

# Periscopio di Pollegio: la struttura portante di una scultura di calcestruzzo

## The Periscope of Pollegio: the prestressed structure of a concrete sculpture

Cristina Zanini Barzaghi

### Introduzione

Il Periscopio, così chiamato fin dal motto che abbiamo adottato per il progetto di concorso, è la nuova torre di controllo di Alptransit-FFS a Pollegio. L'edificio marca in modo inconfondibile il paesaggio in prossimità del portale sud della galleria di base del San Gottardo ed è stato pensato per essere ammirato in velocità. La sua forma scultorea è sviluppata in verticale e si contrappone idealmente al fluire delle linee orizzontali di

### Introduction

The Periscope is the new control tower of Alptransit – the stretch of railway with a 50 km tunnel through the Alps – in Pollegio, so called because of the key word used in the project competition. Due to its architectural appearance, the building marks the landscape around the south portal at Gotthard Base Tunnel. Its design is intended to be fully appreciated at high speed. Its sculptural shape highlights the

traffico presenti nel fondovalle della Leventina (Fig. 1).

La forma di periscopio, con la «scatola» superiore con sbalzi asimmetrici e il «fusto» inferiore massiccio, e la struttura portante in calcestruzzo armato precompresso faccia a vista sono precise scelte fatte sin dall'inizio con gli architetti (Fig. 2).

Lo studio di soluzioni creative nella fase iniziale del progetto è stato particolarmente stimolante. Per il calcolo statico, la struttura è

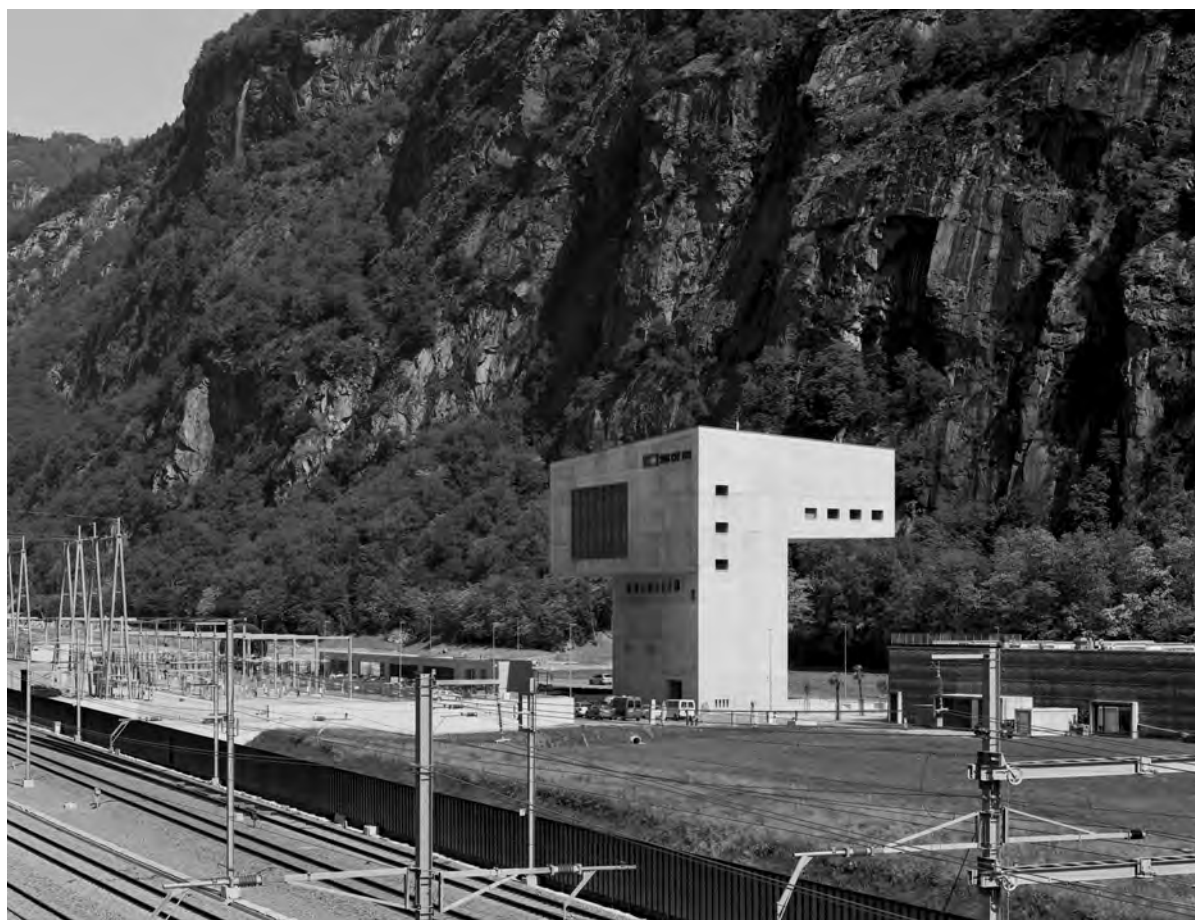


Fig. 1  
Vista del Periscopio da sud-est.  
View of the building from south-east.  
(© Hélène Binet)



**Fig. 2**  
Particolare del calcestruzzo facciavista sul fronte ovest.  
Detail of exposed concrete on the western facade.  
(© H el ene Binet)

vertical, forming a perfect contrast with the flow of the horizontal traffic lines of the Leventina valley floor (Fig. 1).

Specific design choices were made by the architects, such as the "periscope" shape (with the "box" with asymmetrical cantilevers on the massive "shaft") and the structure made of reinforced, prestressed and fair-faced concrete (Fig. 2).

Coming up with solutions for the design of the complex structure was a very creative challenge. In an initial approach, the structure was divided into walls and slabs (two-dimensional elements) and the vertical and horizontal loads were analysed separately. The flows of the forces were modelled both with traditional methods, based on graphic statics (such as strut-and-tie and stress fields) and with finite element modelling. The interpretation of outputs from the finite element method required an intensive analysis and

stata scomposta in elementi bidimensionali verticali e orizzontali che riprendono sia carichi verticali sia orizzontali. I flussi delle forze sono stati modellati sia con i metodi tradizionali basati sulla statica grafica, come i tralicci e i campi di tensione, sia con il calcolo informatico con elementi finiti lineari, a due o tre dimensioni. Quest'ultimi hanno richiesto molto impegno per la loro interpretazione, vista l'importante interazione fra i diversi elementi strutturali. I dimensionamenti sono stati svolti considerando differenti equilibri di forze cos  da ottenere una struttura efficiente con una certa ridondanza, nel contempo economicamente sostenibile. Sono stati inoltre approfonditi molti aspetti particolari, quali la ripartizione fra flessione antimetrica e torsione nella copertura, la progettazione delle centinature (Fig. 3), la precompressione in tre direzioni, la distribuzione delle forze sui pali e l'interazione fra terreno e

ultimately allowed the important interaction between the multiple structural elements to be confirmed. The design of the structural elements was carried out with several variations of the force flow, in order to obtain an efficient structure that is balanced at all times, with some structural redundancy. Of course, at the same time, the criteria of economics and sustainability were considered and carefully integrated into the considerations. Many specific aspects were analysed in detail, such as the distribution ratio in the roof element between anti-metric bending and torsion, the design requirements for the scaffolding under the cantilevers (Fig. 3), the three-dimensional prestressing, the distribution of the forces between the various foundation piles, and the interaction between foundation and building.

### Concrete technology and constructional aspects

An already tested recipe, already largely adopted on the Alptransit sites, that uses high quality alluvial aggregates from H untwangen, has been employed for the fair-faced concrete (as well as CPN C). The external walls have been thermally insulated internally. Great attention has also been paid to the design of the formwork. Minute details such as sharp edges and treatment against rust from reinforcing bars were also taken care of. The arrangement of the anchorage points for the post-tensioning tendons was also designed in accordance with the architectural requirements.

The minimum ratio of reinforcement was determined according to the standard SIA 262 in order to limit large cracks and deformations to an admissible level. From the monitoring carried out after finishing the construction, very small cracks within the limits of defined deformations in the Swiss Codes (less than 0.2 mm) were observed. Also deformation was traced at several monitoring points throughout the building, at various times during and after erection

**Fig. 3**  
 Piattaforme per esecuzione delle parti aggettanti.  
 Scaffolding for the cantilevered parts.  
 (© ORCH – Alessandra Chemollo)

edificio. È difficile riassumere il lavoro svolto in poche righe: segue perciò la descrizione succinta della struttura.

### Materiali e accorgimenti costruttivi

Per il calcestruzzo facciavista di classe CPN C è stata adottata una ricetta già ampiamente testata nei cantieri di Alptransit, con inerti alluvionali di alta qualità da Hüntwangen. Le pareti portanti esterne sono state isolate termicamente all'interno, prevedendo i necessari risvolti per contenere i ponti di freddo. È stata dedicata grande attenzione al disegno dei casseri e dei distanziatori. Sono stati curati anche dettagli minuti

of the concrete structure. Displacements of a few millimetres were observed both vertically and horizontally. The different monitoring systems adopted enable the plausibility of the numerical model to be verified. The data collected confirms that the actual structural behaviour is strongly influenced by the torsion of the whole structure. The concept of the entire structural system took full account of the requirements of the technical equipment. Lowered ceilings and technical floors, as well as vertical technical compartments, have been provided to allow maximum flexibility for the technical equipment and to avoid the placement

quali gli spigoli vivi acuti e il trattamento contro la ruggine dei ferri di ripresa: anche la disposizione delle nicchie di tesatura dei cavi è stata concordata con gli architetti.

L'armatura minima è stata definita in base alle esigenze accresciute per la fessurazione secondo la norma SIA 262. Dai rilievi eseguiti dopo il cantiere abbiamo constatato fessure molto contenute con aperture entro i limiti della norma (inferiori a 0,2 mm). Pure le deformazioni nei punti caratteristici dell'edificio sono state misurate in più momenti durante e dopo il cantiere. Si sono manifestati spostamenti di pochi millimetri sia in verticale sia in orizzontale. I diversi monitoraggi permettono di verificare la plausibilità del calcolo statico e di constatare che il comportamento reale è fortemente influenzato dalla resistenza torsionale della struttura.

La predisposizione di soffitti ribassati e pavimenti tecnici, come pure la presenza di vani tecnici verticali permette la massima flessibilità per le infrastrutture. L'intero sistema strutturale è stato concepito senza inserti e con una rigorosa pianificazione delle forme richieste dall'impiantistica.

### Scatola superiore con travi parete precomprese

La «scatola» superiore della struttura in calcestruzzo armato è precompressa con 60 cavi rettilinei in post-tensione con aderenza, disposti nelle tre direzioni e tesati dopo l'ultimazione dell'intera struttura

Dati principali/Main figures	
m <sup>3</sup> SIA	26 000 m <sup>3</sup>
Calcestruzzo tipo C/ Concrete type C	6 000 m <sup>3</sup>
Armatura B500B/ Reinforcement B500B	900 t
Acciaio/Steel S355	26 t
Precompressione/ Pretensioning	60 cavi totale 1650 m
Pali di fondazione/ Foundation piles	35 pz totale 750 m
Costi complessivi/ Overall costs	CHF 30 mio.
Struttura grezza/ Structural works	2010–2012
Inaugurazione/ Opening	2014

**Committente/Owner**

Ferrovie federali svizzere FFS SA,  
Lucerna; Alptransit Gottardo SA,  
Bellinzona

**Architettura/Architect**

Bruno Fioretti Marquez architetti  
Sagl, Lugano-Berlino

**Ingegnere civile/Civil engineer**

Borlini & Zanini SA, Montagnola

**Impresa costruzioni/Contractor**

CSC Impresa costruzioni SA, Lugano

of electrical cables and tubing within the concrete structure.

## Cantilevered box and shear walls

The upper part of the reinforced concrete structure ("cantilevered box") is prestressed with 60 straight post-tensioned cables with adherence (Fig. 4). They are arranged in three directions and were tensioned after completing the roof-slab. The pretensioning is carried out with an electric control system (type C), adopted as standard in bridge construction but quite unusual in buildings.

The roof on the control room in the "cantilevered box" is designed as a box girder bridge with four pretensioned longitudinal beams with a span of about 33 metres and a variable height from 1.80 to 3.30 metres (Fig. 5).

The roof slab has a thickness ranging from 25 to 35 cm and is shaped like a butterfly with a lower fold on the diagonal of the roof, used for the discharge of rainwater. The large volume of the "box" houses office rooms on the upper level, which are suspended from the roof with steel bars in order to leave the lower space completely free from any support and transparent from facade to facade. The loads acting on the cantilevered box are transferred to the lower "shaft" by means of four shear walls prestressed with vertical and horizontal cables. The position of the openings in these shear walls was studied very carefully, especially for the south facade, with a cantilever of 17 metres (Fig. 6). The east and west facades with large windows help to resist the torsion resulting from the two asymme-

grezza (Fig. 4). La precompressione è stata predisposta con un controllo elettrico (tipo C) equiparabile a quello impiegato nei ponti, ma non usuale nell'edilizia.

La copertura della sala comando è simile a quella dei ponti a cassone, con quattro travi longitudinali pre-comprese di luce di ca. 33 m e di altezza variabile da 1,80 a 3,30 m. La soletta ha uno spessore variabile da 25 a 35 cm, ed è conformata a due falde con un compluvio sulla diagonale per il deflusso delle acque piovane. Gli uffici del sesto piano, inseriti nel grande volume della scatola superiore, sono sospesi alla copertura con tiranti d'acciaio, così da lasciare la sala comando libera da ogni appoggio e trasparente da facciata a facciata. (Fig. 5)

I carichi aggettanti della scatola superiore sono ripresi principalmente da quattro travi pareti trasversali rispetto al fusto e rinforzate con cavi di precompressione verticali e orizzontali. La dispo-

trical cantilevered parts of the building.

## Massive "shaft" and foundations

The lower part of the building, shaped like a solid shaft, houses the technical equipment, which is characterised by heavy loads. The flat slabs (35 cm) are supported by some internal columns up to the fourth floor. Massive perimeter walls, which uniformly distribute the forces to the foundations, are designed and constructed to withstand the mainly vertical load. Bespoke flag-shaped steel plates, provided with shear connectors (Fig. 7), are inserted in the walls at the interfaces with the cantilever boxes. They facilitate the transfer of the large concentrated forces from the boxes into the facade walls of the central building core.

The building is founded on a sandy-gravelly alluvial soil of good quality but not very consoli-

Fig. 4

Schema della precompressione della scatola superiore.  
Prestressing system for upper "cantilevered box".



Fig. 5

Assonometria, pianta e sezione del sistema portante.

Axonometry, horizontal and vertical sections of the structural system.

sizione delle aperture in queste travi è stata studiata attentamente, in particolare per la facciata sud che risulta a sbalzo per 17 m (Fig. 6). Le facciate con grandi vetrate a est e ovest contribuiscono ad equilibrare la torsione risultante dai due aggetti asimmetrici.

### Fusto inferiore e fondazioni

La parte inferiore dell'edificio è conformata come «fusto» massiccio e racchiude gli spazi riservati alla tecnica, dove sono previsti carichi utili elevati. Le solette piane di 35 cm prevedono fino al quarto piano delle colonne intermedie. La discesa dei carichi verticali avviene prevalentemente nelle pareti perimetrali del fusto, le quali essendo molto massicce, ripartiscono uniformemente le forze sulle fondazioni. In corrispondenza delle travi parete trasversali dei piani superiori sono inseriti degli appositi profilati a bandiera in acciaio con connettori, per garantire il passaggio delle grandi forze concentrate dalla scatola superiore al fusto (Fig. 7).

L'edificio è appoggiato su terreno alluvionale ghiaioso-sabbioso di buona qualità ma poco addensato. Nel sottosuolo è presente acqua di falda già a partire da qualche metro sotto la superficie, perciò l'edificio è stato eseguito senza piani interrati, con un solo vano tecnico realizzato con calcestruzzo impermeabile.

dated. Groundwater is already present at a few metres below the surface, which is why the building was built without a basement and with only one technical compartment, made of waterproof concrete. The foundation system with bored piles of 1.2 metres in diameter, and with a length of about 22 metres, was preferred for several reasons: the very low, almost imperceptible differential settlements, which is significant for the cantilevered parts; the lower costs, if compared to a surface foundation; the limited space requirement, given that the construction site had to be arranged in a very small area.

The loads of the two asymmetrical cantilevers counterbalance each other. The resultant vertical design force at the foundation level, approximately 37,000 kN, acts at precisely the centroid of the building shaft footprint.

### Seismic stability

In term of seismic design, the building is considered to be within category II and with reduced ductility. The seismic analyses of the structure were performed using the static equivalent method with horizontal forces of about 9% of vertical loads. Despite the particular shape of the building, the downward continuity of the principal walls allows a direct force flow to the foundations. A

Il sistema di fondazione con pali trivellati di diametro di 1,2 m e lunghezza di ca. 22 m è stato preferito per più motivi: non solo per gli assestamenti differenziali molto contenuti e impercettibili anche nelle parti aggettanti, ma anche per i costi più favorevoli rispetto alle fondazioni superficiali, e per la contenuta necessità di spazio; esigenza tutt'altro che trascurabile in un cantiere che ha dovuto essere organizzato in un'area ridottissima.

Globalmente i carichi dei due aggetti asimmetrici si controbilanciano e la risultante delle forze verticali complessive a livello di fondazione, pari a ca. 37 000 kN a dimensionamento, è posizionata sorprendentemente nel baricentro del fusto.

### Stabilità sismica

Per la sismica l'edificio è considerato con classe d'opera II e con duttilità ridotta: per il dimensionamento sono considerate forze sostitutive sismiche, pari a ca. il 9% dei carichi verticali. Nonostante la conformazione particolare dell'edificio, la continuità verso il basso dei corpi verticali ubicati alle due estremità dell'edificio permette un'ottimale ripresa e distribuzione delle sollecitazioni nel terreno. Un approfondimento specifico è stato eseguito per garantire la trasmissione delle forze orizzontali nel terreno attraverso

Fig. 6

Schema della trave parete a sbalzo con carichi e campi di tensione.  
Cantilevered shear wall with loads and stress fields.

Fig. 7

Elemento metallico a bandiera per introduzione delle forze concentrate.  
Steel flag-profile for introduction of concentrated forces.

specific study was carried out to guarantee the transmission of horizontal forces into the ground by the bending of the upper part of the foundation piles.

## Conclusions

"Structural engineering is the art of forming shapes that cannot be analysed in reality, with unknown materials, to face forces that cannot be evaluated, in such a way that all traces are invisible." The Periscope is well suited to this ironic definition by St. Kelsey, because of its complex structural concept. This project represents an important moment of professional growth for our firm, especially regarding the interdisciplinary work involved.

la flessione della parte superiore dei pali di fondazione.

## Conclusioni e ringraziamenti

«L'ingegneria strutturale è l'arte di formare con materiali che nella realtà non si conoscono, delle forme che nella realtà non si possono analizzare, per resistere a delle forze che nella realtà non si possono valutare, in modo tale che la gente non possa, nella realtà, sospettarlo.»

Questa ironica definizione di S. Kelsey ben si adatta al Periscopio, visto che non è semplice spiegare il suo concetto strutturale. Per il nostro studio si è trattato di un momento di crescita professionale importante, in particolare per il lavoro interdisciplinare svolto nel team di progetto. Ringraziamo in particolare la committenza, lo studio d'architettura e l'impresa costruzioni per la collaborazione proficua.

### Autrice/Author

Cristina Zanini Barzaghi  
Ing. civile dipl. ETHZ SIA OTIA  
Borlini & Zanini SA  
CH-6926 Montagnola  
info@cristinazanini.ch