

**Zeitschrift:** Archi : rivista svizzera di architettura, ingegneria e urbanistica = Swiss review of architecture, engineering and urban planning

**Herausgeber:** Società Svizzera Ingegneri e Architetti

**Band:** - (2015)

**Heft:** (6): La centrale di esercizio sud di Pollegio = Die Betriebszentrale Süd in Pollegio = Le centre d'exploitation sud de Pollegio

**Artikel:** La struttura portante di una scultura di calcestruzzo = Die Tragkonstruktion einer Betonskulptur = La structure porteuse d'une sculpture en béton

**Autor:** Zanini Barzaghi, Cristina

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-594398>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 28.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## La struttura portante di una scultura di calcestruzzo

### Die Tragkonstruktion einer Betonskulptur

## La structure porteuse d'une sculpture en béton

Cristina Zanini Barzaghi

«L'ingegneria strutturale è l'arte di dar forma 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 Sydney Kesley trovata in *Wikipedia* ben si adatta al Periscopio.

Non è infatti semplice spiegare il concetto strutturale di questo articolato e scultoreo edificio, nato già in occasione del concorso e che poi abbiamo avuto modo di realizzare con grande soddisfazione. Si è trattato per il nostro studio di un momento di arricchimento importante, non solo per il lavoro interdisciplinare svolto nel team di progetto ma anche per i numerosi scambi di opinioni avuti con diversi colleghi su vari aspetti di calcolo e di costruzione.

La forma di periscopio, con la scatola superiore con sbalzi asimmetrici e il fusto inferiore massiccio, e la struttura portante in calcestruzzo armato faccia a vista pre-compresso sono precise scelte fatte sin dall'inizio con gli architetti. Lo studio di soluzioni strutturali creative nella fase iniziale del progetto è stato particolarmente stimolante. Per il calcolo statico, la struttura è stata scomposta in elementi bidimensionali verticali e orizzontali che riprendono sia ca-

«Tragwerksplanung ist die Kunst, mit Werkstoffen, die man in der Realität nicht kennt, Formen zu bilden, die man in der Realität nicht analysieren kann, um Kräften zu widerstehen, die man in der Realität nicht berechnen kann, und zwar so, wie man es niemals vermuten würde».

≡ Diese auf Wikipedia gefundene ironische Definition von Sydney Kelsey passt gut zum «Periskop».

Es ist in der Tat nicht einfach, das statische Konzept dieses komplexen, skulpturalen Gebäudes zu erläutern, das im Rahmen eines Wettbewerbs entstand und das wir mit grosser Freude errichten durften. Für unser Büro handelte es sich um eine wichtige Etappe unserer beruflichen Bereicherung. Dazu haben nicht nur die interdisziplinäre Arbeit im Projektteam, sondern auch die zahlreichen Gespräche mit verschiedenen Kollegen über einzelne Aspekte der Berechnung und des Baus beigetragen.

Die Entscheidung für die Form des Periskops mit den asymmetrischen Auskragungen des oberen Teils und dem massiven Sockel sowie dem Tragwerk aus vorgepanntem Sichtbeton fiel bereits in der ersten Phase gemeinsam mit den Architekten. Besonders inspirierend war die Suche nach Lösungen für die Tragkonstruktion in der Vorprojektphase. Für die statische Berechnung wurde die Konstruktion in zweidimen-

«L'art des structures est de modeler des matériaux que nous ne comprenons pas vraiment, dans des formes que nous ne pouvons pas vraiment analyser, afin qu'ils résistent à des charges que nous ne pouvons pas vraiment estimer, de telle manière que les gens n'aient aucune raison de suspecter l'étendu de notre ignorance».

≡ Cette définition ironique de Sydney Kesley trouvée sur *Wikipedia* s'adapte bien au «Periscopio». Il n'est en effet pas simple d'expliquer le concept structurel de ce bâtiment articulé et sculptural, né au moment du concours et que nous avons eu le grand plaisir de réaliser. Il s'est agi pour notre bureau d'un important moment d'enrichissement professionnel, non seulement en relation avec le travail interdisciplinaire au sein de l'équipe du projet mais aussi pour les échanges d'opinion avec de nombreux collègues sur différents aspects des calculs et de la construction.

La forme du périscope, avec les parties en porte-à-faux asymétriques de la boîte supérieure et le tronc inférieur massif, ainsi que la structure porteuse en béton armé apparent précontraint ont été des choix précis adoptés avec les architectes dès le début. L'étude de solutions structurelles créatives dans la phase initiale du projet a été particulièrement stimulante. Pour le calcul statique, la structure a été décomposée en



Foto: ORCH - Alessandra Chemollo

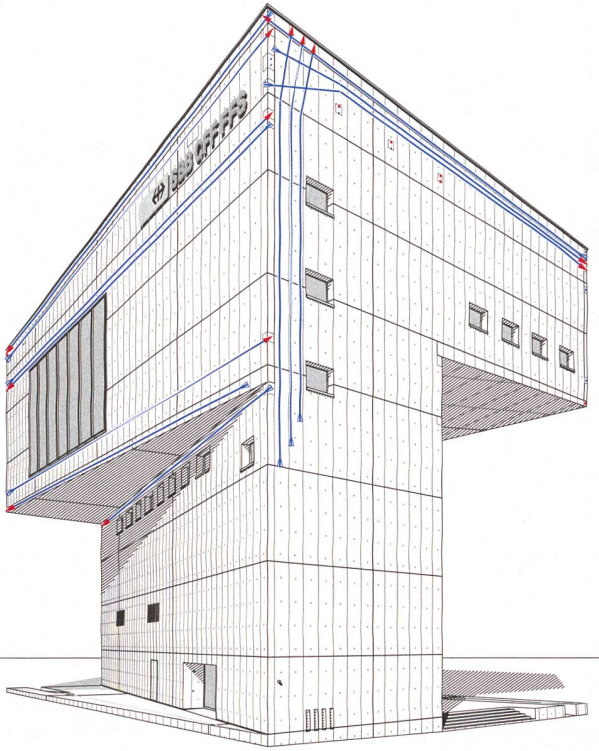
ricchi verticali sia orizzontali. I flussi delle forze sono stati modellati con l'ausilio di diversi modelli: abbiamo affiancato ai modelli più tradizionali, basati sulla statica grafica come i tralicci e i campi di tensione, quelli informatici con elementi finiti lineari, a due o tre dimensioni. Questi ultimi ci hanno impegnato parecchio nella loro interpretazione, vista l'importante interazione fra i diversi elementi strutturali. Abbiamo analizzato diverse varianti sia per la struttura, sia per i materiali e i carichi applicati. I dimensionamenti sono quindi stati svolti con più equilibri così da ottenere una struttura efficiente con una certa ridondanza, nel contempo economicamente sostenibile. Sono stati eseguiti approfondimenti per molti aspetti particolari, quali la ripartizione fra flessione asimmetrica e torsione nella copertura, la progettazione delle centinature provvisorie, la precompressione in tre dimensioni, la distribuzione delle forze sui pali e l'interazione fra terreno e edificio.

La parte superiore della struttura in calcestruzzo armato è precompressa con 60

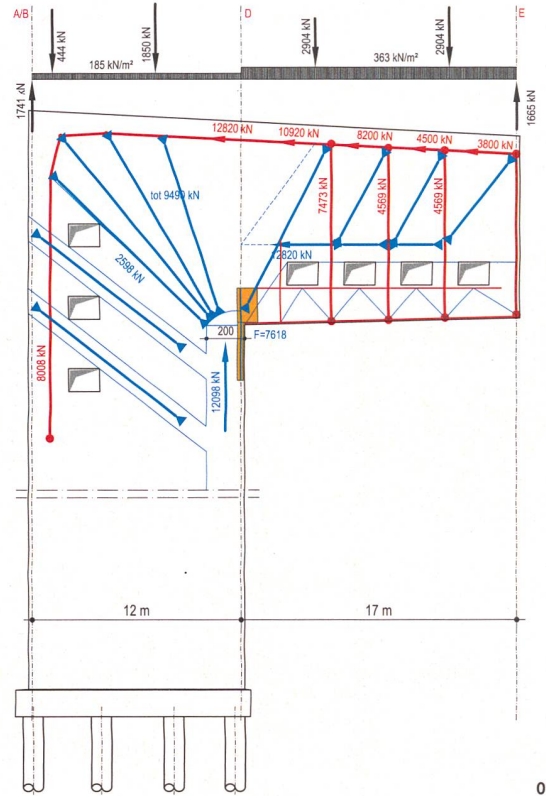
sionale vertikale und horizontale Elemente unterteilt, die sowohl vertikale als auch horizontale Lasten aufnehmen. Die Kraftflüsse wurden mithilfe unterschiedlicher Modelle berechnet. Neben herkömmlichen, auf der graphischen Statik basierenden Systemen wie Fachwerken und Spannungsfeldern haben wir auch numerische Verfahren wie die Methode der finiten Elemente in zwei oder drei Dimensionen eingesetzt.

Aufgrund der Interaktionen zwischen den einzelnen Tragwerkselementen war die Interpretation der Resultate der einzelnen Berechnungen anspruchsvoll. Wir haben sowohl für die Konstruktion als auch für die Werkstoffe und die darauf einwirkenden Lasten verschiedene Varianten vertieft. Die Dimensionierung wurde anhand von mehreren Gleichgewichtsbetrachtungen vorgenommen, um eine wirtschaftliche und effiziente Konstruktion mit einer gewissen Redundanz zu entwickeln. Zahlreiche besondere Aspekte wurden vertieft: dazu gehörten zum Beispiel die Aufteilung zwischen antisymmetrischer Biegung und

éléments bidimensionnels verticaux et horizontaux reprenant des charges à la fois verticales et horizontales. Les flux des charges ont été analysés par le biais de différents modèles: nous avons superposé aux modèles plus traditionnels, basés sur la statique graphique comme les treillis et les champs de tension, des modèles informatiques avec des éléments finis linéaires, à deux ou trois dimensions. L'interprétation de ces derniers a été particulièrement difficile au vu de l'importance des interactions entre les différents éléments structurels. Nous avons analysé plusieurs variantes pour la structure comme pour les matériaux et les charges appliquées. Les dimensionnements ont donc été développés avec plusieurs équilibres afin d'obtenir une structure efficace dotée d'une certaine redondance mais toujours économiquement viable. Des approfondissements ont été réalisés pour des aspects spécifiques, comme la répartition entre la flexion antisymétrique et la torsion dans la couverture, la conception des cintrages provisoires, la



02



03

01 Maggio | Mai | Mai 2010

Fondazioni | Fundamente | Fondations

02-03 Schema di precompressione, carichi e campi di tensione |  
Schema für Vorspannung, Belastungen und Spannungsfelder |  
Schéma de précontrainte, charges et champs de tension

04 Settembre | September | Septembre 2010

Elevazione piano terra | Erdgeschosswände | Elévation  
rez-de-chaussée

05 Maggio | Mai | Mai 2011

Elemento metallico a bandiera per introduzione delle forze  
concentrate | Fahnenförmiges Metallelement zur Einfüh-  
rung von konzentrierten Kräften | Élément métallique en  
drapeau pour introduction des forces concentrées

06 Sezione trasversale | Querschnitt | Coupe transversale



04



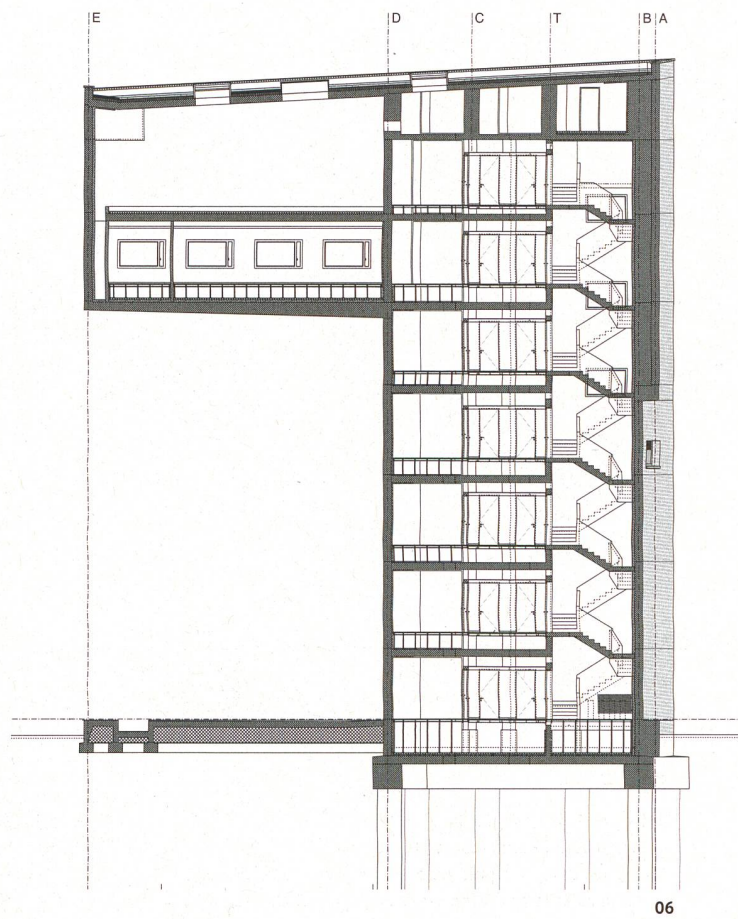
Foto: Borlini&Zanini

cavi rettilinei in post-tensione con aderenza, di lunghezza complessiva di 1650 metri, disposti nelle tre dimensioni e tesati in un'unica tappa dopo l'ultimazione dell'intera struttura grezza. La precompressione è stata predisposta con un controllo elettrico (tipo c) equiparabile a quello impiegato nei ponti, ma non usuale nell'edilizia. Per il calcestruzzo facciavista di classe CPN C è stata adottata una ricetta già ampiamente testata nei cantieri di ATG, con inerti alluvionali di alta qualità 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 alla definizione del disegno dei casseri e dei distanziatori. Sono stati curati anche dettagli minuti quali gli spigoli vivi acuti, 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'edifi-

Torsion im Dach, die Planung der provisorischen Gerüstkonstruktionen, die Vorspannung in drei Dimensionen, die Verteilung der Kräfte auf die Pfähle und die Wechselwirkungen zwischen Baugrund und Gebäude.

Der obere Teil der Stahlbetonkonstruktion ist mit 60 Spannkabeln – insgesamt 1650 m lang – bei gradliniger Kabelführung im nachträglichen Verbund vorgespannt. Die Spannkabel wurden in den drei Hauptrichtungen nach der Fertigstellung der gesamten Rohkonstruktion gemeinsam gespannt. Die Vorspannung wurde mit einer elektrischen Steuerung (Typ C) vorgenommen, die bei Brücken verwendet wird, aber bei Gebäuden nicht üblich ist. Für den Sichtbeton der NPK-Betonart C wurde eine Rezeptur mit hochwertigen Hüntwangen-Zuschlagstoffen aus Alluvialböden eingesetzt, die sich auf den ATG-Baustellen bereits bewährt hat. Die tragenden Außenwände wurden von innen wärmegeämmt, unter besonderer Beachtung der Kältebrücken. Grosse Aufmerksamkeit wurde der Gestaltung der Schalungen und der Abstandhalter gewidmet. Auch kleinste Details, wie scharfe Kanten und der Rostschutz der Anschlussisen wurden beachtet. Selbst die Auslegung der Ankernischen der Spannkabel wurde mit den Architekten abgestimmt.



précontrainte en trois dimensions, la distribution des charges sur les poteaux et l'interaction entre terrain et bâtiment.

La partie supérieure de la structure en béton armé est précontrainte grâce à 60 câbles rectilignes en post-tension avec adhérence, d'une longueur cumulée de 1650 mètres, disposés dans les trois dimensions et tendus en une seule étape après achèvement de l'intégralité de la structure brute. La précontrainte a été appliquée avec une isolation électrique (catégorie c) équivalente à celle utilisée pour les ponts, mais inhabituelle pour les bâtiments. Pour le béton apparent de classe CAN, on a choisi une recette souvent utilisée dans les chantiers d'ATG, avec des matériaux inerts alluviaux de haute qualité Hüntwangen. Les murs porteurs extérieurs ont été isolés par l'intérieur, en prenant les mesures nécessaires pour contenir les ponts thermiques. Une grande attention a été portée à la définition du calepinage des coffrages et des écarteurs. Un soin particulier a aussi été apporté à de nombreux petits détails comme les arêtes vives et le traitement contre la rouille des fers de reprise: même la disposition des niches d'ancrage des têtes de câbles a été réalisée en accord avec les architectes.



Foto: ORCH - Alessandra Chemollo

07

### Progettazione interdisciplinare | Interdisziplinäre Planung | Conception interdisciplinaire

≡ Il «Periscopio» è stato scelto con un concorso d'architettura e ingegneria. L'arch. Donatella Fioretti e l'ing. Cristina Zanini hanno sviluppato a quattro mani il particolare concetto architettonico e strutturale, che è rimasto sostanzialmente invariato nell'esecuzione. Per volontà della committenza, tutti gli specialisti hanno operato sin dall'inizio in modo solidale con un contratto di mandato unico. L'edificio è perciò frutto di un importante lavoro interdisciplinare, svolto in stretta collaborazione con FFS e ATG. È stata un'occasione unica di dimostrare le capacità del team in un oggetto che da subito è apparso estremamente complesso, non solo per l'ardita struttura ma anche per la conduzione amministrativa di molti progettisti e per la complessità organizzativa della committenza.

≡ Das «Periskop» wurde durch einen Architektur- und Ingenieurwettbewerb ausgewählt. Die Architektin Donatella Fioretti und die Ingenieurin Cristina Zanini entwickelten gemeinsam das besondere Architektur- und Konstruktionskonzept, das in der Ausführung im Wesentlichen unverändert geblieben ist. Auf Wunsch der Bauherrschaft haben alle Experten von Anfang an im Rahmen eines Gesamtplanervertrags kooperiert. Das Gebäude ist daher das Ergebnis einer umfassenden interdisziplinären

Arbeit in enger Abstimmung mit den SBB und der ATG. Es handelte sich um eine einzigartige Gelegenheit, die Fähigkeiten des Teams anhand eines Objekts unter Beweis zu stellen, das von Anfang an von grosser Komplexität gekennzeichnet war. Dazu trug nicht nur die gewagte Konstruktion, sondern auch die Koordination der vielen Fachplaner und der komplexen Organisation der Bauherrschaft bei.

≡ Le «Periscopio» a été le lauréat d'un concours d'architecture et d'ingénierie. L'architecte Donatella Fioretti et l'ingénieure Cristina Zanini ont développé à quatre mains le concept architectural et structurel particulier, qui est pour l'essentiel resté inchangé lors de l'exécution. Par la volonté du maître d'ouvrage, tous les bureaux d'étude ont œuvré dès le départ de manière solidaire sous un contrat à mandataire unique. Le bâtiment est ainsi le fruit d'un important travail interdisciplinaire, réalisé en étroite collaboration avec les CFF et ATG. Cela a été une occasion unique de démontrer les atouts du travail d'équipe pour la réalisation d'un objet extrêmement sensible, non seulement du point de vue de l'audace de l'édifice mais aussi pour la gestion administrative des nombreux spécialistes et la complexité de l'organisation de la maîtrise d'ouvrage.

Cristina Zanini Barzaghi

07 Febbraio | Februar | Février 2012  
Struttura della sala di comando |  
Struktur des Kommandoraums |  
Structure de la salle de commande

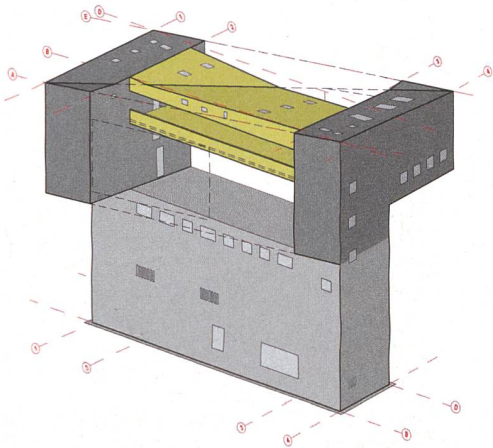
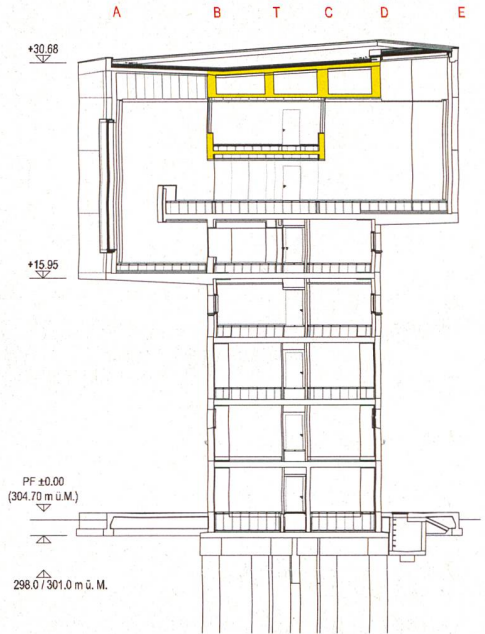
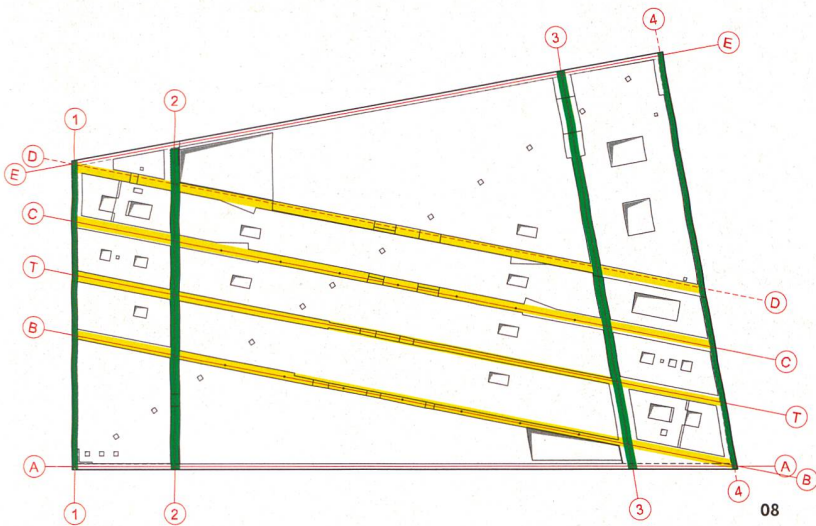
08-10 Pianta, sezione e assonometria del sistema  
portante | Grundriss, Querschnitt und  
Axonometrie der Tragewerk | Plan, coupe  
et axonométrie du système porteur

11 Dettaglio giunto di lavoro per faccia vista e  
spigoli vivi | Detail Arbeitsfuge für  
Sichtfassade und scharfe Kanten | Détail joint  
de travail pour béton apparent et arêtes vives

12-13 Maggio | Mai | Mai 2011  
Piattaforme per esecuzione delle  
parti aggettanti | Plattform zur Ausführung  
der auskragenden Teile | Plateforme pour  
mise en œuvre des porte-à-faux

14 Luglio | Juli | Juillet 2011  
Scorcio dei ponteggi e dei casseri per la sala  
di comando | Teilansicht Gerüste und  
Schalungen für den Kommandoraum |  
Vue des échafaudages et des coffrages pour  
la salle de commande

15 Vista esterna della struttura grezza |  
Aussenansicht Rohbau | Vue extérieure  
du gros œuvre



Die Mindestbewehrung wurde anhand der erhöhten Anforderungen an die Rissbildung gemäss der Norm SIA 262 festgelegt. Bei den nach Abschluss der Arbeiten durchgeführten Messungen haben wir nur feine Risse mit Öffnung im Rahmen des von der Norm vorgegebenen Grenzwertes (unter 0.2 mm) festgestellt. Die Verformungen des Gebäudes wurden zu verschiedenen Zeitpunkten während und nach Abschluss der Arbeiten gemessen. Vertikal wie auch horizontal wurden nur Bewegungen von wenigen Millimetern festgestellt. Durch das Monitoring konnten wir die Plausibilität der statischen Berechnung prüfen und dabei feststellen, dass das reale Verhalten des Gebäudes stark vom Torsionswiderstand der Konstruktion beeinflusst wird.

Hängedecken, Blindböden und vertikale Technikräumen ermöglichten höchste Flexibilität für die Infrastruktureinrichtungen. Die gesamte Konstruktion liess sich ohne einbetonierte Einlagen ausführen und die Lagen der Aussparungen wurden rigoros und minutiös geplant.

Mit vier 33 m langen, vorgespannten Längsträgern mit einer Höhe zwischen 1.80 m und 3.30 m gleicht das Dach des Kommandoraums einer Kastenbrückenstruktur. Die Decke ist zwischen 25 und 35 cm stark und besteht aus zwei Dachflä-

L'armature minimale a été définie en se basant sur les exigences accrues pour la fissuration selon la norme SIA 262. Des relevés effectués en fin de chantier ont mis en évidence des fissures minimales avec des écartements respectant les limites de la norme (inférieures à 0,2 mm). Les déformations dans les points caractéristiques du bâtiment ont aussi été mesurées à plusieurs reprises pendant et après le chantier. Des déplacements verticaux comme horizontaux de quelques millimètres ont eu lieu. Les différents contrôles nous ont permis de vérifier la plausibilité du calcul statique et de constater que le comportement effectif de la structure est fortement influencé par sa résistance à la torsion.

Le choix d'opter pour des faux plafonds, des planchers techniques et des gaines verticales offre une flexibilité maximale des infrastructures. L'intégralité du système structurel a été conçue sans éléments coulés et avec une rigoureuse planification des passages nécessaires aux installations. La couverture de la salle de commande est semblable à celle des ponts en poutre-caisson, avec quatre poutres longitudinales précontraintes de portées d'environ 33 mètres et de hauteurs variant entre 1,80 et 3,30 mètres. L'épaisseur de la dalle varie entre 25 et 35 centimètres et suit la double pente conver-

cio 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 ci hanno permesso di verificare la plausibilità del calcolo statico e di constatare che il comportamento reale è fortemente influenzato dalla resistenza torsionale della struttura.

La scelta di predisporre soffitti ribassati, pavimenti tecnici e vani tecnici verticali permette la massima flessibilità per le infrastrutture. L'intero sistema strutturale è stato concepito senza elementi in getto e con una rigorosa pianificazione dei passaggi richiesti dall'impiantistica.

La copertura della sala comando è simile a quella dei ponti a cassone, con quattro travi longitudinali precomprese di luce di circa 33 metri e di altezza variabile da 1.80 a 3.30 metri. La soletta ha spessore variabile da 25 a 35 centimetri di spessore, ed è conformata a due falde con un compluvio sulla diagonale che facilita 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. 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 disposizione delle aperture in queste travi è stata studiata con particolare attenzione. Le facciate con grandi vetrate a est e ovest aiutano ad equilibrare la torsione risultante dai due aggetti asimmetrici.

La parte inferiore dell'edificio è conformata come fusto massiccio e racchiude gli spazi riservati alla tecnica, dove sono previsti

chen mit einer Kehle in der Diagonalen, die den Abfluss von Regenwasser erleichtert. Die Büros im sechsten Stock des grossen Baukörpers hängen mit Zugstangen am Dach, sodass der Kommandoraum stützenfrei von der einen Fassade bis zur anderen durchsichtig ist. Die Lasten des auskragenden oberen Baukörpers werden hauptsächlich von vier wandartigen Tragwänden aufgenommen, die quer zum Sockel liegen und mit vorgespannten horizontalen und vertikalen Kabeln verstärkt sind. Der Anordnung der Öffnungen in diesen Tragelementen wurde besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Die Fassaden mit den grossen Glasfenstern im Osten und im Westen tragen zum Ausgleich der aus den beiden asymmetrischen Auskragungen resultierenden Torsion bei.

Der untere Teil des Gebäudes ist als massiver Sockel ausgebildet und enthält die Technikräume, für die hohe Nutzlasten vorgesehen sind. Die 35 cm starken Flachdecken liegen bis zum vierten Stock auf Zwischenstützen auf. Vertikale Lasten werden in erster Linie über die Aussenwände des Sockels nach unten geleitet, die die

geant vers une noue sur la diagonale qui facilite l'écoulement des eaux pluviales. Les bureaux du sixième étage, insérés dans le grand volume de la boîte supérieure, sont suspendus à la couverture par des tirants en acier, afin de libérer la salle de commande de tout appui et lui offrir une complète transparence. Les porte-à-faux de la boîte supérieure sont repris principalement par quatre poutres-panois disposées de manière transversale par rapport au tronc et renforcées par des câbles de précontrainte verticaux et horizontaux. La distribution des ouvertures dans ces parois a été très soigneusement étudiée. Les façades avec leurs grandes baies vitrées à l'est et à l'ouest aident à équilibrer la torsion résultant des deux porte-à-faux asymétriques.

La partie inférieure du bâtiment apparaît comme un tronc massif et renferme les espaces réservés aux installations techniques, où sont prévues des charges utiles élevées. Les dalles planes de 35 centimètres d'épaisseur sont soutenues jusqu'au quatrième étage avec des colonnes intermédiaires. La descente de charges verticales s'effectue essentiellement dans les murs périphériques

### ≡ Gestione appalti | Auftragsmanagement | Gestion des appels d'offres

≡ Per la progettazione e direzione lavori la committenza ha scelto di incaricare un unico partner raggruppando architetto e specialisti in un team unico, così da avere un solo referente interdisciplinare organizzato autonomamente. Per la realizzazione si è operato con singoli appalti, così da poter iniziare al più presto i lavori di costruzione e rispettare i tempi imposti dal cantiere circostante per la galleria di base. Gli appalti sono stati gestiti principalmente in tre tempi: dapprima per le opere preliminari e la struttura grezza, avviate nell'inverno 2009-2010, a seguire per le finiture eseguite a partire dal 2012 e infine per le sistemazioni esterne e le infrastrutture interrate eseguite nel 2013. Complessivamente sono stati allestiti 40 concorsi di appalto, prevalentemente secondo procedura libera, attribuiti per lo più a ditte locali. Gli appalti più importanti sono quelli relativi all'impresa costruzioni per la struttura grezza in calcestruzzo armato precompresso e per le sistemazioni esterne con condotte interrate. Il cantiere e le liquidazioni sono state seguite dalla direzione lavori del team di progettazione, in collaborazione con i responsabili della committenza di FFS e AlpTransit SA.

≡ Mit der Planung und Bauleitung hatte die Bauherrschaft einen einzigen Partner beauftragt, bei dem Architekten und Experten in einem Team zusammenarbeiteten.

So hatte die Bauherrschaft einen einzig, selbstständig organisierten interdisziplinären Ansprechpartner.

Zur Bauausführung wurden einzelne Aufträge vergeben, damit die Arbeiten so bald wie möglich begannen und man den durch den Basistunnelbau vorgebenen Zeitplan einhalten konnte. Die Aufträge wurden im wesentlichen in drei Phasen vergeben: Zur ersten Etappe im Winter 2009-2010 gehörten die Vorarbeiten und der Rohbau, darauf folgten ab 2012 die Ausbauarbeiten und im Jahr 2013 die Umgebungsarbeiten mit der unterirdischen Infrastrukturleitungen. Insgesamt wurden 40 Vergabeverfahren durchgeführt, hauptsächlich mit freier Vergabe. Die meisten Auftragnehmer waren vor Ort ansässige Betriebe. Die umfangreichsten Aufträge betrafen den Rohbau aus Spannbeton und die die Umgebungsarbeiten mit den unterirdischen Infrastrukturrichtungen. Die Baustelle und der Baustellenbuchhaltung wurden von der Bauleitung des Planungsteams in Zusammenarbeit mit der Bauherrschaft SBB und AlpTransit AG betreut.

≡ Pour la planification et la direction des travaux, la maîtrise d'ouvrage a choisi de mandater un partenaire unique regroupant architecte et spécialistes au sein d'une même équipe, pour n'avoir qu'un seul référent interdisciplinaire, organisé de manière autonome.

Pour l'exécution, on a procédé par appels d'offres séparés afin de pouvoir commencer les travaux de construction dans les meil-

leurs délais et respecter les délais imposés par le chantier voisin pour le tunnel de base. Les appels d'offres ont été principalement gérés en trois temps, en commençant par les ouvrages préliminaires et la structure brute, démarrés à l'hiver 2009-2010. Ont suivi les finitions, exécutées à partir de 2012 et enfin les aménagements extérieurs avec les infrastructures souterraines réalisés en 2013.

Au total, 40 appels d'offres ont été lancés, essentiellement en procédure ouverte, pour la plupart attribués à des entreprises locales. Les lots les plus importants ont été celui de l'entreprise de gros-œuvre pour la structure brute en béton armé précontraint et celui concernant les aménagements extérieurs intégrant les infrastructures souterraines. Le chantier et les décomptes ont été suivis par la direction des travaux de l'équipe de planification, en collaboration avec les responsables de la maîtrise d'ouvrage des CFF et AlpTransit SA.

Cristina Zanini Barzaghi, Rolando Spadea

carichi utili elevati. Le solette piane di 35 centimetri 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.

Per la sismica l'edificio è considerato con classe d'opera II e ha duttilità ridotta: per il dimensionamento alle forze orizzontali risultano determinanti le forze sostitutive sismiche, pari a circa 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 la flessione della parte superiore dei pali di fondazione.

Kräfte dank ihrer Massivität gleichmässig auf die Fundamente verteilen. Bei den Anschlüssen der quer angeordneten wandartigen Träger in den oberen Geschossen befinden sich Fahnenbleche aus Stahl mit Kopfbolzendübeln, die das Ableiten der grossen Kräfte aus dem Baukörper oberhalb des Sockels gewährleisten.

Aus Erdbebensicht gehört das Gebäude der Klasse II an und hat eine reduzierte Duktilität. Für die Dimensionierung in horizontaler Richtung sind die seismischen Ersatzkräfte entscheidend, die etwa 9% der vertikalen Lasten entsprechen. Trotz der besonderen Form des Gebäudes ermöglicht die Kontinuität der an den Enden des Gebäudes liegenden vertikalen Baukörper eine gute Lastabtragung und Verteilung der Lasten am Boden. Um das Weiterleiten der horizontalen Kräfte in den Boden durch Biegung im oberen Teil der Fundamentpfähle zu gewährleisten, wurde eine vertiefte Modellierung durchgeführt.

Das Gebäude steht auf leicht verdichtetem Kies-Sand-Boden in Flussnähe. Im Untergrund fliesst bereits wenige Meter unter der Oberfläche Grundwasser. Daher wurde

du tronc, dont la massivité permet une répartition uniforme des forces sur les fondations. En correspondance avec chaque poutre-pa-roi transversale, des profils en acier en drapeau avec des connecteurs spécialement conçus ont été insérés pour garantir le passage des fortes charges concentrées de la boîte supérieure au tronc.

Du point de vue sismique, le bâtiment est considéré comme appartenant à la classe d'ouvrage II et à ductilité réduite: pour le dimensionnement des forces horizontales, sont déterminantes les forces sismiques de remplacement, équivalentes à environ 9% des charges verticales. Malgré la forme particulière du bâtiment, la continuité vers le bas des corps verticaux positionnés aux deux extrémités du bâtiment permet une reprise et une distribution optimales des sollicitations dans le terrain. Un approfondissement spécifique a été effectué afin de garantir la transmission des forces horizontales dans le terrain à travers la flexion de la partie supérieure des poteaux de fondation.

Le bâtiment est posé sur un sol graveleux de bonne qualité mais peu épais,

#### Struttura grezza | Rohkonstruktion | Structure brute

≡ La cassetatura delle pareti esterne è stata eseguita con delle strutture di grandi dimensioni rivestite con dei pannelli in legno, piallati, di dimensioni costanti, che hanno permesso di avere la superficie del calcestruzzo completamente omogenea. Questa scelta è stata preventivamente concordata fra architetto, ingegnere, e l'impresa costruttrice, la quale si è avvalsa della collaborazione di una ditta specializzata. Il risultato estetico, finale, richiesto dal committente, ha imposto una particolare attenzione nel fissaggio delle cassetature, nelle varie tappe di getto, dovute anche dalla spinta del calcestruzzo, nella parete esterna, nelle zone d'intersezione con le pareti trasversali, da eseguire in un solo getto, e con le parti finali a spigolo vivo acuto. Particolare impegno e precisione si è reso necessario durante la posa dei profili metallici, di grande altezza, dei due finestroni di facciata.

≡ Die Schalung der Aussenwände erfolgte durch immer gleich dimensionierte, grossformatige, mit gehobelten Holzplatten ausgekleidete Schalungen, durch die eine homogene Betonoberfläche gewährleistet werden konnte. Diese Entscheidung wurde im Vorfeld zwischen Architekt, Ingenieur und Bauunternehmen abgestimmt. Das Bauunternehmen hat zusätzlich mit einer auf diese Technik spezialisierten Firma zusammengearbeitet. Um das von der Bauherr-

schaft gewünschte ästhetische Endergebnis zu erzielen, war bei der Befestigung der Schalungen in den einzelnen Betonierphasen besondere Aufmerksamkeit erforderlich: wegen des Frischbetondrucks an der Aussenwand, der Anschlussstellen zu den Querwänden, die in einem einzigen Betoniervorgang ausgeführt werden mussten, sowie beim Abschluss von Bereichen mit scharfen Kanten. Darüber hinaus verlangte auch die anspruchsvolle Montage der Metallprofile der beiden grossen Fassadenfenster hohe Präzision.

≡ Le coffrage des parois extérieures a été réalisé avec des structures de grande dimension habillée de panneaux en bois rabotés de mesure constante qui ont permis d'obtenir une surface de béton parfaitement homogène. Ce choix a été l'objet d'un accord préalable entre architecte, ingénieur et entreprise de gros œuvre, laquelle fait appel à l'expertise d'une société spécialisée. Le résultat esthétique final, demandé par le maître d'ouvrage, a exigé une attention particulière sur la fixation des coffrages lors des différentes phases de coulage, imposée également par la poussée du béton dans la paroi extérieure, dans les zones d'intersection avec les parois transversales exécutées en un seul coulage, et le souhait d'une finition avec des arêtes vives. Un effort spécial et une précision particulière ont été nécessaires lors de la pose des profils métalliques de grande hauteur des deux baies vitrées de la façade.



Foto: Borini&Zanini

11



Foto: ORCH - Alessandra Chemollo



Foto: ORCH - Alessandra Chemollo

### Centine | Traggerüste | Cintres

≡ Uno studio approfondito è stato richiesto per la progettazione e la posa della centina di sostegno delle solette a sbalzo e della soletta di copertura.

Solette a sbalzo: visto i notevoli carichi, da sostenere, si è provveduto all'esecuzione di fondazioni in calcestruzzo adeguate e a una centinatura in profilati d'acciaio commisurati allo scopo. Sono state posate altresì, a tutela della sicurezza, vista l'altezza alla quale si andava a operare, delle reti di protezione anti caduta. Soletta di copertura: l'esecuzione della centinatura di sostegno è stata molto complessa in quanto si è dovuto tenere conto, per la parte centrale, della presenza della galleria al 6° piano sospesa con dei tiranti metallici al cassone di sostegno della soletta stessa. Questa particolarità ci ha imposto di eseguire una puntellazione provvisoria, tra il pavimento della sala comando e la soletta della galleria e tra questa e il cassone di sostegno delle travi longitudinali. Nelle parti laterali è stata eseguita una puntellazione unica, complicata dalle doppie pendenze dovute al compluvio del tetto, disposto diagonalmente.

≡ Für die Planung und Montage des Lehrgerüsts der auskragenden Decken und des Betondachs war eine gründliche Untersuchung erforderlich. Auskragende Decken: Angesichts der hohen Lasten waren massive Betonfundamente sowie ein Lehrgerüst aus Stahlprofilen

erforderlich. In Anbetracht der Arbeitshöhe mussten Schutznetze die Sicherheit gewährleisten.

Betondach: Die Ausführung des Lehrgerüsts gestaltete sich wesentlich komplexer als geplant, denn im zentralen Bereich war die Galerie im sechsten Obergeschoss zu berücksichtigen, die mit metallenen Zugstangen am Kastenträger der Bedachung befestigt ist. Aufgrund dieser Besonderheit musste man ein Gerüst zwischen dem Boden des Kommandoraums und der Decke der Galerie sowie zwischen der letzteren und dem Stützkasten der Längsträger aufbauen. In den seitlichen Bereichen genügte ein einziges Gerüst, das jedoch wegen der doppelten Neigung des Daches (bedingt durch die diagonal verlaufende Kehle) ebenfalls eine gewisse Komplexität aufwies.

≡ Une étude approfondie a été nécessaire pour la conception et la pose du cintre des dalles en porte-à-faux et de la dalle de couverture. Dalles en porte-à-faux: au vu de l'importance des charges à supporter, il a été procédé à la mise en œuvre de fondations en béton adaptées et d'un cintrage en profils d'acier au dimensionnement spécifique. En considérant la hauteur à laquelle il faudrait intervenir et pour des questions évidentes de sécurité, des filets de protection contre les chutes ont en outre été prévus. Dalle de couverture: l'exécution du cintrage a été très complexe par ce qu'il a fallu tenir compte, pour la partie centrale, de

la présence de la galerie du sixième étage, suspendue par des tirants métalliques au coffrage même de la dalle. Cette particularité nous a obligé à réaliser un étayage provisoire entre le sol de la salle de commande et la dalle de la galerie et entre celle-ci et le coffrage des poutres longitudinales. Un étayage unique, compliqué par les doubles pentes liées à la disposition diagonale de la noue du toit, a été mis en œuvre dans les parties latérales.

Udo Oppliger

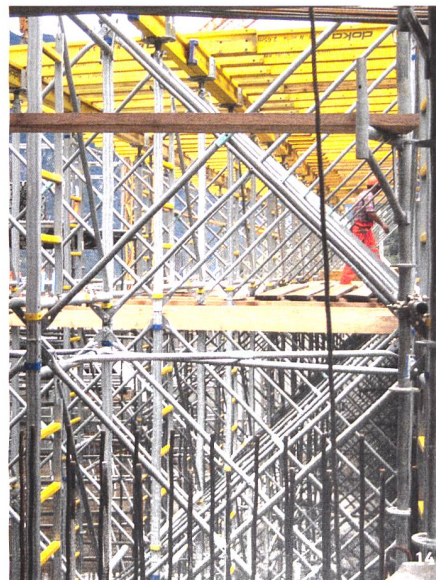


Foto: Borlini&Zamini

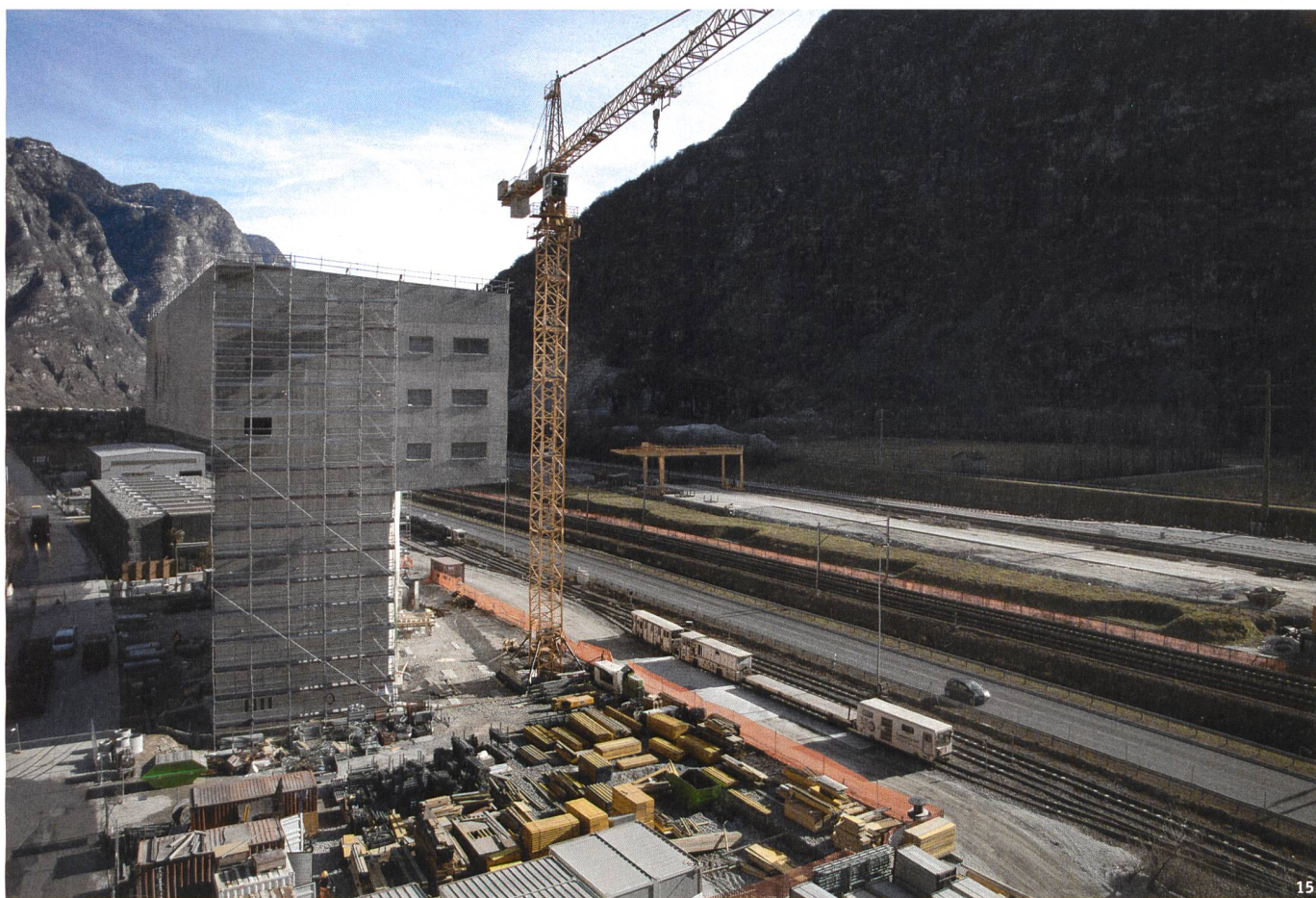


Foto: ORCH - Alessandra Chemollo

15

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

Il sistema di fondazione con pali trivellati di diametro di 1,2 metri e lunghezza di circa 22 metri 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 oggetti asimmetrici si controbilanciano e la risultante delle forze verticali complessive a livello di fondazione, pari a circa 250'000 kN a dimensionamento, è posizionata sorprendentemente nel baricentro del fusto. ≡

das Gebäude ohne unterirdische Geschosse, nur mit einem aus wasserdichtem Beton erstellten Technikraum errichtet.

Die Fundation aus Bohrpfehlen mit einem Durchmesser von 1.2 m und einer Länge von 22 m wurde aus zwei Gründen gewählt: Nicht nur die sehr geringen Setzungsdifferenzen spielten eine Rolle, sondern auch die im Vergleich zu einer Flachgründung geringeren Kosten. Ein weiterer Grunde war der geringe Raumanspruch, insbesondere angesichts der geringen Fläche, die zur Verfügung stand.

Insgesamt gleichen sich die Lasten aus asymmetrischen Auskragungen aus. Überraschenderweise befindet sich die Resultierende der Vertikallasten auf Fundamenthöhe (insgesamt in der Höhe von 250'000 kN auf Bemessungsniveau) im Schwerpunkt des Sockelgeschosses. ≡

situé non loin de la rivière Ticino. Dans le sous-sol, on trouve la nappe phréatique à faible profondeur; le bâtiment a donc été réalisé sans niveaux souterrains avec seulement un espace technique construit en béton imperméable.

Le système de fondation avec des pieux forés d'un diamètre de 1,2 mètre et d'une longueur d'environ 22 mètres a été adopté pour plusieurs raisons: non seulement il permet des tassements différentiels très limités et imperceptibles, y compris dans les parties en porte-à-faux, mais aussi des coûts plus avantageux par rapport à une fondation superficielle ainsi qu'une emprise au sol très réduite, argument à ne pas sous-estimer pour un chantier qui a dû être organisé dans un périmètre restreint. Globalement, les charges des deux corps en porte-à-faux asymétriques s'équilibrent et la résultante des forces verticales d'ensemble au niveau des fondations, équivalant à environ 250'000 kN à dimensionnement, passe de manière surprenante par le barycentre du tronc. ≡