sezione trasversale della vecchia e della nuova diga
- 3 La nuova diga in funzione
- 4 Demolizione di un setto verticale della diga
- 5 Costruzione della nuova diga a ridosso di quella vecchia

Testo, foto e disegni Archivio Lombardi SA



3



4



5

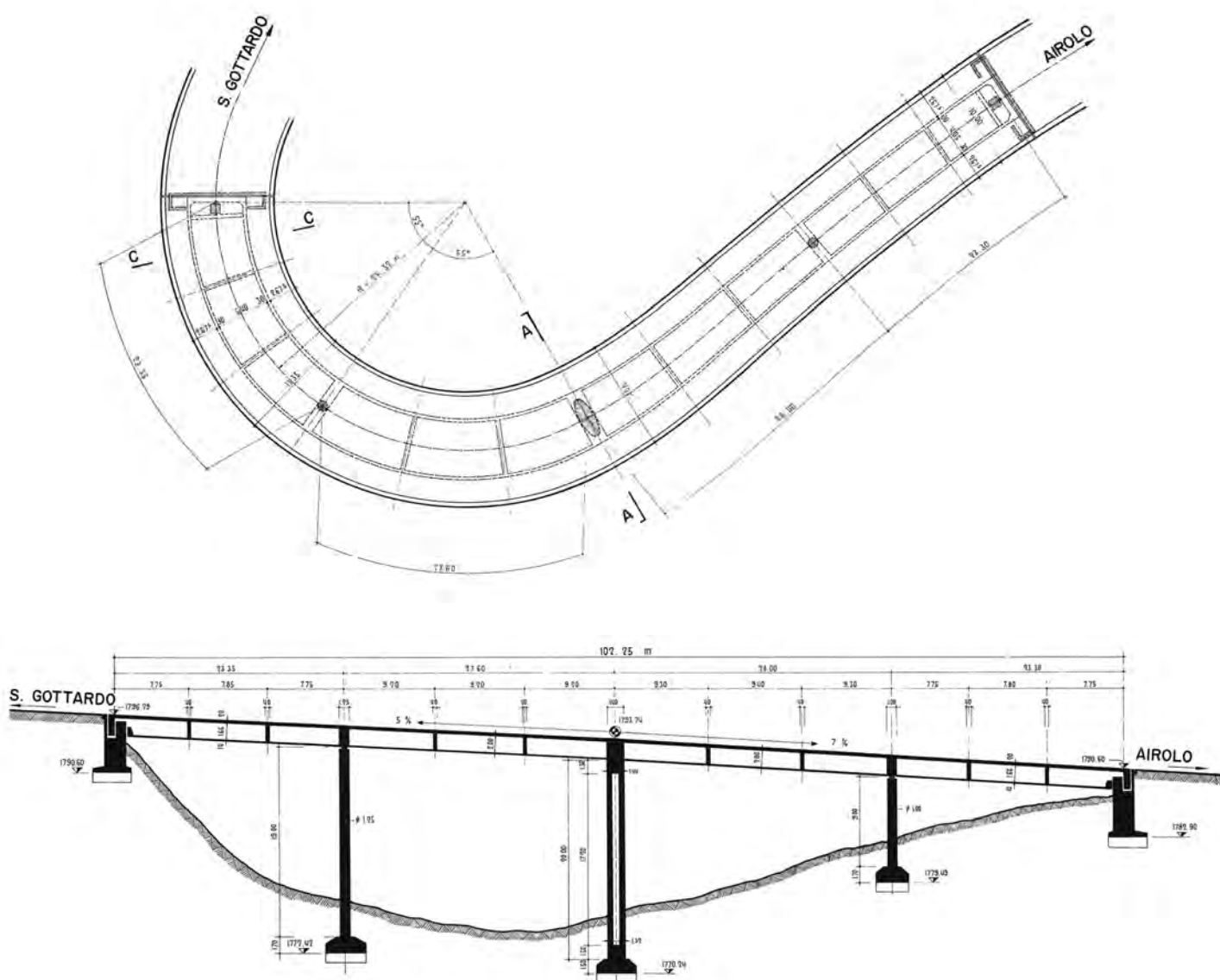
Strade e tunnel

La progettazione degli impianti idroelettrici che, oltre alle dighe, consistono spesso in una vasta rete di cunicoli e caverne hanno offerto a Lombardi la possibilità di maturare una buona esperienza in questo campo. Pertanto lo studio si fa trovare pronto all'appuntamento con le grandi infrastrutture stradali degli anni Sessanta e Settanta, soprattutto per quanto riguarda la costruzione di gallerie. Alla costruzione della galleria stradale del San Gottardo (1966-1980) segue, un trentennio più tardi, la galleria ferroviaria di base del San Gottardo (1995-2017) con la quale Lombardi inaugura una nuova stagione di attraversamenti, quelli di base per l'appunto, dell'arco alpino. A corollario, viene inserito nelle opere scelte un ponte a cassone in calcestruzzo armato e precompresso realizzato lungo la strada del valico sempre del San Gottardo in zona Fieud (1966-1970); un ponte-tornante di assoluto interesse tecnico e di straordinario fascino per quanto attiene l'inserimento nel paesaggio alpino, che testimonia, assieme ad altre opere giovanili, l'interesse di Lombardi per l'ingegneria strutturale a tutto campo. GB, AP

Ponte Fieud

Nell'ambito della realizzazione della strada nazionale a due corsie della Val Tremola, quale primo tratto della N2 sul valico del San Gottardo, è stato necessario costruire, oltre a numerosi piccoli manufatti, anche quattro ponti di notevoli dimensioni: il viadotto della Foppa Grande sopra la strada cantonale a Motto Bartola, il ponte sopra l'Albionasca, il tornante di Fieud e il ponte dell'Ospizio, ovviamente del San Gottardo.

Tra questi il ponte a cassone di Fieud, che ha un asse di 102 metri di lunghezza e una forma assai complessa (comporta un vero e proprio tornante), presentava un problema di fondazione dovuto a un fenomeno di instabilità del versante sotto forma di ribaltamento di strati. Inoltre l'opera doveva resistere all'impatto laterale di importanti valanghe e sopportare i carichi generati dal traffico in curva e in pendenza longitudinale. La particolare forma del manufatto e le forti spinte orizzontali da riprendere hanno condotto a dispositivi di appoggio alquanto speciali. La situazione del versante è stata posta sotto controllo con opportuni scavi e la posa di ancoraggi. Un'ulteriore particolarità dell'opera consiste nell'essere stata concepita e realizzata sulla base di una ri-precompressione parziale del calcestruzzo ancora prima che detto concetto fosse introdotto nelle norme di progettazione e costruzione.



1

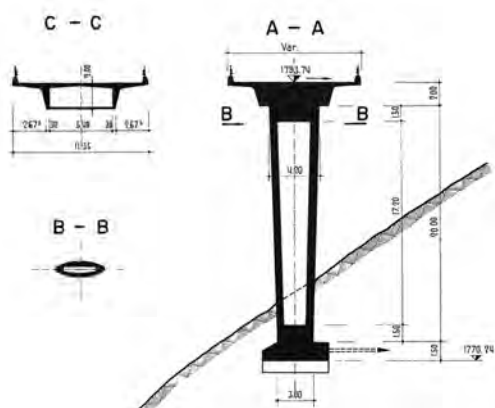
2



4



5



3

- 1 Pianta
- 2 Sezione longitudinale
- 3 Sezioni
- 4 Viadotto Fieud. Foto Alessandro Botteri Balli
2004 ProLitteris, Zurigo
- 5 Viadotto Fieud. Foto Jean Mulhauser, Fribourg

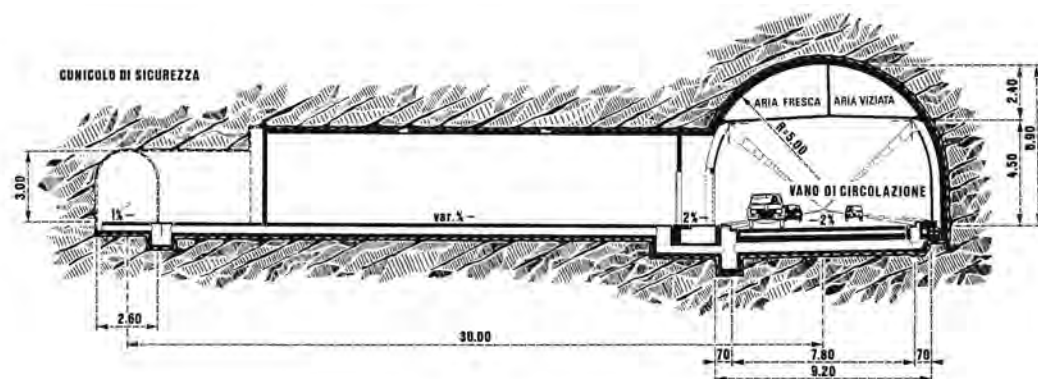
Testo e disegni Archivio Lombardi SA

Tunnel stradale Gottardo

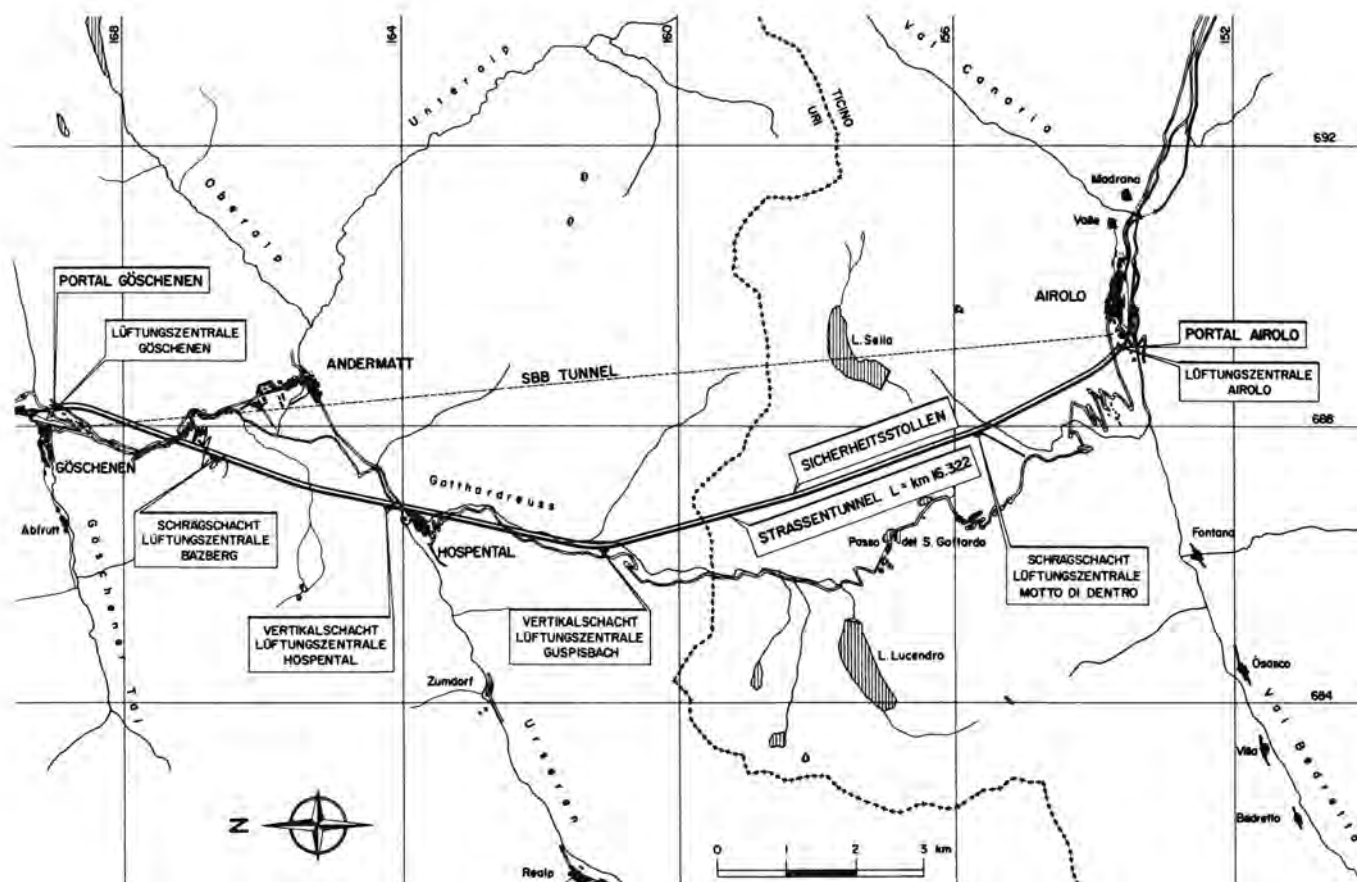
La galleria del San Gottardo, attualmente a traffico bidirezionale, è stata inaugurata nel 1980, ha una lunghezza di 16.3 km e collega i cantoni svizzeri di Uri e del Ticino sull'asse autostradale nord-sud. L'opera riveste quindi un ruolo fondamentale sia per i collegamenti nazionali, sia per quelli internazionali tra il nord e il sud dell'Europa. La galleria è stata inizialmente progettata per essere ampliata in un secondo tempo con una seconda canna, da realizzare ampliando il cunicolo di sicurezza parallelo ancora oggi in funzione. Si tratta di un'opera innovativa, perché Lombardi aveva proposto, contrariamente alle abitudini del tempo, un tracciato non rettilineo tra i due portali. Il tracciato in planimetria tende a seguire la strada del passo così da permettere un accorciamento dei pozzi di ventilazione. Con questa proposta la lunghezza della galleria è leggermente aumentata, rispetto alla soluzione classica di collegare i due portali con una retta permettendo tuttavia di ridurre il costo complessivo di realizzazione.

L'esercizio intensivo della galleria per quasi 40 anni in configurazione bidirezionale, che ha condotto a un forte deperimento dei materiali, nonché l'esigenza di adeguare l'opera alle più severe disposizioni normative in materia di sicurezza hanno portato alla necessità di sottoporre la galleria a un profondo risanamento della struttura. In questo ambito la Lombardi SA si è occupata del supporto al committente USTRA in tutti i settori tecnici e amministrativi toccati durante le fasi del Progetto Generale e di Pubblicazione, quali le opere sotterranee (scavi e sostegni), gli equipaggiamenti elettromeccanici, di sicurezza e ventilazione, le strutture esterne, la gestione del materiale, la cantieristica ecc., nonché il coordinamento con le numerose entità coinvolte e toccate dal progetto.

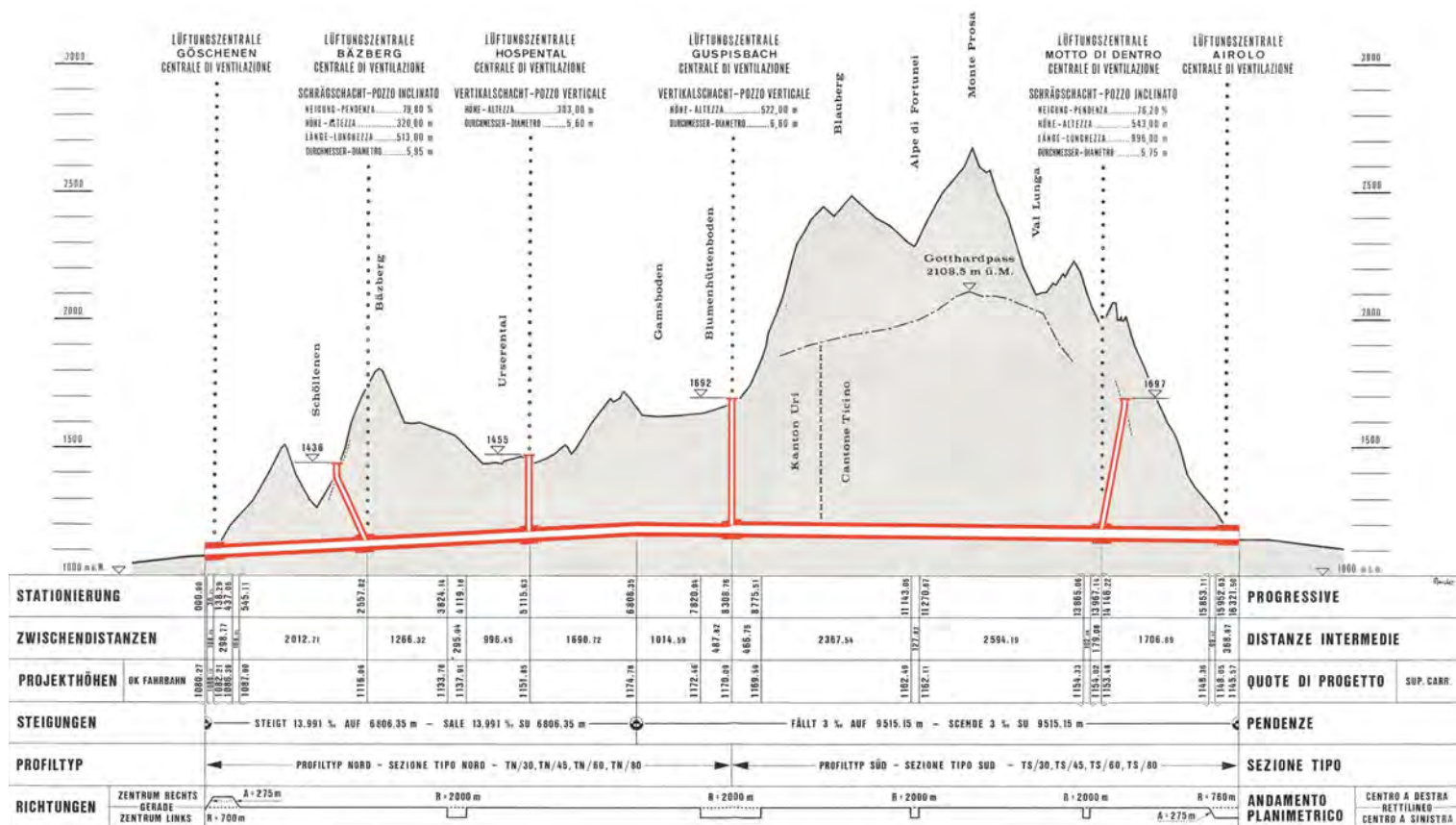
Ubicazione: Ticino - Uri (Svizzera) **Date:** periodo costruttivo 1969-1980, messa in opera 1980 **Gestore:** ASTRA
Uso: stradale **Numero di canne:** 1 canna bidirezionale
Lunghezza: 16.3 km **Metodo di scavo:** Tradizionale
Copertura: >1000 m



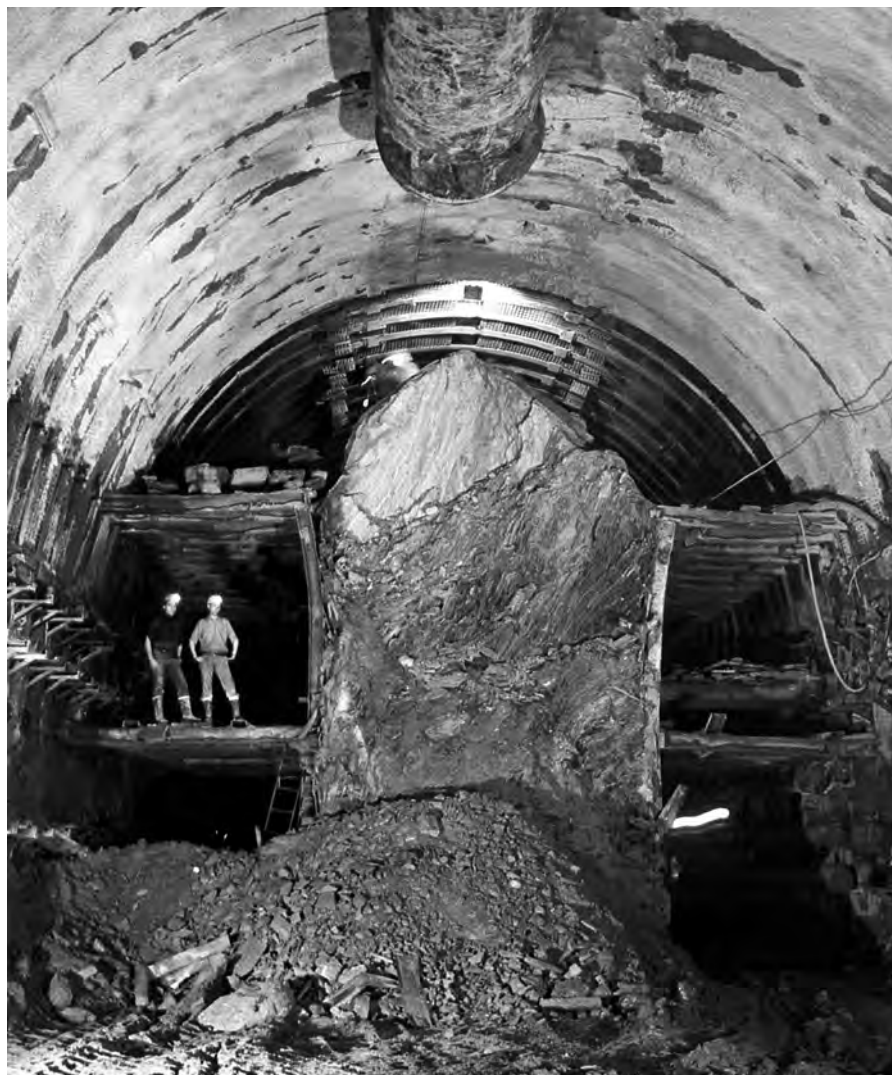
1



2



3



- 1 Sezione galleria con collegamento al cunicolo di sicurezza
- 2 Planimetria generale
- 3 Profilo longitudinale. Fonte N2 Galleria stradale del San Gottardo
- 4 Scavo della galleria Attraversamento zona Paragneis. Fonte N2 Galleria stradale del San Gottardo

Testo e disegni Archivio Lombardi SA

4

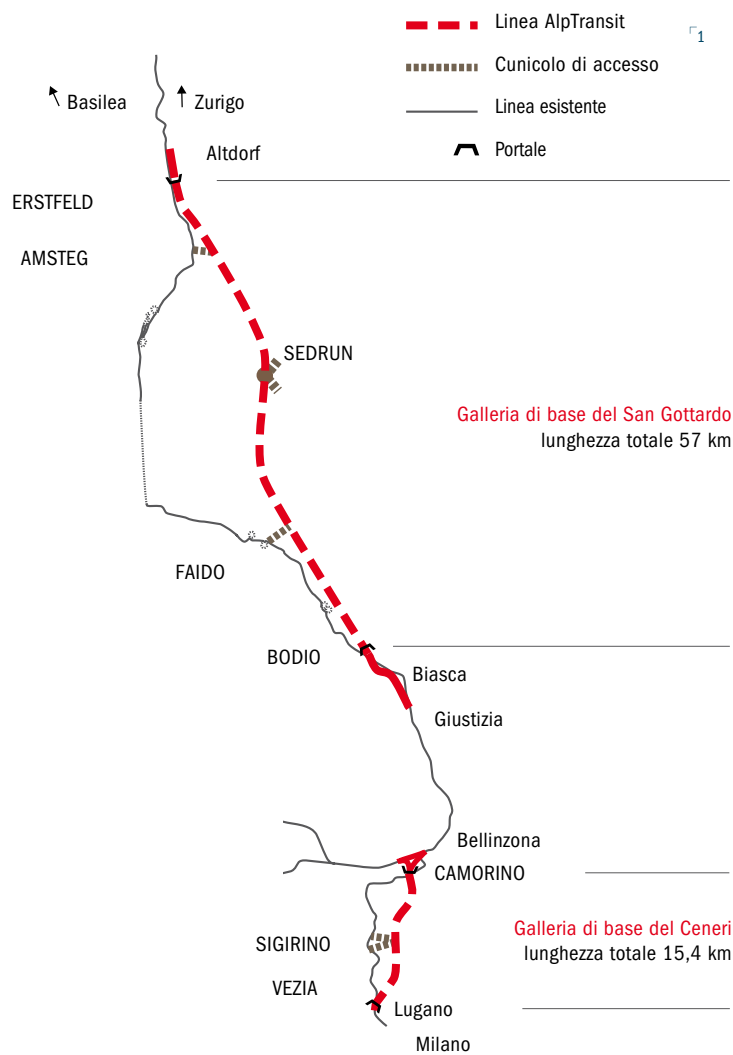
Alptransit

La galleria di base del San Gottardo costituisce l'opera principale delle nuove trasversali ferroviarie alpine. Il progetto consiste in 2 canne di 57 km, collegate ogni 325 m circa mediante cunicoli trasversali in cui trovano posto varie installazioni tecniche. Allo scopo di limitare i tempi di costruzione, lo scavo è avvenuto contemporaneamente dai due portali e da tre punti di attacco intermedi: la finestra di Amsteg (1782 m), la discenderia di Faido (2646 m), la finestra (900 m) e i 2 pozzi verticali di Sedrun (800 m).

La galleria attraversa principalmente rocce cristalline che appartengono a tre unità geologiche importanti. Le zone sedimentarie che li separano sono il massiccio intermedio del Tavetsch e la sacca di Piora. La copertura rocciosa massima raggiunge i 2300 m nella zona del massiccio del San Gottardo.

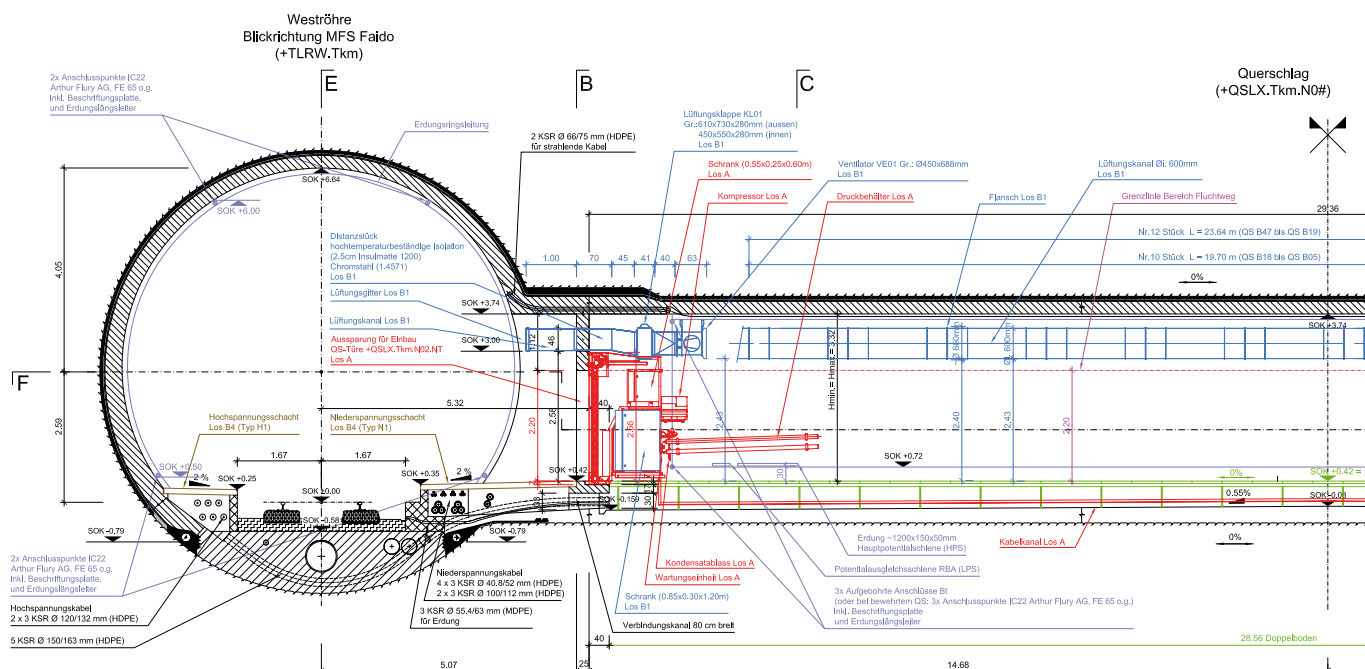
I metodi di scavo della galleria sono stati oggetto di studi approfonditi. Sono stati esaminati gli aspetti legati alla geologia, alla geotecnica, alla composizione dei lotti, alle velocità di avanzamento, ai costi di costruzione, al riutilizzo dello smarino. Oltre l'80% della galleria è stata scavata in meccanizzato mediante TBM aperta (Gripper). Gli accessi intermedi, le stazioni multifunzionali di Faido e di Sedrun, i cunicoli trasversali sono stati scavati all'esplosivo, così pure la galleria in linea nella tratta di Sedrun.

Due stazioni multifunzionali si trovano ai piedi dei pozzi di Sedrun e della discenderia di Faido. Esse fungono da fermata d'emergenza, permettono la messa in salvo delle persone attraverso un sistema di cunicoli e consentono un cambiamento di canna ai treni. Vi trovano posto locali tecnici e infrastrutture elettromeccaniche della galleria. Due centrali di ventilazione, una nella caverna alla testa dei pozzi di Sedrun e la seconda al portale della discenderia di Faido permettono di gestire i flussi d'aria durante gli interventi di manutenzione della galleria di base e in caso di emergenza (immissione di aria fresca e messa in sovrappressione delle aree sicure ed estrazione dei fumi). Il rispetto delle prescrizioni ambientali e di quelle di sicurezza sul lavoro è stato oggetto di particolare attenzione.



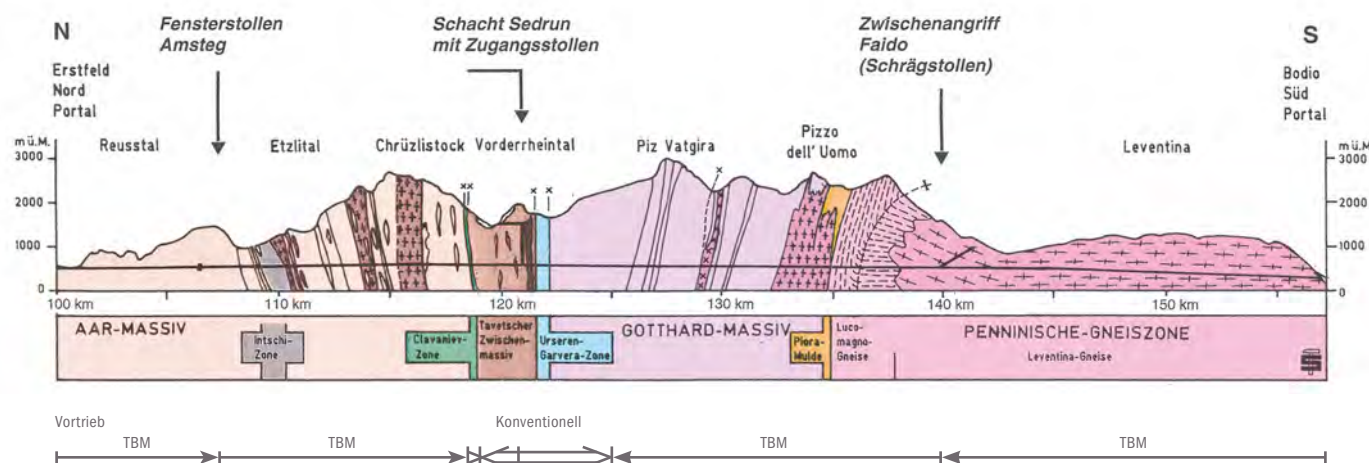
- 1** Progetto AlpTransit, tratta a cielo aperto e in galleria.
Fonte AlpTransit San Gottardo SA
- 2** Sezione trasversale.
- 3** Galleria ultimata. Fonte AlpTransit San Gottardo SA
- 4** Profilo geologico con indicazioni dei sistemi di scavo.
Fonte AlpTransit San Gottardo SA
- 5** Schema del sistema di gallerie cunicoli e condotte
e dei pozzi di ventilazione della galleria di AlpTransit.
Fonte AlpTransit San Gottardo SA

Testo e disegno Archivio Lombardi SA



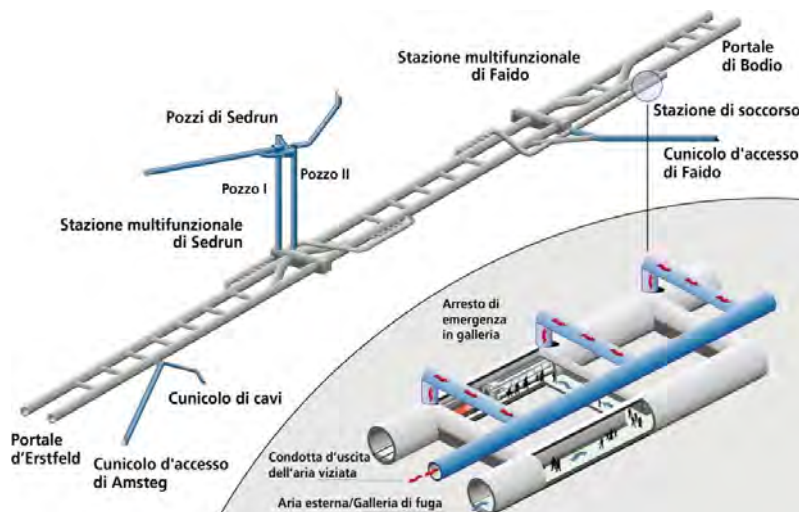


3



4

Committenza: AlpTransit Gotthard Ltd., Lucerna **Ubicazione:** Bodio-Erstfeld **Date:** periodo costruttivo 1995-2016, messa in opera 2016 **Gestore:** AlpTransit Gotthard Ltd., Lucerne **Uso:** Ferroviario **Numero di canne:** 2 canne unidirezionali **Lunghezza:** 57 km **Metodo di scavo:** TBM **Copertura:** 2300 m **Impresa costruzione grezza:** diversi lotti, per i principali: 452/554: Consorzio TAT (Implenja, Alpine Mayreder, CSC/Impregilo, Hochtief), lotto 360: Consorzio TRANSCO (Implenja, Bilfinger & Berger, Pizzarotti, Frutiger) **Impianti elettromeccanici:** diversi lotti, oltre 20 ditte, tra cui: Elkuh Bator AG, ABB, TLT Turbo, Martitechnik, Baumeler AG, Alpiq Burkhalter AG, Alpiq, Implenia, BGS AG **Impianti elettrici:** vedi impianti elettromeccanici **Impianti idraulici:** vedi impianti elettromeccanici **TBM:** Herrenknecht



5

Innovazioni e contributi scientifici

Non poteva mancare, all'interno delle opere scelte, un ambito che a Lombardi è sempre stato molto a cuore; ovvero la voglia di capire e di riuscire a spiegare scientificamente i fenomeni che si presentano nella pratica professionale.

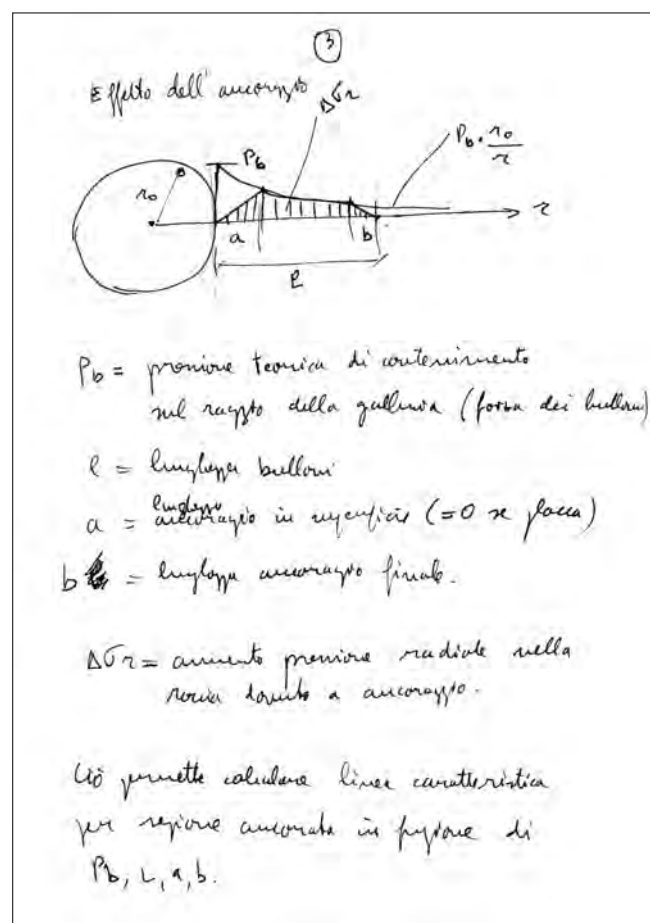
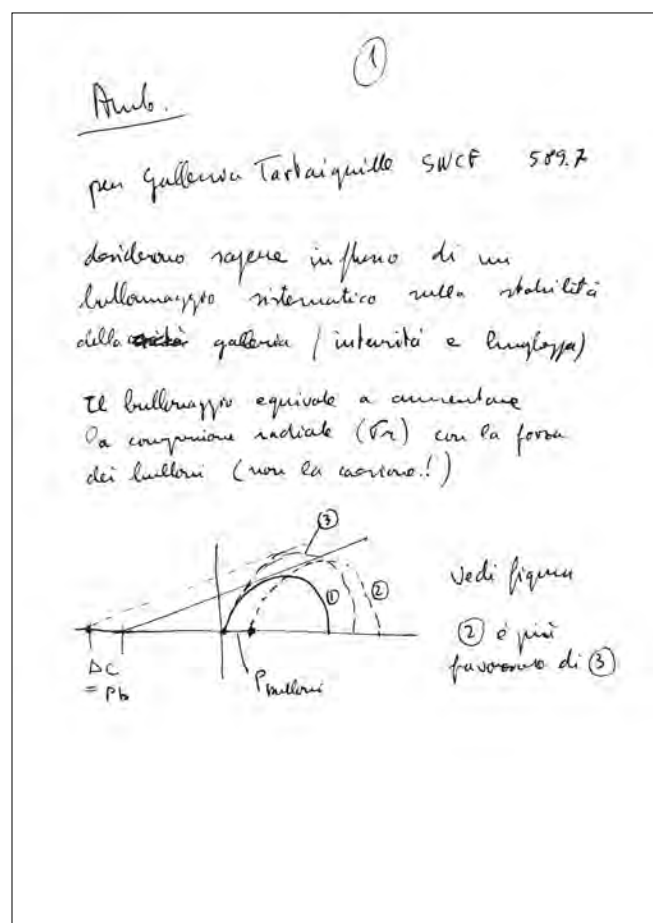
Presentiamo in questa sezione i tre contributi fondamentali che fanno di Lombardi una figura di riferimento nel campo della geo-ingegneria a livello internazionale: il metodo convergenza-confinamento, sviluppato a partire dagli anni Settanta, che permette la risoluzione del problema dell'interazione tra rivestimento di un'opera sotterranea e ammasso roccioso in cui essa è realizzata; il modello FES sviluppato nel 1978 nell'ambito dell'incarico per spiegare le cause dei problemi riscontrati sulla diga di Zeuzier in Vallese, durante lo scavo di una galleria nei pressi dell'opera; il concetto GIN sviluppato negli anni Ottanta per l'ottimizzazione del processo di iniezione degli ammassi rocciosi. GB, AP

Metodo convergenza-confinamento

La costruzione di opere sotterranee si è basata per molti secoli su semplici metodi empirici senza alcun approccio scientifico, a causa della complessità del problema stesso. Ad esempio, in un libro pubblicato nell'anno 1953 negli Stati Uniti si poteva addirittura leggere quanto segue: «non esiste alcun metodo razionale per dimensionare il rivestimento di una galleria e quindi lo stesso deve essere progettato con uno spessore che sia di un pollice per ogni piede di diametro della galleria».

Il contributo dello studio Lombardi allo sviluppo di un approccio scientifico a tali temi arrivò agli inizi degli anni Settanta, con il cosiddetto metodo delle linee caratteristiche, che permette la risoluzione del problema dell'interazione tra rivestimento di un'opera sotterranea e ammasso roccioso in cui essa è realizzata. In estrema sintesi, il metodo, tenendo conto della deformabilità sia dell'ammasso roccioso che del rivestimento o in generale dei supporti posti in opera, permette di determinare il carico gravante su questi ultimi, imponendo la compatibilità tra la deformazione dell'ammasso che tende a chiudersi a seguito dello scavo e quella del rivestimento che si oppone a tale movimento. Nel metodo gioca poi un ruolo fondamentale la quantità di deformazione dell'ammasso roccioso che si sviluppa prima che il rivestimento sia installato e che sia diventato staticamente attivo, tema a cui non veniva dato grande risalto nella letteratura dell'epoca.

L'approccio pratico e razionale, che sempre ha contraddistinto l'operato di Lombardi, ha quindi permesso di valutare in maniera precisa i carichi effettivamente gravanti sui rivestimenti delle cavità sotterranee, con indiscutibili vantaggi in termini di sicurezza ed economicità di realizzazione. L'importante innovazione introdotta da Lombardi permise così di liberare la progettazione delle opere sotterranee dalle nebbie dell'empirismo.



GIN «Grouting Intensity Number»

Il concetto GIN è un approccio autoregolante per eseguire iniezioni in roccia, che permette di ottimizzare il processo di iniezione. In particolare consente: 1) di iniettare solamente dove è strettamente necessario permettendo di prevenire sprechi; 2) di iniettare con la massima pressione ammissibile senza causare danni, con lo scopo di aumentare l'efficienza e migliorare il risultato degli interventi di iniezione in roccia.

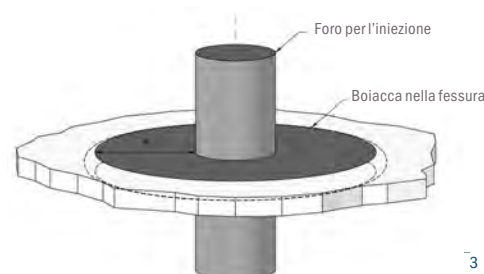
Questo concetto è stato introdotto più di 30 anni fa dall'ingegnere Lombardi con lo scopo di evitare rotture nell'ammasso roccioso fessurato, migliorando l'efficacia e l'efficienza delle iniezioni in roccia.

I tre parametri fondamentali del concetto GIN sono il coefficiente d'intensità (Grouting Intensity Number) dell'iniezione, la pressione massima e il volume massimo (target). Il valore GIN è il prodotto di P, la pressione d'iniezione, e V, il volume cumulativo.

Il prodotto P rimane costante, indipendentemente dallo spessore della fessura. Questo valore definisce quindi l'intensità d'iniezione, il cosiddetto Grouting Intensity Number (GIN), e si misura in dimensione energetica (unità: Joule). Semplificando, questo significa che, per riempire una fessura molto sottile, serve poco materiale ma una pressione relativamente alta, mentre, per intervenire su una fessura più ampia, la pressione deve essere diminuita ma serve più materiale.

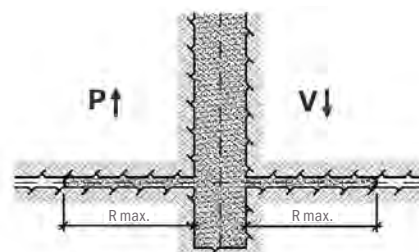
Questo approccio permette di evitare combinazioni di alte pressioni e volumi elevati, che possono portare a rotture dell'ammasso roccioso e/o al rischio dell'innalzamento della superficie.

Dalla sua scoperta a oggi, il concetto GIN si è dimostrato e si dimostra tuttora uno strumento affidabile per gestire in modo efficace i processi di iniezione in roccia in numerosi progetti in tutto il mondo caratterizzati da una notevole varietà di condizioni. Grazie alle sue solide basi fisiche, la sua generalità e la sua semplicità, il concetto GIN mostra chiaramente che l'iniezione in roccia è, o può essere, un'operazione trasparente, efficiente e facilmente controllabile.

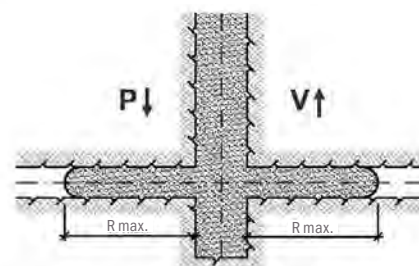


3

$$P \cdot V = \text{GIN} = \text{costante}$$



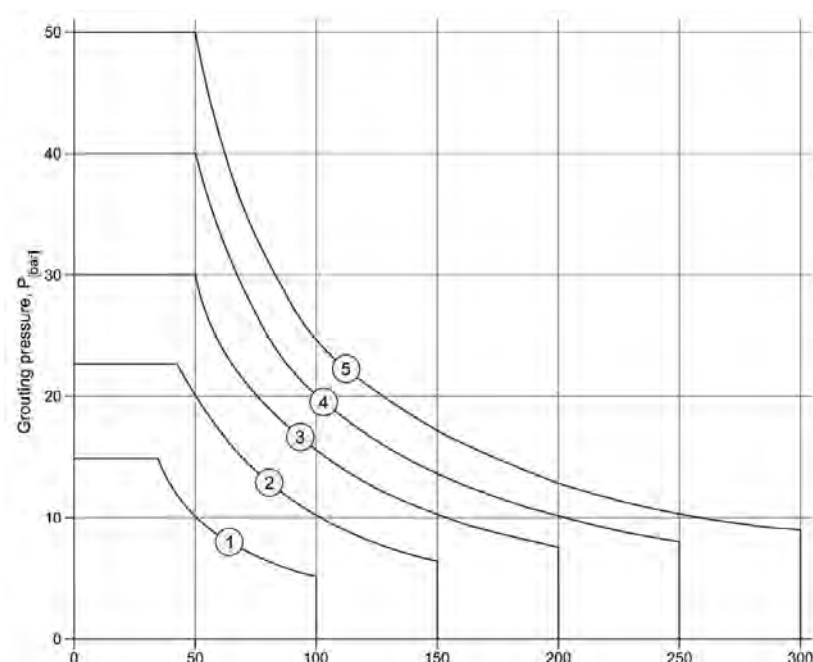
Volume piccolo, pressione alta



Volume grande, pressione bassa

4

5



- 1-2 Appunti di Giovanni Lombardi sulla linea caratteristica di una galleria e l'effetto di ancoraggi sistematici
 3 Propagazione della boiaccia all'interno di una fessura normale all'asse del foro
 4 Volume e pressione in caso di fessura sottile
 5 Volume e pressione in caso di fessura aperta
 6 Volume e pressione di iniezione e rappresentazione del limite GIN

Testo e disegni Archivio Lombardi SA

Nr.	Intensity	GIN [bar·l/m]	P _{max} [bar]	V _{max} [l/m]
①	very high	2500	50	300
②	high	2000	40	250
③	moderate	1500	30	200
④	low	1000	22.5	150
⑤	very low	< 500	15	100

6

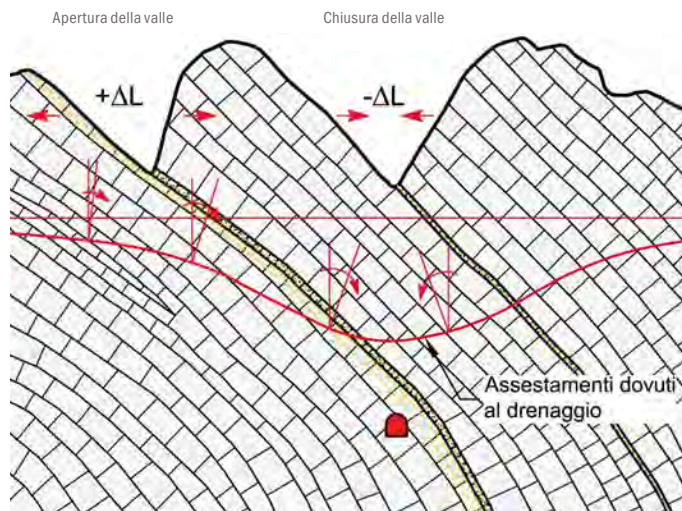
FES «Fissured, Elastic, Saturated rock mass»

Nell'autunno del 1978, dopo 21 anni di esercizio perfettamente regolare, la diga ad arco Zeuzier, di 156 m di altezza, cominciò inaspettatamente a mostrare un comportamento anomalo. In un anno, i cedimenti in questa zona avevano raggiunto i 9 cm, la valle era divenuta più stretta di 5 cm e la parte centrale del coronamento si era spostata di 6 cm a monte. Queste deformazioni causarono una fessura orizzontale sul paramento di valle con un'apertura fino a 15 mm.

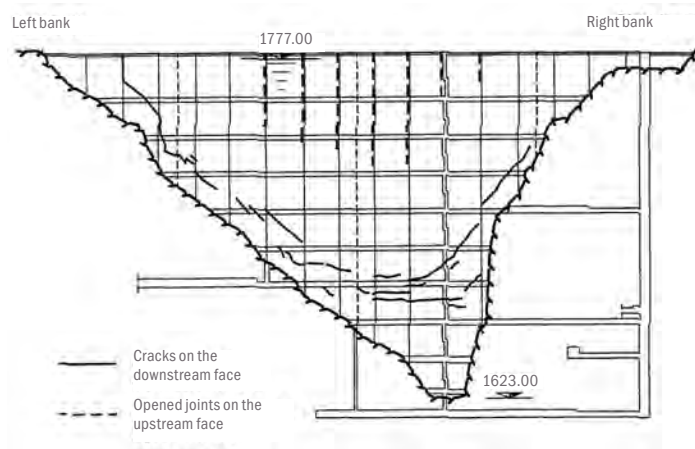
Dopo approfondite ricerche sulle cause venne appurato che la ragione di questi movimenti era dovuta allo scavo in corso della galleria del Rawyl, finalizzata al collegamento stradale tra il Vallese e il Canton Berna, che raccoglieva fino a 1000 l/s di acqua d'infiltrazione e causava il drenaggio di un importante acquifero. L'analisi del problema ha presentato l'opportunità di sviluppare il modello FES, che accoppia opportunamente l'equilibrio idraulico e l'equilibrio meccanico dell'ammasso roccioso fessurato e la loro evoluzione nel tempo. Il drenaggio porta a una chiusura parziale delle discontinuità, che cumulativamente si riflette in un assestamento del massiccio.

La sua applicazione ha permesso l'interpretazione e la corretta simulazione numerica dell'evento e di stabilire le basi per la realizzazione dei lavori di riparazione della diga. Negli anni 1982-1983 venne eseguito un esteso intervento di riparazione comprendente iniezioni del contatto fra calcestruzzo e roccia, dei giunti e delle fessure. Da allora la diga di Zeuzier è regolarmente in esercizio, sebbene i cedimenti proseguano nel lungo termine conformemente a quanto previsto dalla modellazione FES.

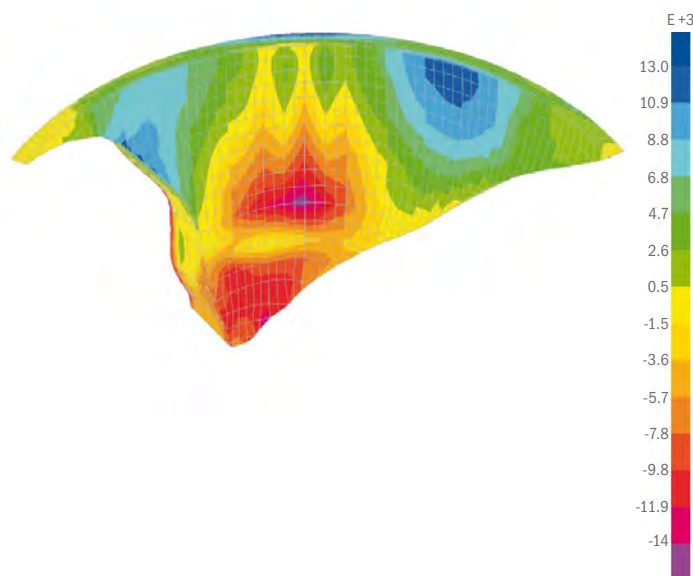
Nel frattempo il modello FES è stato sviluppato ulteriormente e ha costituito la base per la valutazione delle deformazioni superficiali indotte dallo scavo della galleria di base del San Gottardo sulle dighe sovrastanti. Presso la diga di Nalps la valle si è chiusa di circa 2 cm, mentre alla diga di S. Maria è stata misurata un'apertura di 1 cm alla quota del coronamento. Si conferma quindi che le opere sotterranee profonde conducono a variazioni della falda su larga scala, sia durante sia dopo le fasi di costruzione, che a seconda delle condizioni geologiche e idrogeologiche dell'ammasso roccioso provocano deformazioni più o meno rilevanti in superficie.



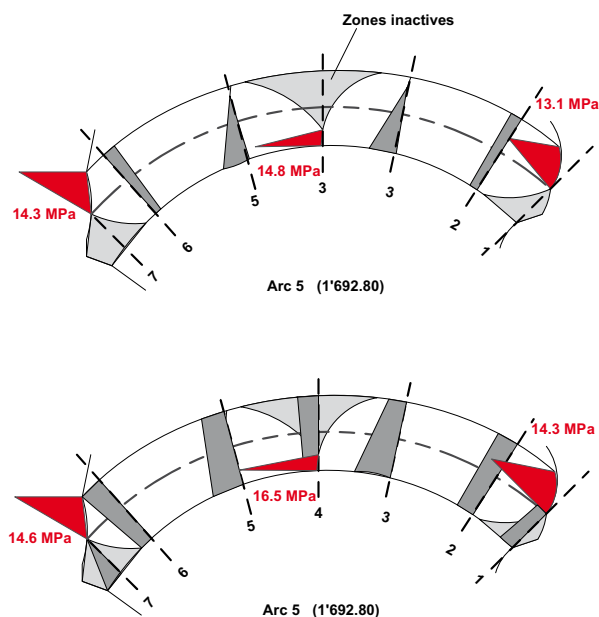
2



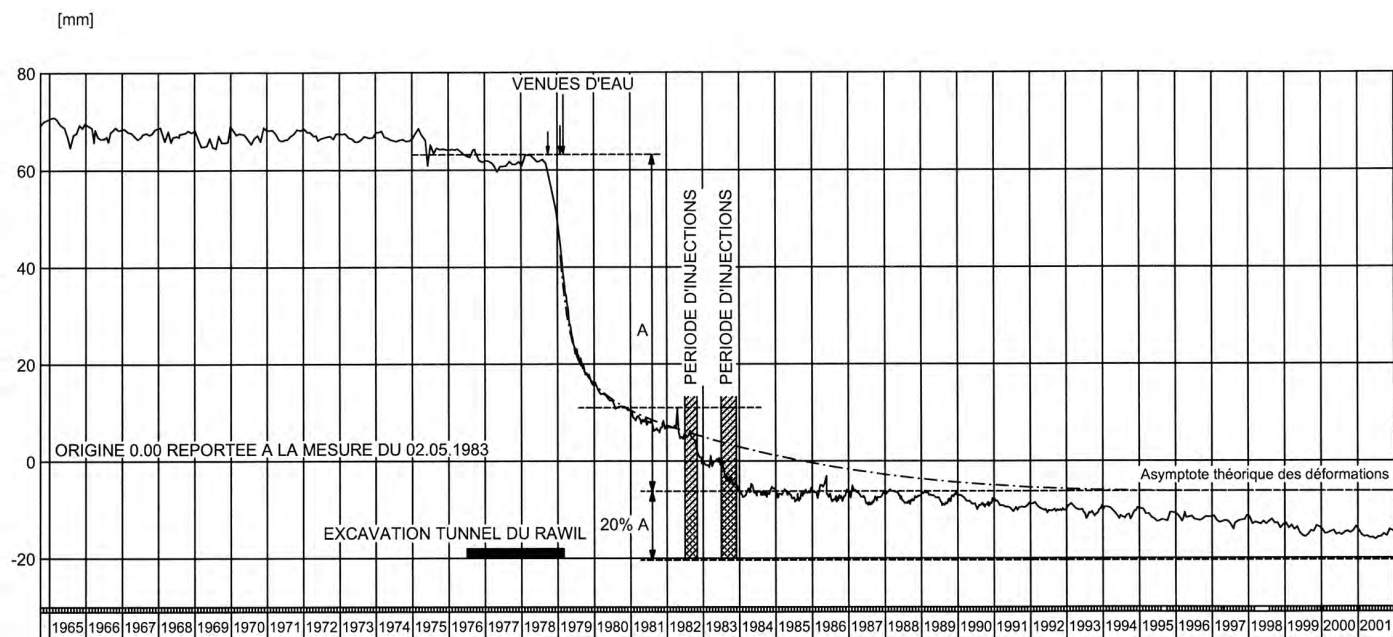
3



1



4



5

Diga di Zeuzier

- 1 Calcolo strutturale
- 2 Assestamenti dovuti al drenaggio del massiccio
- 3 Danni riscontrati nel 1979
- 4 Tensioni nella diga fessurata
- 5 Deformazione radiale al coronamento
- 6 Vista da valle

Testo, foto e disegni Archivio Lombardi SA



6





Lombardi SA Ingegneri Consulenti, diga del Muttsee, vista da ovest. Foto Axpo