

Nodo di Camorino

On a souvent tendance à réduire le projet des NLFA à sa seule dimension souterraine: les tunnels de base. Cependant, les travaux réalisés au Tessin comprennent aussi une vaste réorganisation des voies de circulation à proximité du portail Nord du tunnel du Ceneri, qui nécessite l'usage d'une ingénierie variée.

Les installations ferroviaires qui assurent la liaison entre le portail Nord du tunnel de base du Ceneri et la ligne existante Bellinzona - Locarno/Luino forment ce qu'on appelle le «Nodo di Camorino». Ce dernier, qui doit son nom à celui de la commune dans laquelle il se trouve, se situe en outre à proximité de la jonction Bellinzona Sud de l'autoroute A2, ce qui ajoute une composante routière à cet imbroglio de voies de circulation (fig. 1).

Les composants du noeud

La zone du Nodo di Camorino s'étend sur un territoire de 2,5 km selon la direction Est-Ouest et d'un kilomètre dans la direction Nord-Sud. Les travaux commencés en 2006 (en bleu et rouge sur fig. 2) constituent la première partie d'un



complexe ferroviaire en forme de croix dont l'axe Est-Ouest correspond à la liaison Bellinzona - Locarno/Luino alors que l'axe Sud-Nord est défini par le tunnel de base du Ceneri et le futur tronçon en direction du Nord à travers la Plaine de Magadino (en vert sur fig. 2). La solution des problèmes engendrés par les croisements et les liaisons de la ligne ferroviaire implique aussi une réorganisation importante du réseau routier, en particulier la mise en souterrain de la route cantonale à quatre voies en direction de Locarno.

Si on fait abstraction des travaux concernant les portails Nord du tunnel de base et leur raccordement, notamment le passage de la ligne sous l'autoroute A2 (voir article p. 16), les principaux ouvrages d'art à réaliser à proximité de Camorino sont les suivants :

- deux viaducs à une voie ayant des longueurs de 1010 et 440 m,
- un passage supérieur à quatre voies de 100 m au-dessus de l'autoroute A2,
- un pont à quatre voies de 30 m sur la Morobbia,
- un passage inférieur de 400 m pour la route cantonale à quatre pistes.

Le texte qui suit présente les aspects les plus intéressants du franchissement supérieur de l'autoroute A2 et du viaduc de Lugano - Bellinzona, le plus long des deux construits à Camorino.

Terrains instables de la Plaine de Magadino

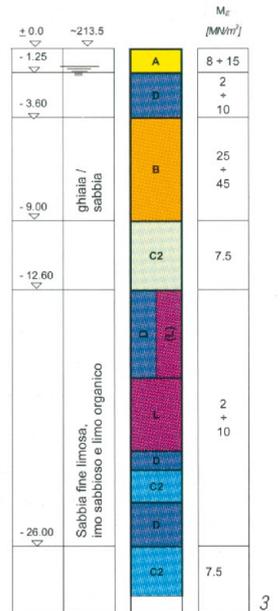
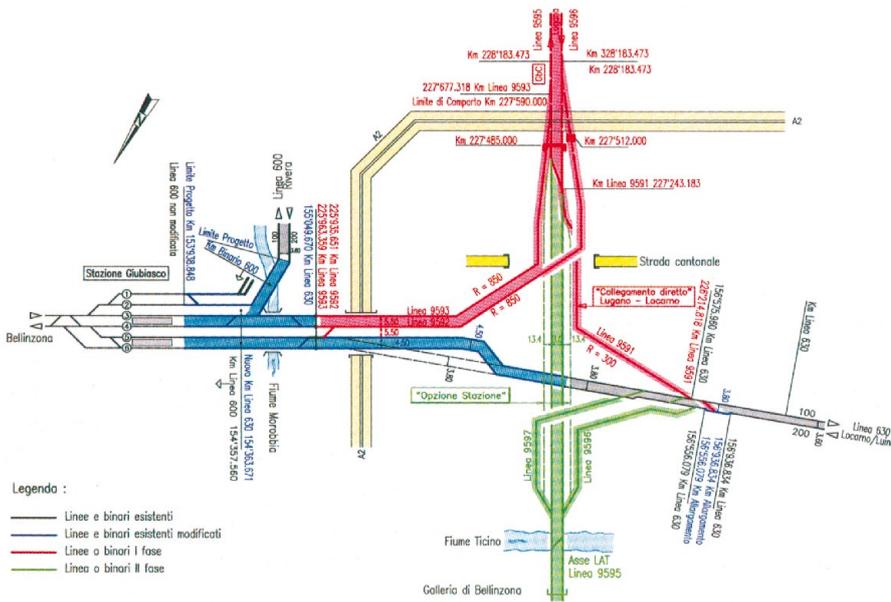
Les sédiments fluviaux et lacustres de la Plaine de Magadino atteignent une profondeur de 200 m. Devant le portail Nord, sous une première couche de 6 à 8 m présentant une structure graveleuse (fig. 3), on rencontre une alternance de formations de limons sableux ayant une matrice partiellement organique, des sols connus comme particulièrement instables. Entre le Sud de la route cantonale et les portails du tunnel, le futur projet ferroviaire vers le Nord à travers la Plaine de Magadino passe par la réalisation d'un important remblai de 2 à 4 m d'épaisseur, pour une longueur de 600 m et une largeur de 30 m. La mise en place de ce remblai sur les sédiments va provoquer des tassements importants qui

Fig. 1 : Vue générale depuis l'Est de la sortie Nord du tunnel

Fig. 2 : Topologie du Nodo di Camorino

Fig. 3 : Géologie – Profil caractéristique

Fig. 4 : Vue aérienne Nord-Est avec le passage supérieur existant au premier plan



2

3

s'étendront sur quelque 100 m de part et d'autre de la voie et devraient atteindre jusqu'à 80 cm au centre du remblai. Pour anticiper ce phénomène, le remblai sera construit près de trois ans avant les différents ouvrages, avec un supplément d'environ 2 m de matériaux pour créer une précharge des sols de fondation.

Ces travaux de préconsolidation doivent permettre de limiter l'effet sur les ouvrages des tassements résiduels créés par le remblai. Quant aux tassements dus à la réalisation des ouvrages eux-mêmes, ils devraient être de 5 à 8 cm. A noter que ces estimations ont été calibrées à partir d'études des années 70 concernant l'autoroute voisine qui a été construite sur des terrains comparables.

Passage supérieur sur la A2

Ce passage supérieur est situé à la sortie de la Gare de Giubiasco, sur le tronçon en direction de Locarno/Luino, juste avant la future bifurcation en direction du tunnel de base (fig. 12). Il remplacera le pont actuellement en place (fig. 4) qui, outre sa vétusté, ne peut être maintenu pour des questions de situation (planimétrique et altimétrique).

Conçu en béton armé précontraint, le nouvel ouvrage se compose en fait de deux ponts parallèles avec un tablier d'une largeur voisine de 10 m, chacun des ponts devant accueillir deux voies ferrées (fig. 7). Sa longueur totale est de 105 m avec une portée maximale de 38 m pour sa travée centrale (fig. 5 et 6). En plus des culées, les deux ponts reposent sur trois appuis biaisés par rapport à l'axe général du



4

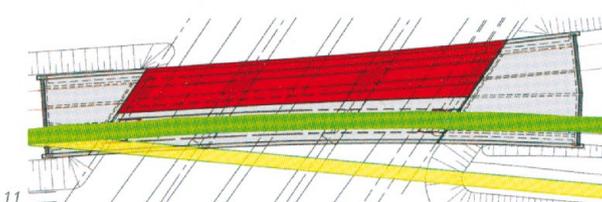
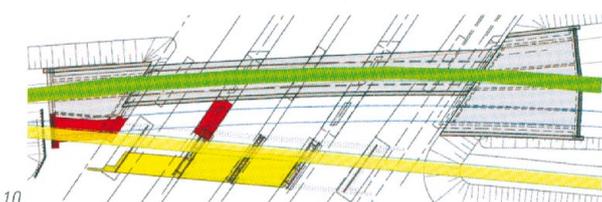
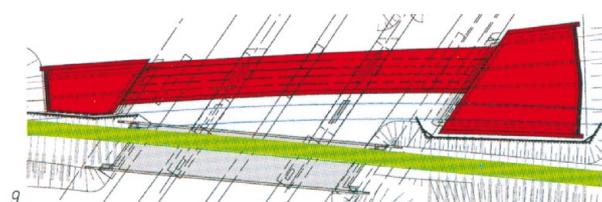
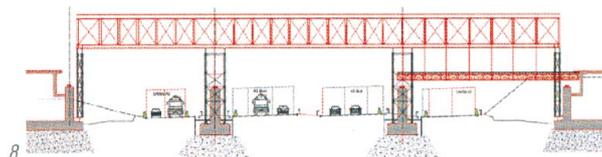
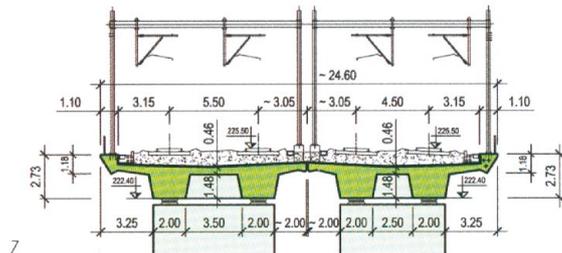
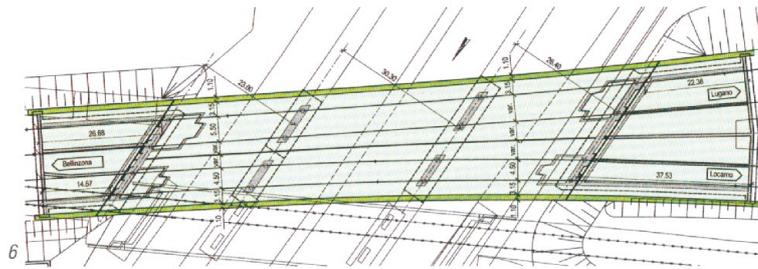
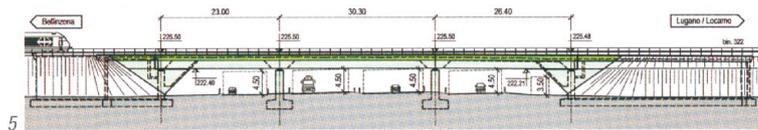
Fig. 5 à 7 : Profil longitudinal, plan et coupe transversale du passage sur l'autoroute A2

Fig. 8 : Vue schématique de l'échafaudage lors de la mise en place du plan de travail

Fig. 9 : Phase de construction de la première moitié du passage (rouge : construction, vert : en service, jaune : démolition)

Fig. 10 : Phase de démolition de l'ancien pont et de la ligne existante

Fig. 11 : Construction de la seconde moitié du passage après transfert de la première moitié à son site définitif



franchissement. Leurs tabliers sont connectés par un joint longitudinal continu.

Statiquement, les appuis des piles sont bloqués longitudinalement afin d'obtenir un effet de cadre favorable à la reprise des efforts induits par le freinage ou l'accélération des trains. La longueur du passage supérieur permet de ne mettre des joints de dilatation qu'à ses deux extrémités, rendant par là inutiles des dispositifs pour la dilatation des voies. Les accès au passage supérieur se font sur deux remblais et la transition entre ces éléments implique la construction de structures particulières pour les culées: ces dernières doivent limiter l'effet des tassements générés par les remblais qui seront construits à l'Est et à l'Ouest de l'autoroute. Ces structures de transition sont des caissons en béton armé de forme trapézoïdale, insérés directement dans les remblais (fig. 5 et 6). Leurs longueurs varient de 15 à 27 m à l'Est et de 22 à 38 m sur le côté Ouest.

Technique de construction

En matière de construction, les difficultés naissent de devoir travailler d'une part à proximité immédiate d'une ligne ferroviaire existante en service et d'autre part au-dessus d'une autoroute qui doit rester ouverte à la circulation. De plus, en raison de la proximité de la jonction autoroutière de Bellinzona Sud, le tronçon routier présente à cet endroit un total de 10 voies: quatre de transit et deux de secours auxquelles viennent s'ajouter quatre voies d'entrée et de sortie (fig. 4).

Pour minimiser la gêne au trafic, les ponts seront construits à l'aide d'une structure métallique provisoire enjambant les trois travées au Sud du pont existant (fig. 8). Celle-ci reposera sur des appuis suffisamment élevés pour qu'on puisse y suspendre le plan de travail et les coffrages devant permettre de construire les tabliers sans entraver le gabarit d'espace libre du trafic. Une fois le premier tablier réalisé (fig. 9), celui-ci sera abaissé à la hauteur de la ligne ferroviaire existante et équipé (pose du ballast et des voies). Lorsque,

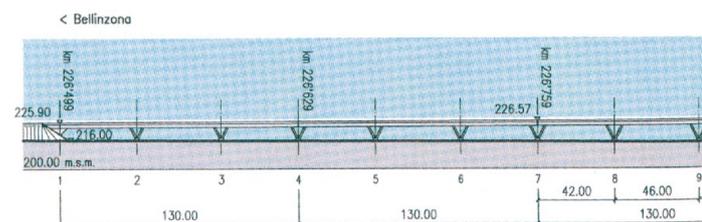


Fig. 12: Les principaux ouvrages du Nodo di Camorino

Fig. 13: Coupe transversale du viaduc Lugano - Bellinzona

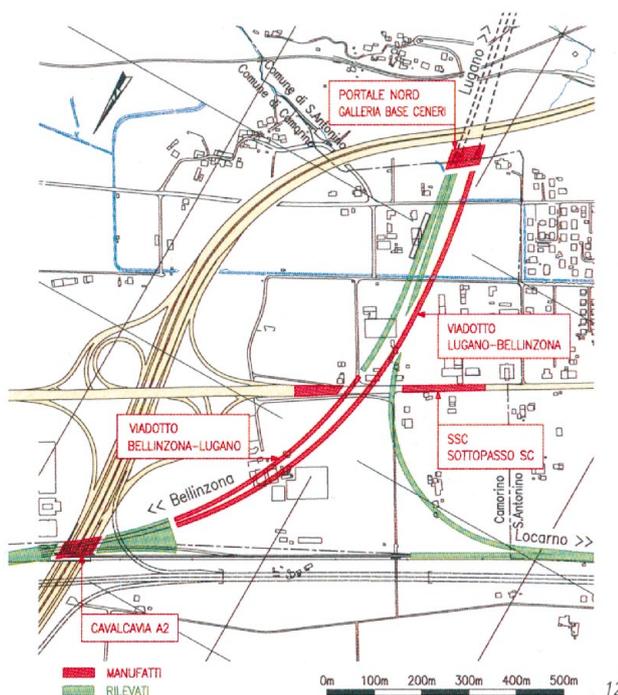
Fig. 14: Profil en long du viaduc Lugano - Bellinzona

le pont aura été déposé, la structure métallique sera retirée du profil ferroviaire afin de permettre le transfert, en deux phases, de la ligne en exploitation sur le nouvel ouvrage. On pourra alors procéder à la démolition du pont existant (fig. 10), un ouvrage d'une septantaine de mètres datant de la fin des années 60. Le premier tablier sera alors translaté, avec l'ensemble de son équipement ferroviaire, pour rejoindre son emplacement définitif côté Nord. Une fois le site Sud libéré, on réutilisera une procédure similaire pour construire le second tablier (fig. 11).

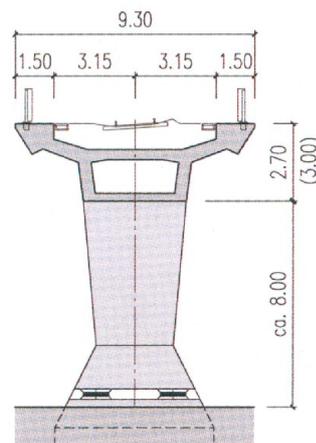
Viaduc Lugano - Bellinzona

Le viaduc ferroviaire à voie unique Lugano - Bellinzona assure le raccordement du tunnel du Ceneri à la ligne entre Bellinzona et Locarno. La surélévation des voies de ce tronçon permet que le raccordement Locarno - Lugano et la future ligne AlpTransit vers le Nord restent au niveau du terrain naturel de la Plaine de Magadino. Le viaduc s'étend sur une longueur totale de 1012 m et suit une courbe ayant un rayon minimal de 850 m (fig. 12). Les voies sont situées à environ 10 m au-dessus du niveau du terrain, laissant une hauteur libre de quelque 8 m (fig. 13). Le tablier présente une section à caisson en béton armé précontraint dont la hauteur est de 2,7 m, à l'exception d'un secteur où elle atteint 3 m.

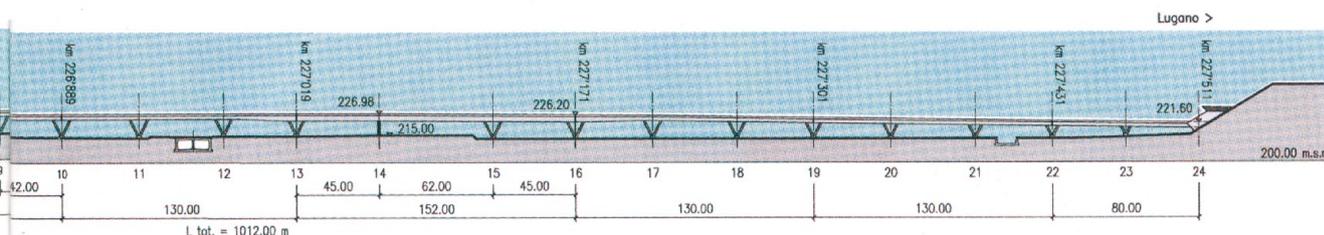
L'étude de l'interaction entre les structures portantes et la superstructure ferroviaire a conduit à diviser le viaduc en secteurs de 130 m, à l'exception d'un secteur central de 152 m imposé par un franchissement ponctuel de 62 m (fig. 14). Cette division permet de se passer de dispositifs de dilation pour les rails. Il est en effet connu que ces dispositifs sont peu favorables à l'exploitation optimale d'une ligne ferroviaire: ils présentent des risques de dysfonctionnement importants, nécessitent des contrôles et de la maintenance, sans oublier que leur coût de construction est élevé. Ils sont habituellement posés sur des tronçons rectilignes (en plan et en hauteur). Dans le cas présent, l'opérabilité d'un tronçon ferroviaire important serait compromise en cas de dommage.



12



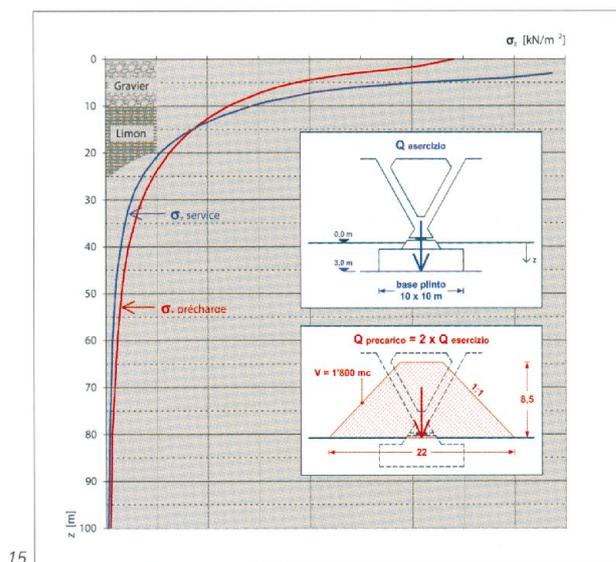
13



14

Fig. 15 : Précharge et charge de service des fondations : comparaison des contraintes verticales dans le sol

Fig. 16 : Les viaducs du « Nodo di Camorino » - photo de la maquette
(Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs.)



C'est finalement la courbure en plan et l'inclinaison verticale du viaduc qui ont imposé la solution adoptée. Celle-ci consiste à renoncer aux dispositifs de dilatation des rails, mais à prévoir des joints tous les 130 m pour la structure en béton. Cette solution évite que les mouvements du pont génèrent des sollicitations excessives dans les rails. Le viaduc sera donc construit en « juxtaposant » plusieurs systèmes statiques à trois travées (fig. 16).

A la structure classique d'un tablier reposant sur des piles verticales, on a préféré concevoir des appuis en V. Cette solution présente plusieurs avantages, comme de faire participer le tablier à la reprise des forces de démarrage et de freinage, de limiter les déplacements dans les joints de dilatation ou encore de réduire la sollicitation en flexion des fondations. Les appuis comprennent en outre un dispositif permettant de soulever d'environ 10 cm le tablier et compenser les inévitables tassements causés par les mauvaises caractéristiques géotechniques du sol de fondation (voir ci-dessous).



Interaction pont-voie

La voie, posée sur du ballast, comprend des traverses en béton et des rails CFF VI. La dilatation de la structure en béton du viaduc va naturellement induire des efforts dans les rails. Ces efforts peuvent notamment avoir comme effet des contraintes de compression pouvant conduire au déversement de la voie.

Le calcul des contraintes de compression générées dans les rails par les mouvements du viaduc a été fait au moyen d'un programme pour l'étude de l'interaction pont-voie (SBB I-FW-FB C. Wahler). Les sollicitations, définies par l'édition de décembre 2000 du code UIC 774-3 « Interaction voie/ouvrage d'art; recommandation pour les calculs », comprennent le poids du train, les forces de freinage et celles nées de la dilatation du pont à la suite de variation de la température. Ces résultats sont alors comparés avec des contraintes admissibles pour s'assurer de la stabilité de la voie. Ces dernières dépendent entre autres des paramètres de la résistance latérale de la voie et sont issues d'un calcul effectué avec un programme spécifique.

La courbe enveloppe des contraintes maximales agissant dans les rails a montré que les compressions maximales sont logiquement situées au droit des joints de dilatation des viaducs et qu'elles restent inférieures à la valeur admissible obtenue.

Fondation des viaducs

Les conditions de fondation des viaducs sont particulièrement difficiles puisque le sous-sol comprend des limons instables en partie organiques de faible portance (M_E de 3000 kN/m^2). Les caractéristiques géotechniques ont en outre tendance à se détériorer en profondeur.

Dans de telles conditions géotechniques, le respect des exigences fonctionnelles élevées de la ligne ferroviaire (notamment celles concernant la stabilité du niveau de la voie) a requis des études particulières incluant de surcroît les interactions entre les divers remblais sis à proximité des viaducs et les ouvrages. En plus du tassement des fondations imputable au poids de l'ouvrage, il faut tenir compte d'un affaissement généralisé consécutif à la réalisation des remblais des lignes circulant au niveau du sol. Bien que ces remblais seront réalisés 3 à 4 ans avant le viaduc, permettant que 85% des déformations soient engendrées avant la réalisation de l'ouvrage, on doit encore compter avec un abaissement à long terme de 5 à 8 cm des viaducs. Il s'agissait donc de trouver un tracé et un système de fondation limitant les tassements, pour éviter des remises à niveau trop fréquentes des viaducs.

Pour y parvenir, deux systèmes de consolidation du terrain seront superposés. Il s'agit d'une part de mettre en place des remblais de précharge au droit de chaque fondation. Ces remblais vont provoquer une consolidation du terrain qui se traduira par une amélioration d'un facteur de 2 à 4 de ses caractéristiques géotechniques. De forme pyramidale, leur volume moyen est de 1'800 m³. La figure 15 montre la comparaison entre les sollicitations verticales induites dans le sol de fondation par les futures charges de service et celles correspondant à la précharge. On prévoit d'autre part de réaliser, sous chaque fondation, entre 10 et 12 colonnes de *Jet-Grouting*, d'une longueur variant entre 15 et 25 m, pour s'appuyer sur des couches de qualité supérieure.

Ces diverses mesures de consolidation doivent permettre de limiter le tassement dû aux charges du viaduc entre 5 et 7 cm, auxquels il faut ajouter les 5 à 8 cm de tassement résiduel dus aux remblais. Il est prévu de pouvoir gérer l'évo-

lution de ces tassements par le biais de dispositifs permettant de relever les appuis des viaducs jusqu'à 10 cm.

De la belle ingénierie en perspective

Cet aperçu des travaux prévus à proximité du portail Nord du tunnel du Ceneri montre bien que la réalisation du Nodo di Camorino offrira des défis variés et exaltants aux ingénieurs. Ils doivent en effet s'attendre à pouvoir mettre en œuvre une large palette des outils modernes disponibles en matière d'ingénierie et à résoudre de nombreux problèmes de coordination.

Augusto Filippini, ing. civil EPF, Capoprogetto
Consorzio Ingegneri Piano di Magadino
via Iragna 11, CH – 6710 Biasca

Thomas Bühler, ing. civil EPF, chef de projet ATG
AlpTransit San Gottardo SA
Viale Stazione 32, CH – 6500 Bellinzona