

# inciide



PARIS AÉROPORT

## TERMINAL 3 AÉROPORT D'ORLY

IL PROGETTO STRUTTURALE DEL NUOVO TERMINAL

Terminal 3 - Orly Airport  
Integrated structural design of new terminal

# TERMINAL 3 AÉROPORT D'ORLY

IL PROGETTO STRUTTURALE DEL NUOVO TERMINAL

**Terminal 3 - Orly Airport**  
Integrated structural design of new terminal

<b>1. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO</b> PROJECT DESCRIPTION	4
Dati generali Project data	6
Le funzionalità del terminal Terminal functional zones	8
<b>2. IL PROGETTO STRUTTURALE</b> STRUCTURAL DESIGN	10
La struttura in acciaio Main Steel Structure	12
I dettagli strutturali Detail steel design	14
"Robustesse" Building resistance	18
Stabilità di "2°ordine" "2nd order" stability	19
Travi e solai collaboranti Composite beams and floor	20
Le colonne composite Composite columns	22
Calcolo connessioni Connection calculation	23
<b>3. L'INVOLUCRO ESTERNO</b> ENVELOPE DESIGN	24
Le facciate vetrate Full glass facade	26
La copertura The roof	28
<b>4. BIM E COORDINAMENTO</b> BIM & COORDINATION	30

# 1 Descrizione dell'intervento

## Project description

L'Aeroporto di Orly (IATA: ORY, ICAO: LFPO) è un aeroporto francese ubicato 10 km a sud di Parigi, nella regione Île-de-France. È essenzialmente utilizzato per i voli nazionali, europei e i voli con destinazione Maghreb, Medio Oriente e DROM-TOM francesi.

L'aeroporto di Orly è il secondo aeroporto francese dopo l'aeroporto di Parigi Roissy - Charles-de-Gaulle, e il decimo in Europa, con oltre 30 milioni di passeggeri all'anno e 137 destinazioni nell'anno 2020.

Fino all'aprile 2019 possedeva due terminal principali: il terminal Sud e il terminal Ouest oltre ad un terminal merci e un hangar di manutenzione.

La società Aéroports de Paris (ADP), che gestisce anche gli scali di Roissy e Le Bourget, ha deciso di realizzare il progetto di ampliamento dell'aeroporto ed Incide è stata incaricata dal costruttore, la JV Omba-Simeon, della progettazione delle strutture in acciaio.

Orly Airport (IATA: ORY, ICAO: LFPO) is a French airport located 10 km south of Paris, in the Île-de-France region. It's mainly used for domestic, European and Maghreb, Middle East and French DROM-TOM flights.

Orly Airport is the second largest airport in France after Paris Roissy - Charles-de-Gaulle Airport, and the tenth largest in Europe, with over 30 million passengers per year and 137 destinations in the year 2020.

Until April 2019 it possessed two main terminals: the South Terminal and the Ouest Terminal as well as a cargo terminal and a maintenance hangar.

The company Aéroports de Paris (ADP), which also manages the airports of Roissy and Le Bourget, decided to carry out the airport extension project and Incide was appointed by the constructor, the JV Omba-Simeon, to design the steel structures.

La messa in servizio dell'edificio Junction nell'aprile 2019 ha collegato i terminal Sud e Ovest e ha creato il Terminal Unico. In questa occasione, i nomi sono stati cambiati:

- Orly West è diventato Orly 1 e Orly 2;
- L'edificio Junction è stato chiamato Orly 3;
- Orly Sud è diventato Orly 4.

La messa in servizio di questi 80.000 m<sup>2</sup> di spazio aggiuntivo a Orly 3 ha aumentato la capacità annuale dell'aeroporto a 31 milioni di passeggeri a fine 2019.

Il miglioramento delle infrastrutture del terminal e dei servizi aeroportuali, combinato con l'attrattiva economica e turistica della regione dell'Île de-France meridionale, è un punto di forza in grado di attirare nuovi servizi di trasporto aereo diretto, in particolare verso i principali mercati mondiali ad alto potenziale di crescita (Asia, Africa e Americhe).

The commissioning of the Junction building in April 2019 connected the South and West terminals and created the Single Terminal. On this occasion, the names have been changed:

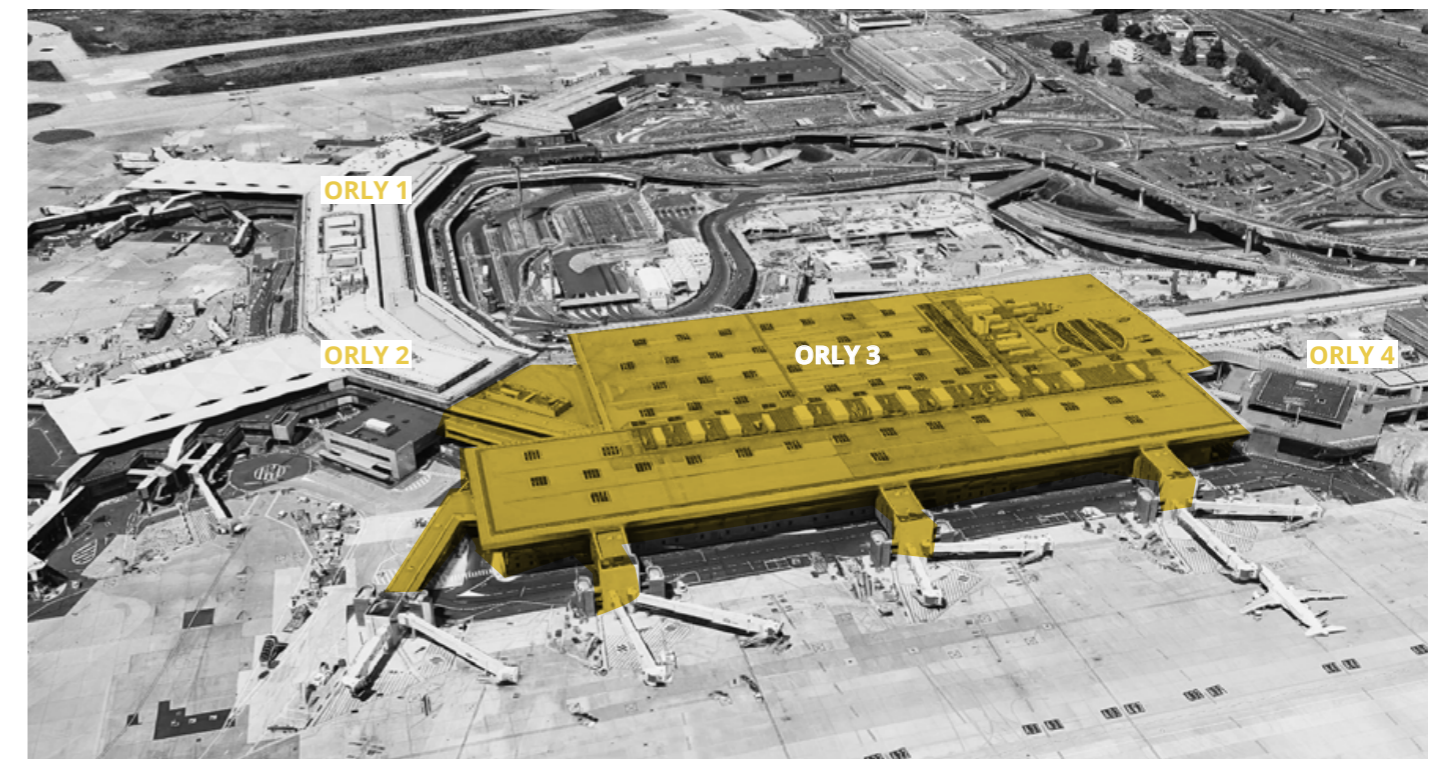
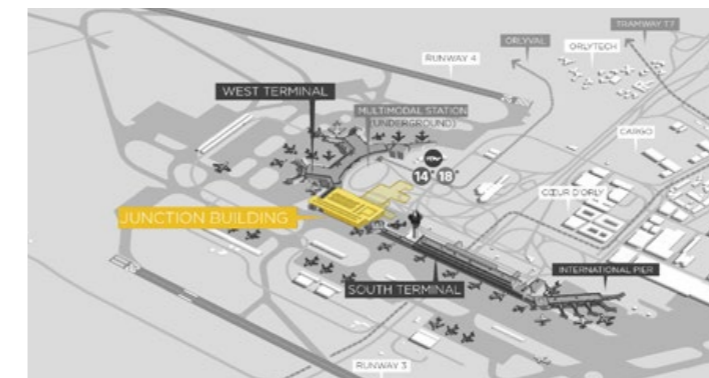
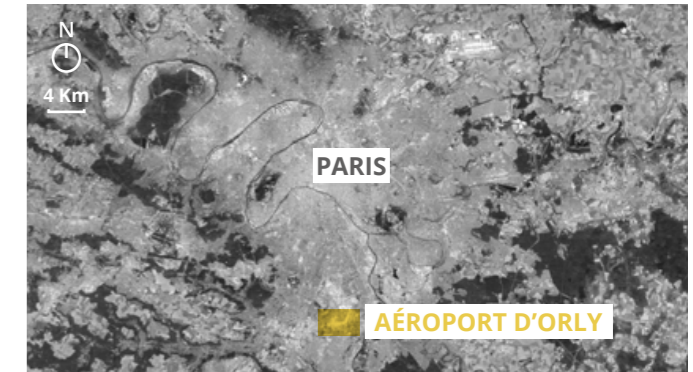
- Orly West has become Orly 1 and Orly 2;
- The Junction building has been named Orly 3;
- Orly South has become Orly 4.

The commissioning of this 80,000 m<sup>2</sup> of additional space at Orly 3 increased the annual capacity at the airport to 31 million passengers at end-2019.

The upgrading of the terminal infrastructure and airport services, combined with the economic and tourist appeal of the southern Île-de-France region, are strengths that are likely to attract new direct air travel services, particularly to the world's main high-growth potential markets (Asia, Africa and the Americas).

► *Inquadramento e divisione dei terminal dell'aeroporto di Parigi Orly; evidenziato l'intervento del Terminal Orly 3.*

*Overview and division of terminals at Paris Orly airport; highlighting Terminal Orly 3.*



## 1

## Dati generali

Il mega-progetto del Terminal Orly 3 è stato uno dei più grossi cantieri in Francia, con l'impiego di oltre **500 operai** e creazione di più di **2600 posti di lavoro diretti e 8500 posti di lavoro indiretti**. I lavori sono iniziati nell'aprile 2015 con messa in servizio del terminal nell'aprile 2019, per un costo totale dell'opera di circa 450 milioni di euro.

**Incide Engineering** si è occupata della **progettazione di tutte le strutture del Terminal Orly 3**, ovvero copertura in acciaio, colonne e solai in acciaio-calcestruzzo, piastre di base e tutte le strutture accessorie necessarie per l'installazione di scale mobili, tapis-roullant, ascensori, macchinari per la gestione dei bagagli etc.

Il Terminal progettato, ha superficie di 80'000 mq una lunghezza complessiva di 250m e una larghezza di circa 120m.

Le stime antecedenti all'opera prevedevano un incremento del numero di passeggeri di 3,5milioni l'anno; in basso la tabella con i flussi di passeggeri registrati negli ultimi anni.

## Project data

The Orly 3 Terminal mega-project was one of the largest construction sites in France, employing more than **500 workers** and creating more than **2600 direct jobs and 8500 indirect jobs**. Work began in April 2015 with commissioning of the terminal in April 2019, at a total cost of approximately 450 million euro.

**Incide Engineering** was **responsible for the design of all the structures in Terminal Orly 3**, therefore the steel roof, steel-concrete columns and floors, base plates and all the ancillary structures necessary for the installation of escalators, treadmills, lifts, baggage handling equipment etc.

The planned Terminal has a surface area of 80'000 square metres, an overall length of 250 metres and a width of approximately 120 metres.

Estimates prior to the project predicted an increase in the number of passengers of 3.5 million per year; below is a table showing the passenger flows recorded in recent years.



**CLIENT:**  
AÉROPORTS DE PARIS (FR)



**CONTRACTOR:**  
INTERNATIONAL TENDER  
AWARDED BY VINCI WORKING  
WITH ITS COMPANY BATEG  
AND CHANTIER MODERN



**STEEL STRUCTURE BUILDER:**  
SEMEON SRL STRUCTURE &  
FACADE



**STRUCTURES:**  
STRUCTURAL & DETAIL STEEL  
DESIGN, STRUCTURAL BIM &  
COORDINATION

**CATEGORY:**  
MEGAPROJECT

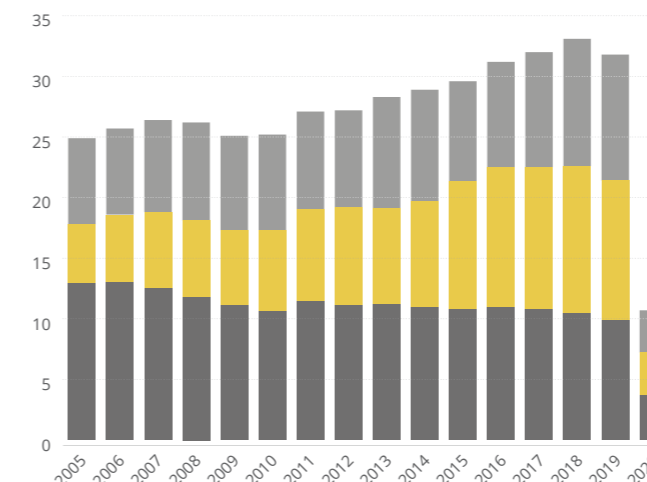
**BUILDING COSTS:**  
450 MIL EURO

**DIMENSION:**  
250 m, 150 m, 20 m HEIGHT

**SURFACE:**  
80.000 m<sup>2</sup> - TOTAL SURFACE 36.500 m<sup>2</sup>  
(3 MAIN FLOOR + MEZZANINE)

**WORK START / END:**  
04/2015 - 04/2019

**CONSTRUCTION SITE:**  
ONE OF THE BIGGEST CONSTRUCTION  
SITE IN FRANCE: **500 WORKERS, MORE  
THAN 2600 DIRECT JOBS & 8500  
INDIRECT JOBS.**



◆ International (nonEurope)  
◆ Europe  
◆ National (France)

◀ *Variazione del traffico all'aeroporto di Parigi-Orly in milioni di passeggeri (fonte Documento di registrazione universale e relazione finanziaria annuale 2020 Aéroports de Paris)*

*Change in traffic at the Paris-Orly airport in millions of passengers (source Universal Registration Document & the 2020 Annual Financial Report Aéroports de Paris)*

## 1

## Le funzionalità del terminal

È stata sviluppata una nuova stazione intermodale e tutto il sistema di trasporto è stato interconnesso con il centro della città.

La sala delle partenze ha dimensioni "generose" (6'000 m<sup>2</sup>) con un soffitto alto 9,5 m semitrasparente per lasciare passare la luce naturale attraverso una serie di lucernai.

L'orientamento dei passeggeri è intuitivo grazie a una segnaletica chiara che identifica le funzioni essenziali. La registrazione per i check-in contempla attrezzature innovative e performanti con l'installazione di circa 80 banchi di registrazione automatica e manuale.

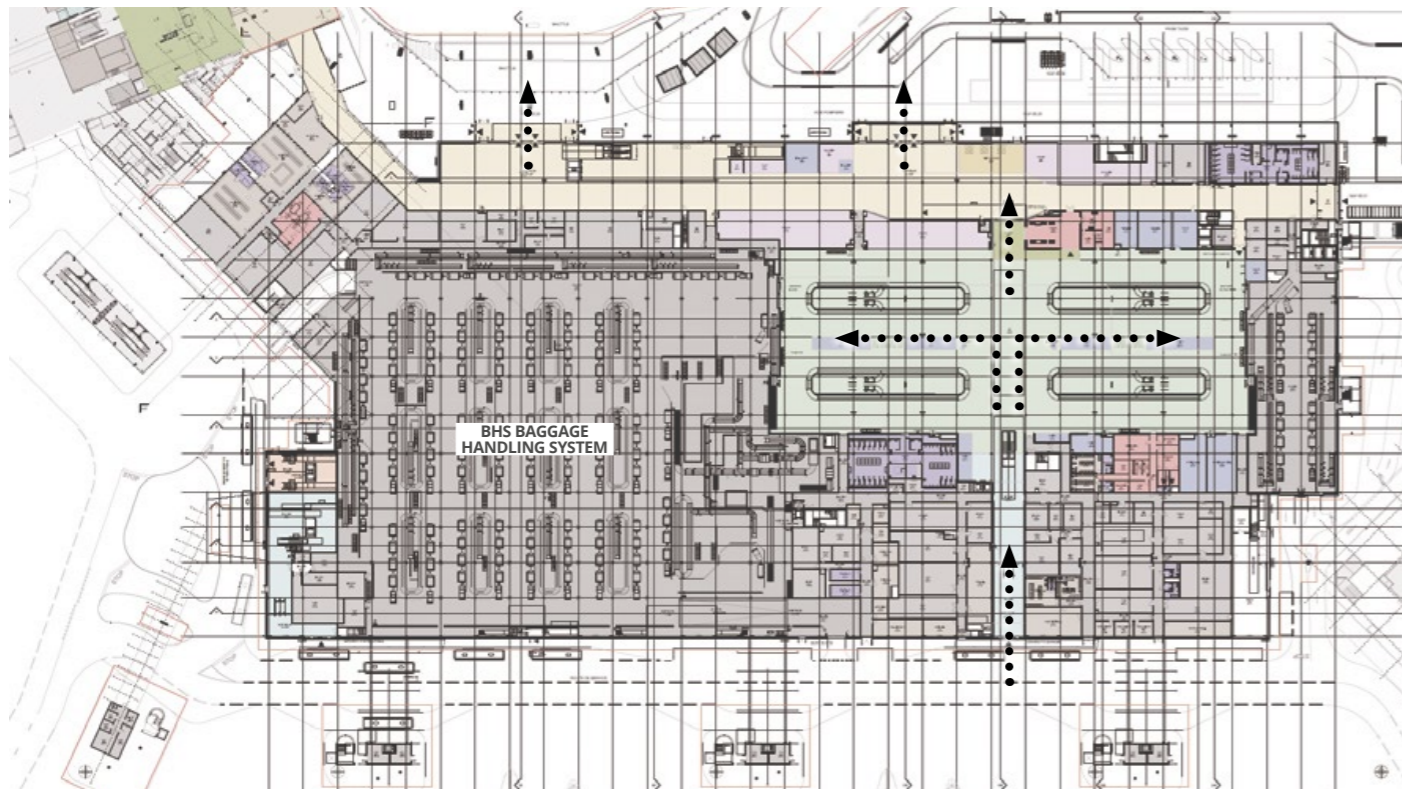
Di seguito sono presentate le piante ai vari piani dei flussi principali del nuovo terminal.

**È STATA ADOTTATA UNA CONCEZIONE MODERNA DEL LAYOUT FUNZIONALE**

**A MODERN CONCEPTION OF THE TERMINAL LAYOUT HAS BEEN ADOPTED**

- ARRIVI ARRIVAL
- ▶ SMISTAMENTO BAGAGLI BAGGAGE DISTRIBUTION
- ▶ PARTENZE DEPARTURE

▼ Pianta di progetto Piano 0, sistemi di movimentazione bagagli Project plan P0, baggage handling systems



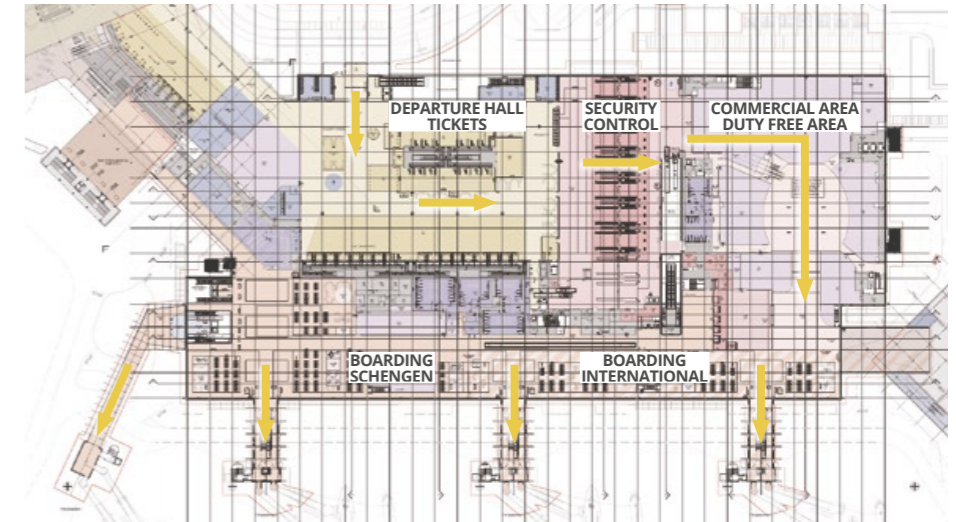
## Terminal functional zones

A new intermodal station was developed and the entire transport system was interconnected with the city centre.

The departure hall is "generous" in size (6'000 m<sup>2</sup>) with a 9.5 m high semi-transparent ceiling to let natural light through a series of skylights.

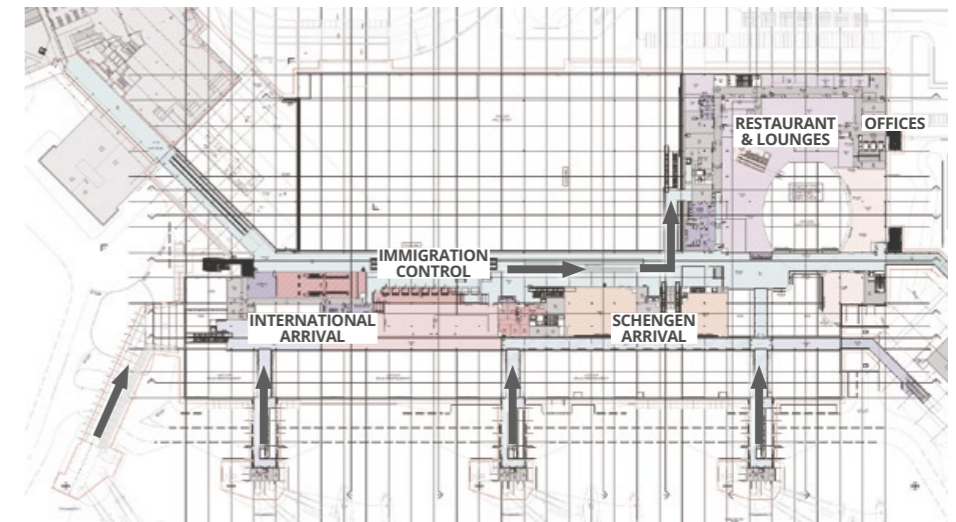
Passenger orientation is intuitive thanks to clear signage identifying essential functions. Check-in facilities include innovative and high-performance equipment with the installation of around 80 automatic and manual check-in desks.

Below are floor plans of the main flows in the new terminal.



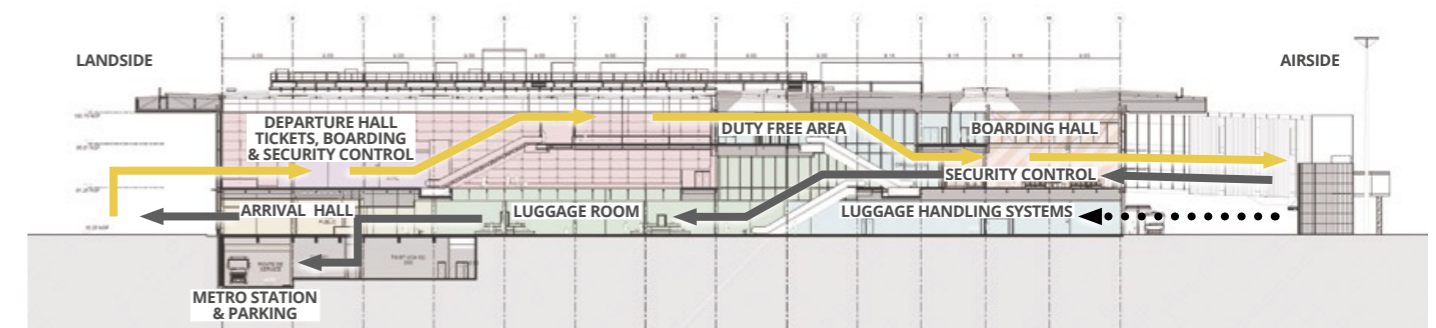
► Pianta di progetto dall'alto Piano 1 (partenze) e Piano 2 (la circolazione degli arrivi passa attraverso il secondo piano con separazione tra voli internazionali e nazionali).

Project plans from above P1 (departures) and P2 (the arrival circulation go through the second floor with separation between international and domestic flights).



▼ Sezione longitudinale del terminal estratta dalle tavole di progetto

Longitudinal section of the terminal extracted from the project drawings



# 2 Il Progetto strutturale

## Structural design

### La struttura composita acciaio - cemento

Tutti i solai presenti nell'aeroporto sono concepiti per ottenere valori di resistenza e rigidità elevati, usando un **minimo dispendio di materiali**. Il meccanismo consiste nell'unire strutturalmente calcestruzzo e acciaio attraverso dei pioli a taglio, sfruttando le rispettive prestazioni a compressione e trazione dei due materiali, così da sviluppare una progettazione leggera ed efficiente. La simbiosi di acciaio e calcestruzzo è stata sfruttata anche per la realizzazione delle colonne con un **vantaggio intrinseco sia strutturale che di resistenza al fuoco**. La combinazione dei due elementi permette così di mantenere snellezze elevate con linee architettoniche sottili, senza inficiare robustezza strutturale e tempi di esposizioni al fuoco.

### The composite steel and concrete structure

All the floors in the airport are designed to achieve high strength and stiffness values using a **minimum of materials**. The mechanism consists of structurally joining concrete and steel through shear pegs, exploiting the respective compressive and tensile performance of the two materials, to develop a lightweight and efficient design. The symbiosis of steel and concrete has also been exploited for the construction of the columns with an **intrinsic advantage in terms of both structural and fire resistance**. The combination of the two elements makes it possible to maintain a high degree of slenderness with subtle architectural lines, without compromising structural strength and fire exposure times.



▲ Terminal in fase di costruzione: montaggio delle vetrate di facciata e dei rivestimenti esterni ed interni alla struttura  
Terminals under construction: installation of façade glazing and external and internal cladding

#### STRUCTURE GENERAL CONCEPT:

**STRUTTURA COMPOSITA IN ACCIAIO (5500 ton) STEEL COMPOSITE STRUCTURE**

**FONDAZIONI DI PROFONDITÀ DEPTH FOUNDATION**

**SISTEMA PENDOLARE PENDULAR SYSTEM**

**COLONNE INCERNIERATE HINGED COLUMNS**

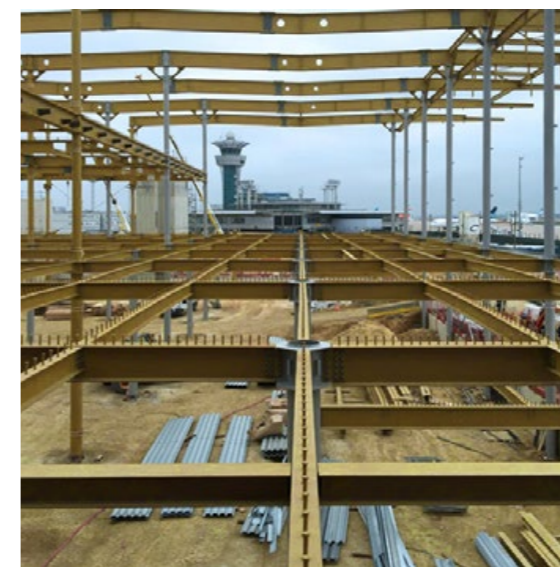
**PIANI RIGIDI RIGID FLOORS**

**SISTEMI DI CONTROVENTATURA VERTICALE VERTICAL BRACING SYSTEMS**

**TETTO CON CAPRIATE E TRAVI A VISTA E CONTROVENTATURE ORIZZ. ROOF WITH TRUSSES AND GIRDER BEAMS AND HORIZ. BRANCINGS**

### ► Primissime fasi di montaggio della struttura

First stages of structure assembly



## 2

## La struttura in acciaio

L'edificio è stato diviso in **4 grandi blocchi**, comprensivi di 2 piani più la copertura ciascuno. Questi blocchi connessi in unica direzione, sono stati determinati dagli studi sulla Robustesse dell'edificio e sono corrispondenti ai giunti di dilatazione strutturale.

### Modello agli elementi finiti

Il modello di calcolo principale è stato sviluppato mediante il software StaadPro. In numeri: **20'000 beam - 2'000 plates - 12'000 nodi**.

Sono state implementate tutte le forze definite dalla note d'hypotheses, compresi dei carichi particolari quali rebouchage, ovvero carichi dovuti ad un'eventuale chiusura di porzioni di solaio attualmente aperte.

I carichi di progetto presi in conto sono quelli atmosferici (vento, neve e temperatura principalmente, i sovraccarichi dovuti all'affollamento di particolari aree, carichi puntuali di scale mobili, tapis-roullant, ascensori e impianti.

Sebbene le azioni sismiche della zona di Parigi siano nulle, sono state previste condizioni di carico orizzontali obbligatorie da applicare alle colonne, che in parte tengono conto di effetti orizzontali.

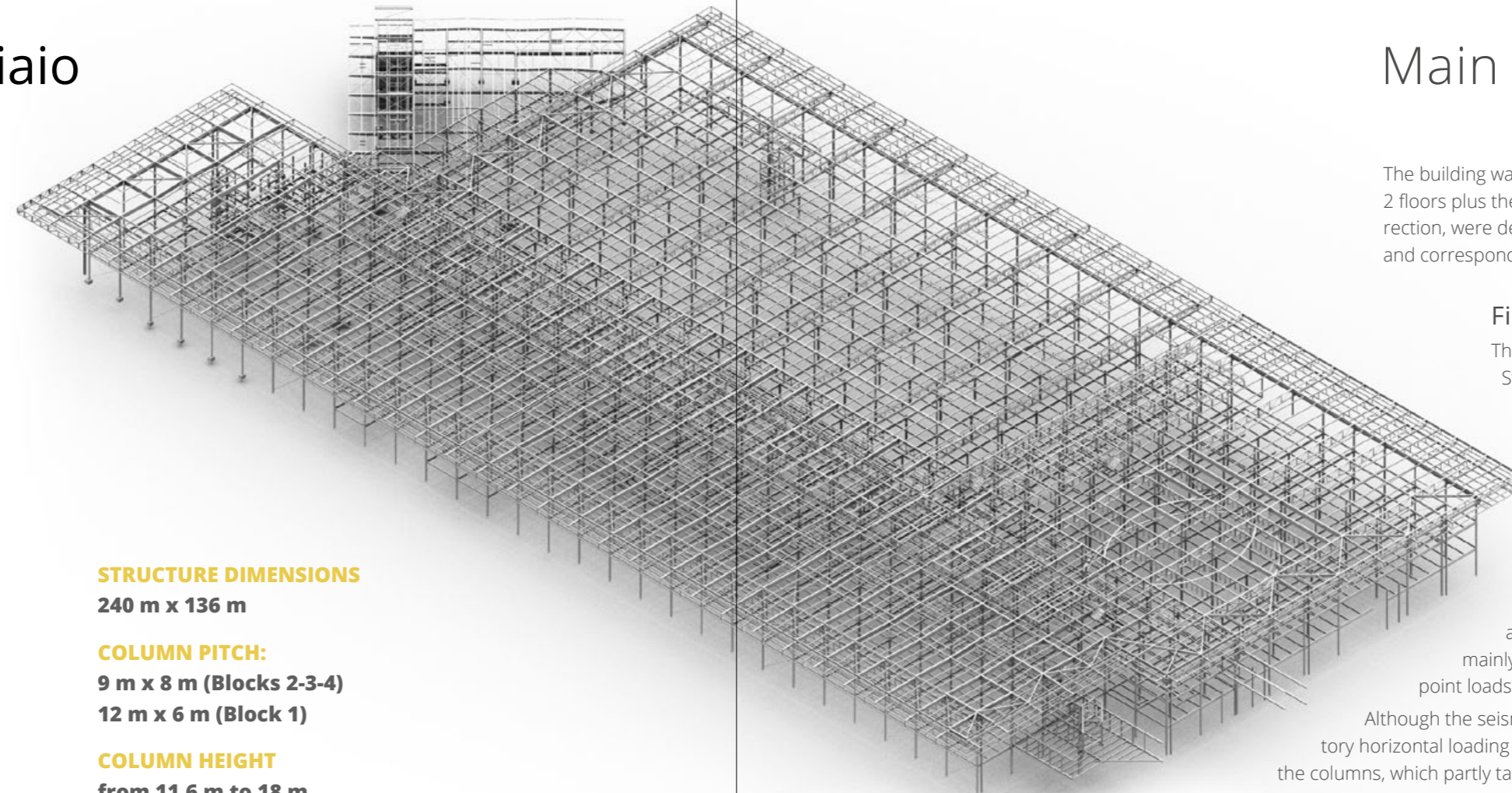
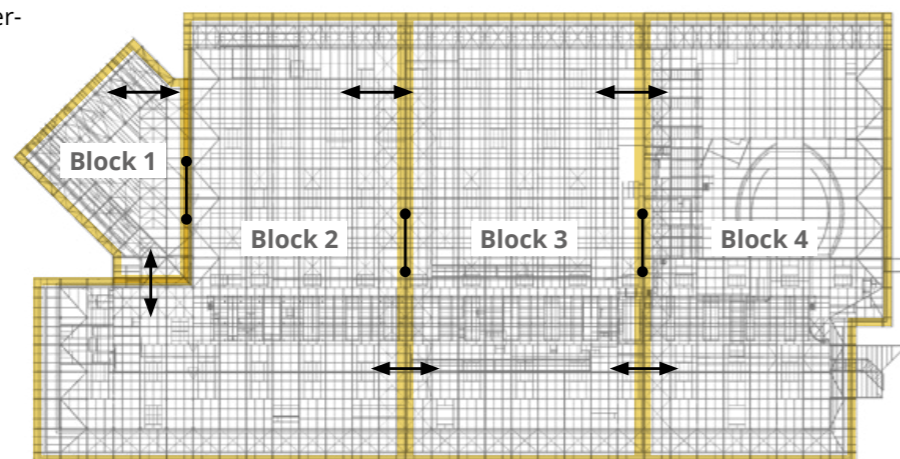
Il modello di calcolo, prevede la perfetta simulazione dei sistemi di interconnessione dei blocchi strutturali, finalizzati alla gestione delle dilatazioni nella direzione longitudinale e alla trasmissione delle forze nella direzione trasversale.

► Pianta rappresentante la divisione dei 4 blocchi della struttura del Terminal

Plan showing the division of the 4 blocks of the Terminal structure

↔ Dislocamento relativo consentito  
Relative displacement permitted

● Dislocamento relativo impedito  
Relative displacement prevented



### STRUCTURE DIMENSIONS

**240 m x 136 m**

### COLUMN PITCH:

**9 m x 8 m (Blocks 2-3-4)**

**12 m x 6 m (Block 1)**

### COLUMN HEIGHT

**from 11.6 m to 18 m**

### HEIGHT PLANTS FROM GROUND

**6 m - 11.55 m**

Modello completo della struttura in acciaio del Terminal Orly 3 ▲

Complete model of the steel structure of Terminal Orly 3

## Main steel structure

The building was divided into **4 large blocks**, each comprising 2 floors plus the roof. These blocks, connected in one direction, were determined by the building's Robustness studies and correspond to the structural expansion joints.

### Finite element model

The main calculation model was developed using StaadPro software. In numbers: 20'000 beams - 2'000 plates - 12'000 nodes.

All the forces defined in the note d'hypotheses have been implemented, including special loads such as rebouchage, i.e. loads due to the possible closure of currently open portions of the floor.

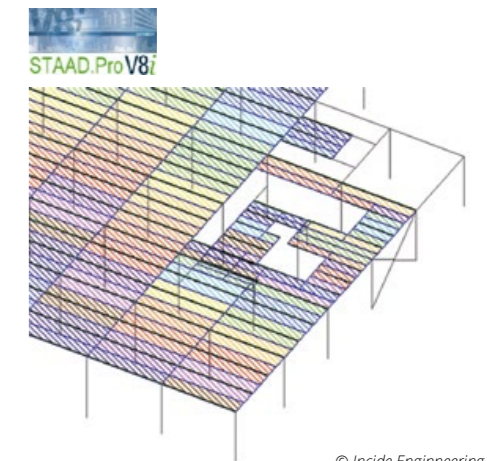
The design loads taken into account are atmospheric loads (wind, snow and temperature mainly, overloads due to crowding of particular areas, point loads of escalators, treadmills, lifts and installations.

Although the seismic actions in the Paris area are zero, mandatory horizontal loading conditions have been foreseen to be applied to the columns, which partly take into account horizontal effects.

The calculation model provides a perfect simulation of the interconnection systems of the structural blocks, aimed at managing expansion in the longitudinal direction and transmitting forces in the transverse direction.

Modello agli elementi finiti della struttura elaborato con il programma di calcolo Staad ProV8i - Applicazione del sovraccarico accidentale ▼

Finite element model of the structure using the Staad ProV8i calculation programme - Live load application



## 2

## I dettagli strutturali

## Sistemi di controventatura

La struttura è stabilizzata da sistemi di **controventatura verticale composti da nuclei in cemento armato** (vani scale ed ascensori) e **croci di controvento in acciaio**, composte da tiranti ad alta resistenza (barre macalloy), per minimizzare l'impatto architettonico.

## Giunti di dilatazione tra blocchi

A causa del movimento relativo richiesto tra i blocchi dell'edificio", i giunti sono stati realizzati raddoppiando la trave (non la colonna) e con la realizzazione di un capitello e l'installazione di un vero **sistema di dilatazione con appoggi "da ponte"**.

## Il modello costruttivo

Il modello costruttivo, finalizzato alla successiva realizzazione dei disegni costruttivi da parte dell'impresa, è stato sviluppato da Incide, in tempi molto ristretti per permettere il mantenimento dei tempi di costruzione ed installazione. Il modello contiene tutti gli elementi costruttivi, ed è stato coordinato, mediante metodologia BIM, con i sistemi impiantistici ed architettonici, al fine di realizzare un **prodotto completo e privo di interferenze**.

Parimenti importante è stata la gestione condivisa di un unico modello, ovvero lo sviluppo in Multiutenza che ha permesso di lavorare in parallelo.

Il lavoro ha incluso la definizione di tutti i piatti, pezzi saldati, cianfrini, delle forometrie, collegamenti, pioli, lamiere grecate etc.. Il tutto in previsione dell'esportazione dei normalini necessari alla fabbricazione dei singoli pezzi.

## Detail steel design

## Bracing systems

The structure is stabilised by **vertical bracing systems composed of reinforced concrete cores** (stairwells and lifts) and **steel bracing crosses**, composed of high-strength tie rods (macalloy bars), to minimise the architectural impact.

## Expansion joints between blocks

Because of the relative movement required between the blocks of the building", the joints were made by doubling the beam (not the column) and by making a capital and installing a real expansion system with "bridge" supports.

## The construction model

The construction model, aimed at the subsequent realisation of the construction drawings by the company, was developed by Incide, in a very tight timeframe to allow the construction and installation times to be maintained. The model contains all the construction elements, and was coordinated, using BIM methodology, with the plant and architectural systems, in order to create a **complete product without interferences**.

Equally important was the shared management of a single model, i.e. multi-user development, which allowed parallel work.

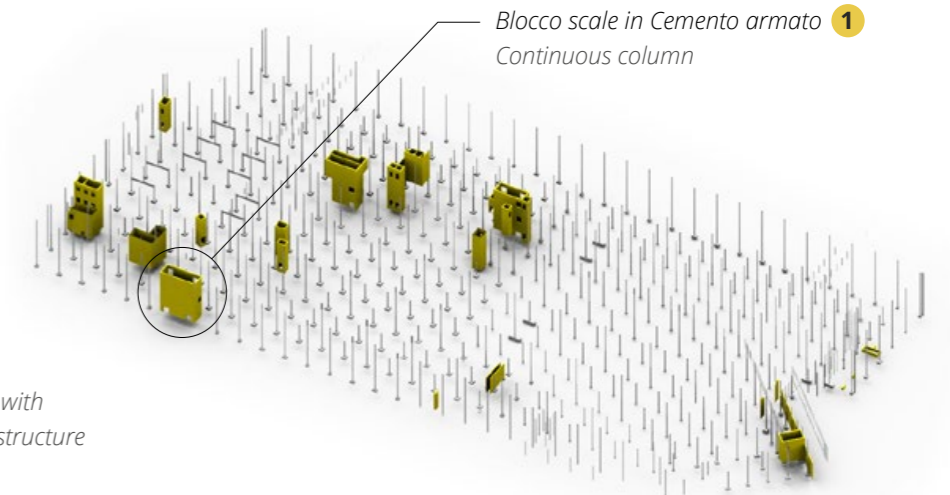
The work included the definition of all the plates, welded parts, caulking, hole patterns, connections, pegs, corrugated sheets, etc., all in anticipation of the export of the products. All this in anticipation of the export of the standard parts required to manufacture the individual parts.

▼ *Costruzione di uno dei blocchi scale dell'edificio in cemento armato contribuente alla controventatura strutturale*  
Construction of one of the reinforced concrete building stair blocks contributing to the structural bracing



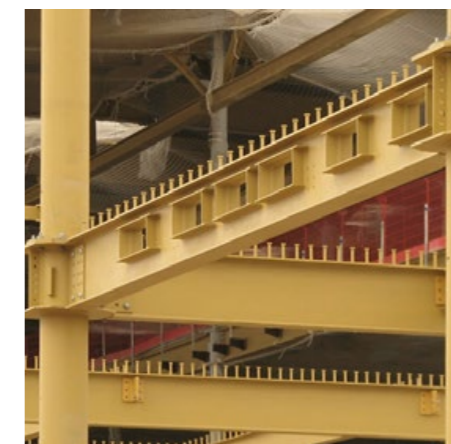
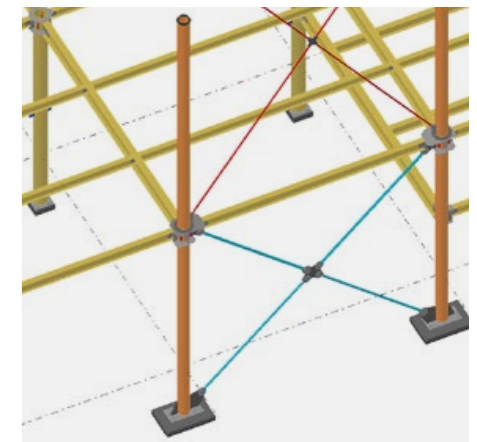
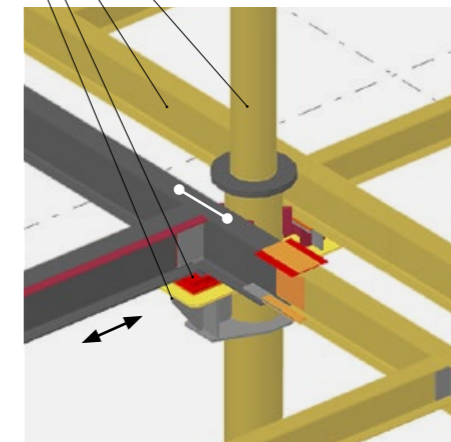
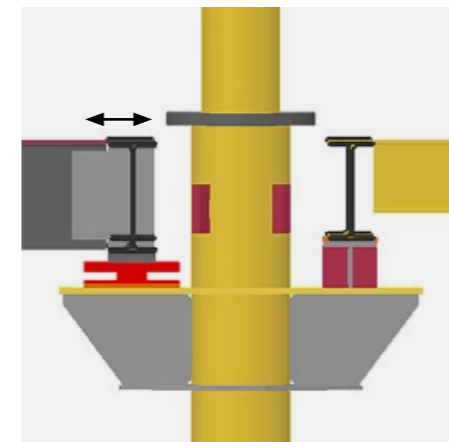
► *Schema strutturale delle colonne incernierate composite e dei blocchi di cemento fungenti da controventi*  
Structural scheme of composite hinged columns and concrete blocks acting as bracings

▼ *Dettagli estrapolati da modello Tekla costruttivo dei giunti di dilatazione e dei controventi con barre in acciaio. In basso, foto comparative della struttura*  
Details extrapolated from Tekla model construction of expansion joints and bracing with steel bars. Below, comparative photos of the structure



Colonna continua Continuous column  
Lato bloccato Locked side of the building  
Dispositivo di supporto Bearing device  
Satellite "Satellite"

↔ Dislocamento relativo consentito Relative displacement permitted  
● Dislocamento relativo impedito Relative displacement prevented







Il terminal ultimato The terminal completed

## 2

## “Robustesse” Building resistance

Lo schema strutturale prevede la suddivisione dell'edificio in diversi blocchi interconnessi nelle linee di giunzioni trasversali.

Al fine di garantire la maggiore sicurezza strutturale possibile, è stata richiesta una ridondanza della verifica di stabilità anche in presenza di un possibile collasso di un sistema resistente verticale.

Questo studio è stato denominato “Robustesse” e ha previsto la dimostrazione che la globalità dell'edificio deve **mantenere la sua stabilità**, anche nel caso una parte venga compromessa.

Lo studio è stato effettuato con sotto modelli implementati nel software di calcolo StaadPro.

**Diversi scenari sono stati studiati** per prendere in considerazione e controllare le forze aggiuntive dovute alla perdita di qualche elemento di stabilità.

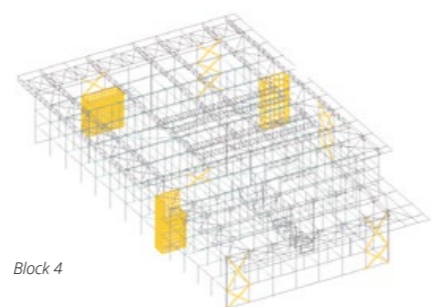
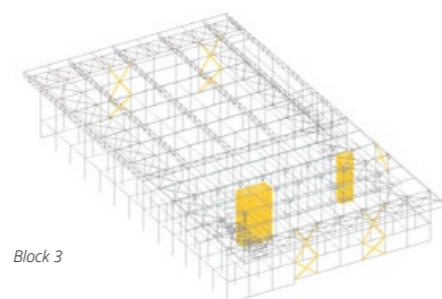
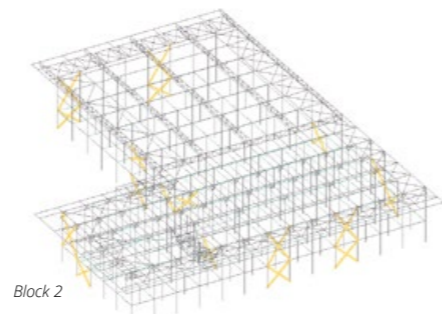
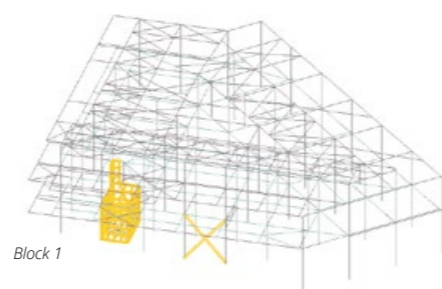
The structural scheme provides for the division of the building into several interconnected blocks in the transverse joint lines.

In order to guarantee the highest possible structural safety, a redundancy of the stability verification was required even in the presence of a possible collapse of a vertical resistant system.

This study was called “Robustesse” and involved demonstrating that the **building as a whole must maintain its stability**, even if one part is compromised.

The study was carried out with sub-models implemented in the StaadPro calculation software.

**Several scenarios were studied** to take into account and control the additional forces due to the loss of some stability element.



**LA STRUTTURA DELL'EDIFICIO È STATA PROGETTATA TENENDO CONTO DELLA CAPACITÀ DI OGNI SINGOLO BLOCCO PRESO SEPARATAMENTE DI MANTENERE LA SUA STABILITÀ ANCHE NEL CASO IN CUI UN ELEMENTO DI STABILITÀ (CONTROVENTATURA O TORRE DI CEMENTO) POSSA ESSERE DANNEGGIATO.**

**BUILDING STRUCTURE HAS BEEN DESIGNED TAKING INTO ACCOUNT THE CAPABILITY OF EACH SINGLE BLOCK TAKEN SEPARATELY TO MAINTAIN ITS STABILITY ALSO IF ANY DAMAGE OF A STABILITY ELEMENT (BRACING OR CONCRETE TOWER) COULD HAPPEN.**

▲ Estrapolati dall'analisi del modello Staad ad elementi finiti dei 4 blocchi del terminal; elementi soppressi ai fini del calcolo della Robustesse

Extrapolated from the Staad finite element model analysis of the 4 terminal blocks; elements suppressed for Robustesse calculation purposes

## Stabilità di “2° ordine” “2nd order” stability

### Approccio integrato al calcolo del coefficiente di stabilità globale

Per il calcolo di stabilità globale si è reso necessario la valutazione dell'alpha critico attraverso modellazione FEM in Straus7 dell'edificio.

Incide ha provveduto alla conversione del modello principale sviluppato in StaadPro in un modello (semplificato) in Straus7 utilizzando metodi pregressi di conversione sviluppati “ad hoc” in altre esperienze simili.

Per una combinazione di carico critica è stato dunque valutato il valore minimo di instabilità per il quale si verifica un collasso di un porzione di edificio.

Nel caso di Orly questo valore è stato trovato a circa **5 volte il carico normale**, il che secondo normativa, rende obbligatorio **l'aggiunta di carichi orizzontali** in testa ad ogni colonna proporzionali allo sforzo assiale.

La procedura è stata implementata con un algoritmo scritto in VB.net. I carichi sono stati riportati nel modello StaadPro come nuova condizione di carico.

### Integrated approach to calculating the global stability coefficient

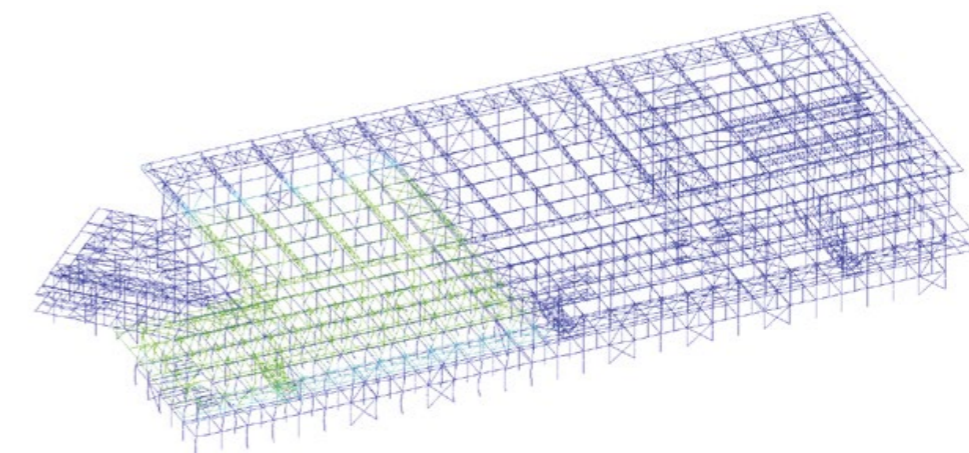
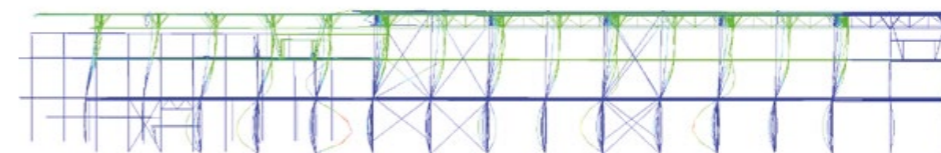
For the global stability calculation it was necessary to evaluate the critical alpha through FEM modelling in Straus7 of the building.

Incide provided the conversion of the main model developed in StaadPro into a (simplified) model in Straus7 using previous conversion methods developed “ad hoc” in other similar experiments.

For a critical load combination, the minimum value of instability for which a collapse of a portion of the building occurs was evaluated.

In the case of Orly, this value was found to be about **5 times the normal load**, which, according to the regulations, makes it compulsory to **add horizontal loads** at the top of each column proportional to the axial stress.

The procedure was implemented with an algorithm written in VB.net. The loads were reported in the StaadPro model as a new load condition.



▲ Estrapolati dall'analisi del modello Straus7; visualizzazione del collasso strutturale legato al primo valore di alfa critico: sezione trasversale e isometria tridimensionale

Extrapolated from the Straus7 model analysis; visualisation of structural collapse linked to the first critical alpha value: transverse section and three-dimensional isometry

Bentley  
STAAD.Pro

Visual Basic

Straus7

## 2

## Solai e travi collaboranti

**La stabilità orizzontale è garantita dalla presenza di un piano rigido, formato dal sistema misto costituito da travi in acciaio collegate alla soletta in cemento armato mediante pioli.**

Il calcolo dei solai misti è stato effettuato sulla base delle mappe di carico fornite dal cliente.

A queste vanno aggiunti dei calcoli a punzonamento locale per le condizioni d'uso nella fase transitoria di cantiere e di manutenzione ordinaria.

Le verifiche dei solai misti sono state effettuate nelle **condizioni operative**, sia nelle **condizioni transitorie di getto** al fine di garantire il rispetto dei limiti di resistenza e di deformabilità, in accordo alle **norme eurocodici**, con l'applicazione delle **specifiche Setra Francesi**.

Il vincolo più restrittivo è risultato essere quello vibrazionale, per il quale in una particolare condizione di carico  $G+0.2Q$  dovevano essere rispettati i limiti di 4Hz o  $0.4m/s^2$  di accelerazione per evitare problemi di sincronizzazione col passaggio di folla sui solai e sulle passerelle.

Horizontal stability is guaranteed by the presence of a rigid plane, formed by the mixed system of steel beams connected to the reinforced concrete slab by pegs.

The calculation of the mixed slabs was carried out on the basis of load maps provided by the client.

To these must be added local punching calculations for the conditions of use in the transitory phase of the construction site and ordinary maintenance.

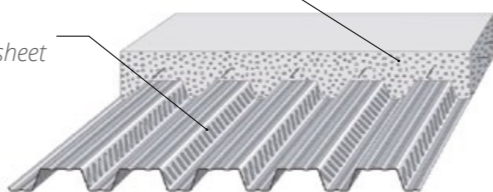
The verifications of the mixed slabs were carried out in the **operating conditions**, as well as in the **transitional casting conditions** in order to ensure compliance with the strength and deformability limits, in accordance with the **Eurocodes standards**, with the application of the **French Setra specifications**.

The most restrictive constraint turned out to be the vibrational one, for which in a particular load condition  $G+0.2Q$  the limits of 4Hz or  $0.4m/s^2$  acceleration had to be respected in order to avoid synchronisation problems with the passage of crowds on the floors and walkways.

Struttura del solaio misto. Mixed floor structure.

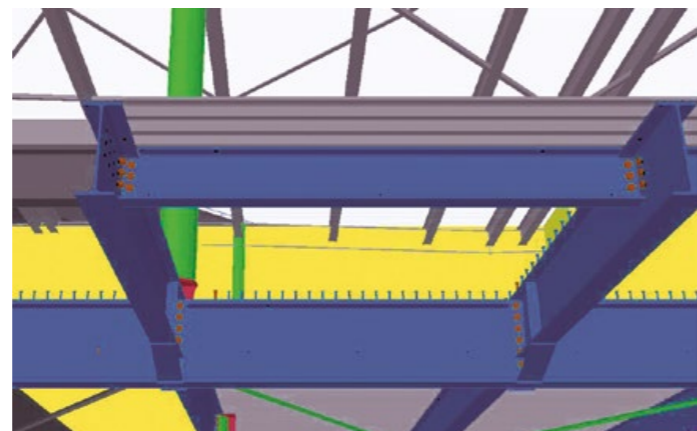
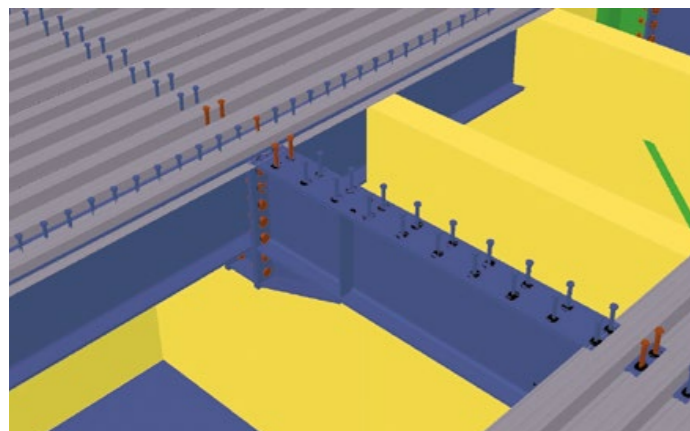
Gettata in cemento armato rinforzato  
Reinforced concrete casting

Lamiera grecata  
Corrugated metal sheet



▼ *Dettagli costruttivi estrapolati dal modello Tekla dei solai e travi collaboranti*

*Construction details extrapolated from the Tekla model of slabs and collaborating beams*



## Composite beams and floor

## Travi forate: il coordinamento con i sistemi impiantistici

La fine di ridurre l'interpiano strutturale e la gestione delle importanti reti impiantistiche, il cliente ha previsto il passaggio delle stesse nello spessore dei solai, con la necessità di creare importanti forometrie sulle anime delle travi principali.

Questa scelta ha determinato la necessità di una **verifica globale e locale delle strutture interessate** da queste forometrie.

I problemi riguardavano soprattutto la resistenza e deformazione a taglio, ridotta a causa della penalizzazione dell'anima.

Per lo sviluppo dei calcoli Incide ha utilizzato diversi strumenti, dal software Oasys compos a modelli FEM locali.

Le soluzioni per ovviare a eventuali insufficienze delle travi spaziano dal **rinforzo del foro tramite dei piatti aggiuntivi** per permettere un funzionamento tipo Vierendeel locale o al semplice **rinforzo delle ali**.

Oltre alle verifiche normative sono state rispettate le guide CTICM "Centre Technique Industriel de la Construction Métallique", come richiesto dall'ente certificatore.

## Perforated beams: coordination with plant systems

In order to reduce the structural intermediate floor and manage the important plant engineering networks, the client planned to pass them through the thickness of the floors, with the need to create important perforations on the cores of the main beams.

This choice led to the need for a **global and local verification of the structures affected** by these perforations.

The problems mainly concern the shear strength and deformation, which is reduced due to the penalisation of the core.

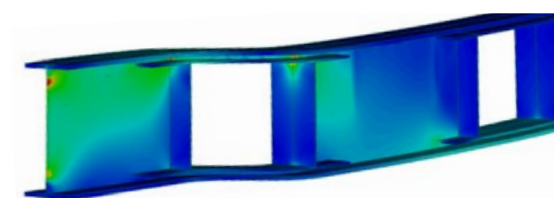
For the development of the calculations Incide used various tools, from Oasys compos software to local FEM models.

The solutions to overcome any deficiencies in the beams ranged from **reinforcing the hole by means** of additional plates to allow local Vierendeel type operation or simply **reinforcing the wings**.

In addition to the normative verifications, the CTICM "Centre Technique Industriel de la Construction Métallique" guides were respected, as required by the certifying body.

## LE VERIFICHE DELLE TRAVI BEAM VERIFICATIONS:

- SEZIONI MISTE MIXED SECTIONS
- TAGLIO SUL FORO SHEAR ON THE HOLE
- FLESSIONE SUL FORO BENDING ON THE HOLE
- INSTABILITÀ LOCALI LOCAL BUCKLING
- SEZIONI A T PER EFFETTO VIERENDEEL T-SECTIONS FOR VIERENDEEL EFFECT



▲ *Per lo sviluppo dei calcoli Incide ha utilizzato diversi strumenti; nell'immagine in alto modello agli elementi finiti sviluppato in Straus7*

*Incide used various tools to develop the calculations; in the image above, a finite element model developed in Straus7*

◀ *Le travi coordinate con il sistema impiantistico prevedevano forometrie variabili verificate ad hoc*

*The beams coordinated with the plant system included variable perforations verified ad hoc*



## 2

## Le colonne composite Composite columns

Sono state utilizzate colonne circolari composite in acciaio-calcestruzzo al fine di ridurre la dimensione e la quantità di vernice intumescente di protezione antincendio.

Le colonne sono state concepite sin dalle prime fasi di progetto come acciaio tubolare riempito a calcestruzzo. Questo non tanto per esigenze strutturali, quanto per esigenze di **resistenza al fuoco**. Le colonne riempite sono più massive e dunque rispondono meglio in caso di incendio.

Inoltre, era prevista la minimizzazione dell'uso di acciaio e della pittura intumescente per limitare i costi. La scelta progettuale ha permesso di **minimizzare il numero di colonne trattate** per la protezione al fuoco.

Incide ha fornito sia l'ottimizzazione tramite algoritmi di calcolo sviluppati in VB.net, sia il calcolo di queste colonne considerando il grado di armatura, la lunghezza libera di inflessione e la resistenza a caldo e a freddo.

Composite steel-concrete circular columns were used in order to reduce their size and quantity of intumescent fire protection paint.

The columns were conceived from the earliest design stages as concrete-filled tubular steel. This was not so much for structural requirements as for **fire resistance**. Filled columns are more massive and therefore respond better in case of fire.

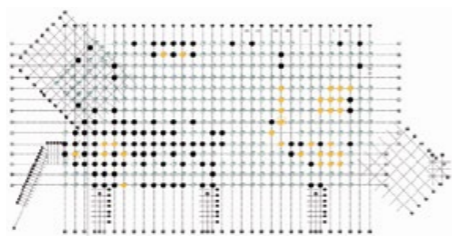
In addition, it was planned to minimise the use of steel and intumescent paint to limit costs. The design choice made it possible to **minimise the number of columns treated** for fire protection.

Incide provided both the optimisation using calculation algorithms developed in VB.net and the calculation of these columns taking into account the degree of reinforcement, the free length of deflection and the hot and cold resistance.

### Verifica colonne miste:

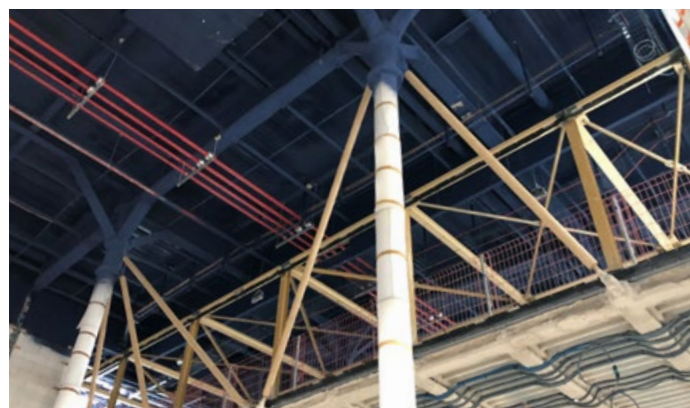
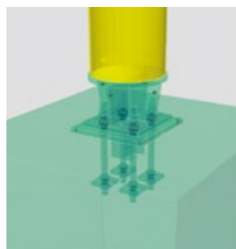
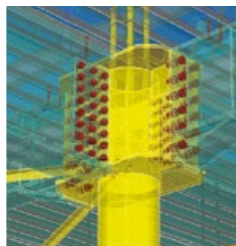
#### Verification of mixed columns:

- Condizioni geometriche Geometric conditions
- Resistenza plastica Plastic resistance
- Rigidezza efficace (calcolo effetti secondo ordine) Effective stiffness (calculation of second order effects)
- Verifica d'instabilità Buckling verification
- Calcolo diagramma d'interazione m-n Calculation of m-n interaction diagram
- Valutazione effetti secondo ordine Evaluation of second-order effects
- Combinata ed a taglio Combined and shear

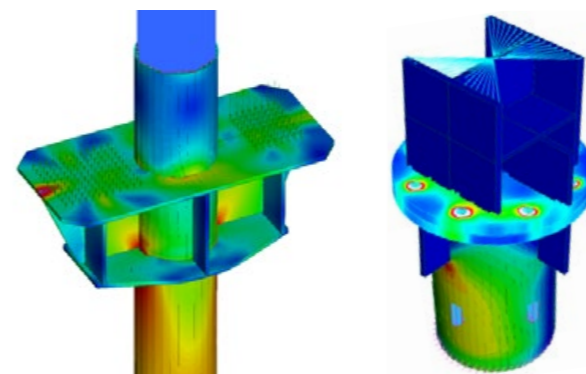


▲▲▲ Pianta delle colonne ad h11,55m, dettagli tipici estrapolati dal modello Tekla e foto di cantiere

Plan of the columns at h11.55m, typical details taken from the Tekla model and site photos



## Calcolo connessioni Connection calculation



◀ Nell'immagine a lato modello agli elementi finiti sviluppato in Straus7 di due connessioni tipiche che evidenzia gli stress del materiale sotto carico massimo

In the picture opposite, a finite element model developed in Straus7 of two typical connections shows the material stresses under maximum load.

In un progetto di ampio respiro come quello dell'ampliamento dell'aeroporto di Parigi Orly è difficile trovare una regolarità strutturale ed applicare soluzioni di connessioni "standard".

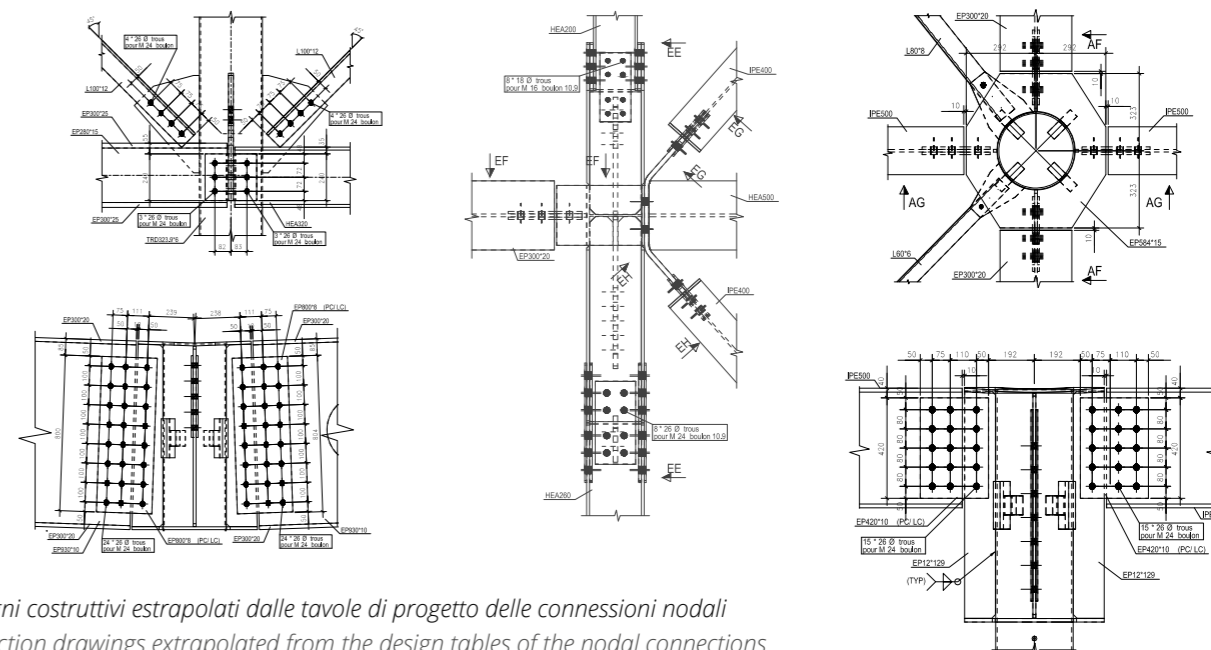
È stato dunque necessario **categorizzare i nodi per tipologie similari** e sviluppare metodologie di calcolo specifiche per ogni soluzione che sono state risolte mediante la realizzazione di applicazioni in excel per soluzioni riconducibili a casi "normalizzati", e attraverso lo sviluppo di verifiche di dettaglio, mediante la realizzazione di modelli FEM dedicati.

La scelta di soluzioni tipologiche normalizzate ha permesso, la standardizzazione delle verifiche ma soprattutto **l'uniformità costruttiva**.

In a large-scale project such as the extension of Paris Orly airport, it's difficult to find a structural regularity and to apply "standard" connections.

It was therefore necessary to **categorise the nodes by similar types** and to develop specific calculation methodologies for each solution which were solved, through the realisation of applications in excel for solutions traceable to "normalised" cases, and through the development of detailed verifications, through the realisation of dedicated FEM models.

The choice of standardised typological solutions has allowed the standardisation of verifications but above all the **construction uniformity**.



▲ Disegni costruttivi estrapolati dalle tavole di progetto delle connessioni nodali  
Construction drawings extrapolated from the design tables of the nodal connections

# 3 L'involucro esterno

## Envelope design

Altro vincolo progettuale strutturale è stata la predisposizione per l'integrazione e l'ancoraggio delle facciate e delle coperture. È stato necessario il **coordinamento struttura-involucro** tra Incide (progettisti strutturali) e Gruppo Simeon, i progettisti dell'involucro esterno.

L'involucro esterno del Terminal lo si può suddividere in due macro aree: **facciate e copertura**.

Le facciate sono state concepite come facciate continue vetrate, ancorate alla struttura secondaria sorretta dalla principale; le parti opache sono state rivestite con pannellature in alluminio.

La copertura in cemento prevedeva grandi lucernai vetrati per poter utilizzare il più possibile l'illuminazione naturale all'interno dei grandi spazi aeroportuali.

Another structural design constraint was the provision for the integration and anchorage of the facades and roofs. It was necessary to **coordinate structure-envelope** between Incide (structural designers) and Gruppo Simeon, the designers of the external envelope.

The external envelope of the Terminal can be divided into two macro areas: **facades and roofing**.

The facades were designed as glazed curtain walls, anchored to the secondary structure supported by the main one; the opaque parts were clad with aluminium panels.

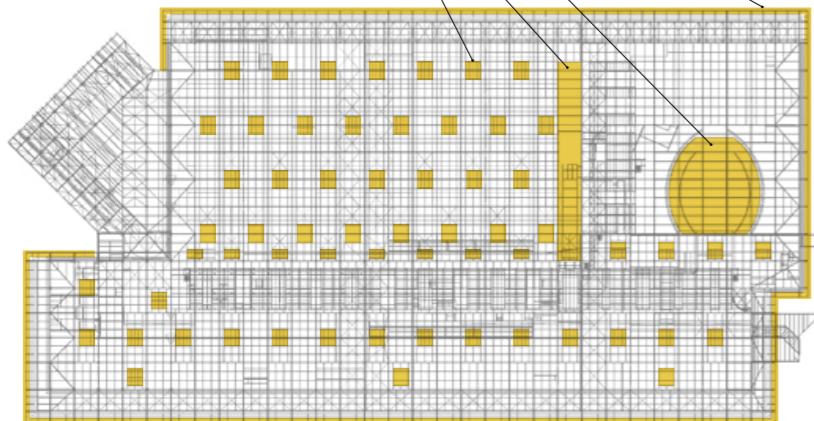
The concrete roof included large glazed skylights in order to use as much natural light as possible inside the large airport spaces.

Facciate vetrate continue. Full glass facades

Finestre vetrate 400 m<sup>2</sup> Glazed windows 400 m<sup>2</sup>

Finestre vetrate 540 m<sup>2</sup> Glazed windows 540 m<sup>2</sup>

Skylight 30m<sup>2</sup>



► Facciate vetrate viste dall'interno del Terminal 3  
Glass facades seen from inside Terminal 3



## 3

## Le facciate vetrate

La facciata vetrata è composta da vetri basso emissivi delle dimensioni 400x240cm circa, ancorati ad una serie di traversi orizzontali in acciaio sostenuti dalla struttura principale.

I traversi orizzontali a passo 240cm sono sorretti da una serie di cavi di sospensione fissati al trave sommitale di copertura della struttura oltre ad essere vincolati alla colonna più prossima alla facciata per mezzo di staffe predisposte in officina.

Il sistema di facciata tipo Rhyco ammorza le vetrate ai traversi orizzontali, garantendo la tenuta agli agenti atmosferici e l'assenza di ponti termici.

Il progetto strutturale ha recepito gli stretti vincoli di deformabilità imposti dal sistema di facciata, garantendone la funzionalità e la congruenza durante l'installazione.

The glazed façade is composed of low-emission glass panes measuring approximately 400x240cm, anchored to a series of horizontal steel transoms supported by the main structure.

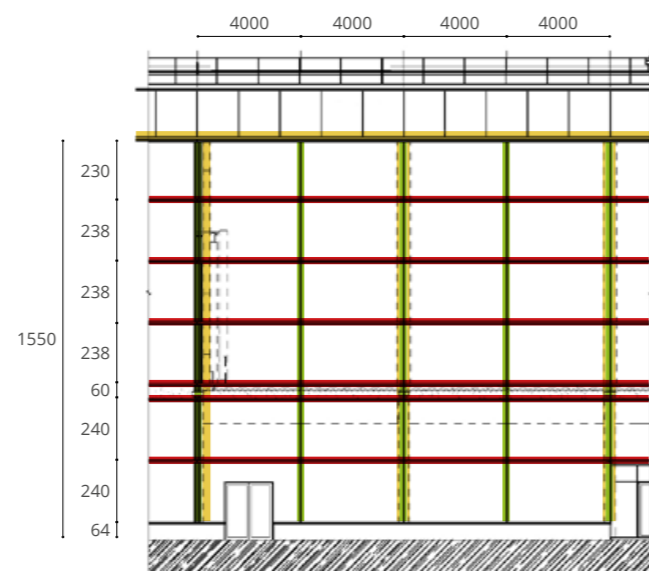
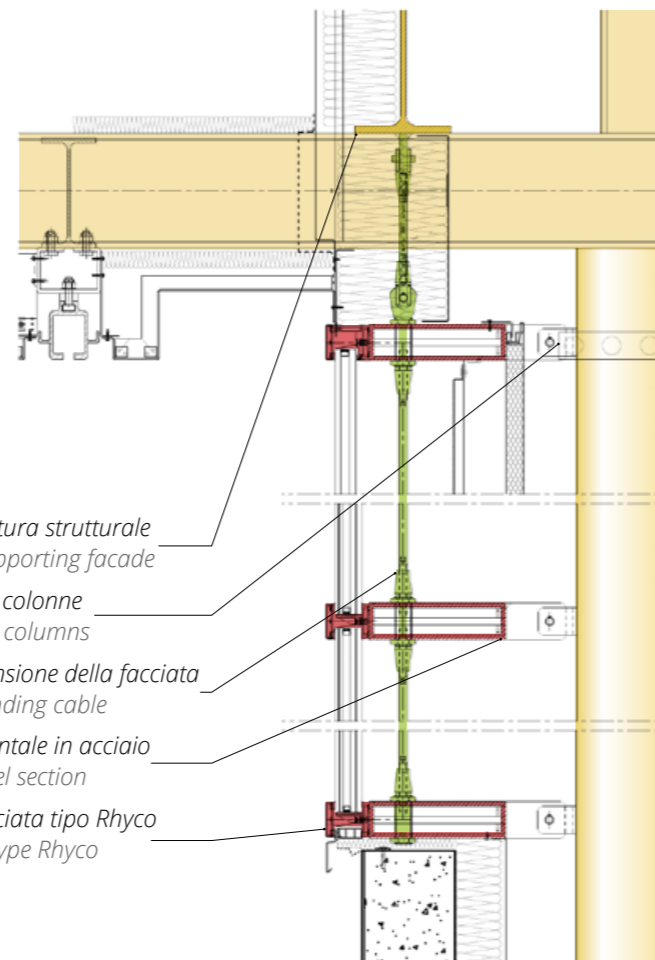
The horizontal transoms, with a pitch of 240cm, are supported by a series of suspension cables fixed to the top beam of the structure, as well as being tied to the column closest to the façade by means of brackets prepared in the workshop.

The Rhyco façade system clamps the glazing to the horizontal transoms, ensuring weather tightness and the **absence of thermal bridges**.

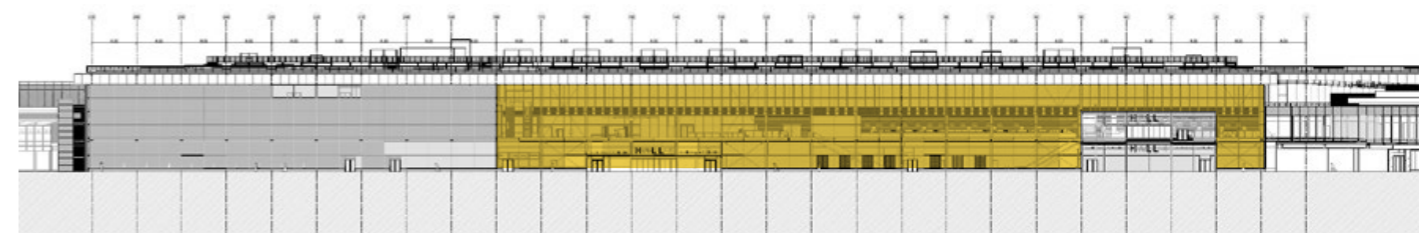
The structural design incorporated the tight deformability constraints imposed by the facade system, ensuring functionality and consistency during installation.

► In questa pagina particolari in sezione e fronte del sistema di facciata ancorato al trave della struttura principale

This page shows cross-sectional details and the front of the façade system anchored to the beam of the main structure.



## Full glass facade



▲ Foto di avanzamento dei lavori di montaggio delle facciate e lavori finiti  
Photos of façade assembly and finished work

▲ Fronte longitudinale del terminal 3 con evidenziate le facciate vetrate  
Longitudinal front of airport terminal 3 with highlighted glass facades

## 3

## La copertura The roof

Viste le grandi campate dell'edificio, in copertura sono stati previsti dei lucernai per sfruttare il più possibile la luce naturale nel terminal.

Sono stati realizzati 61 lucernai, più una grande "verriere" ellittica di circa 540m<sup>2</sup> ed un'ulteriore di circa 400 m<sup>2</sup>.

Incide ha recepito i requisiti funzionali espressi dal costruttore per la **predisposizione nella struttura principale** delle connessioni con le strutture secondarie di supporto alle vetrate.

Il progetto ha previsto la realizzazione di **pontili sospesi con tiranti** per il passaggio dei passeggeri nelle zone a doppia altezza dell'edificio.

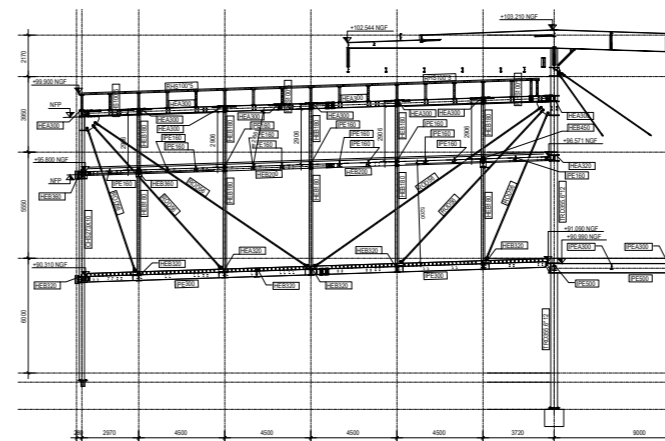
Given the large spans of the building, skylights were provided on the roof to make the most of the natural light in the terminal.

There were 61 skylights, plus a large elliptical "verriere" of about 540 m<sup>2</sup> and another of about 400 m<sup>2</sup>.

Incide took on board the functional requirements expressed by the builder for the **provision of connections in the main structure** with the secondary structures supporting the glazing.

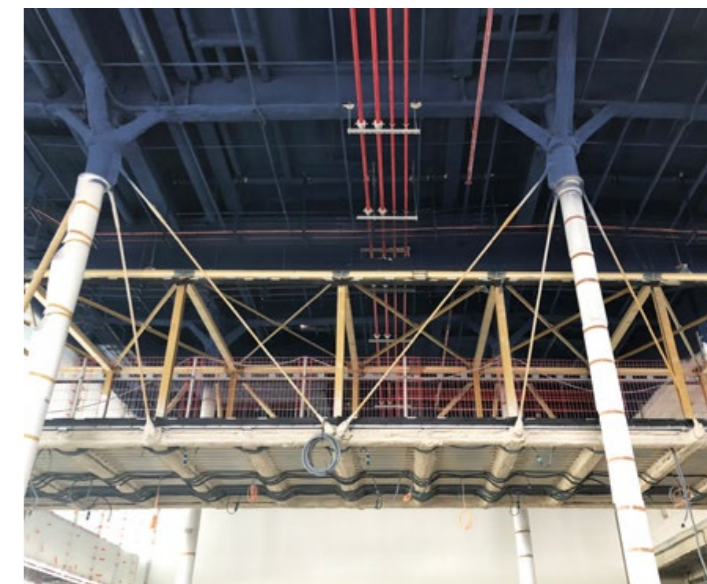
The project included the construction of **suspended piers with tie-rods** for the passage of passengers in the double-height areas of the building.

▼ Il lucernaio ellittico di 540m<sup>2</sup> a lavori ultimati  
540m<sup>2</sup> of elliptical skylight in roof



► Estrapolato dalle tavole costruttive e foto in corso d'opera di una delle passerelle pensili interne all'aeroporto  
Extrapolated from the construction drawings and photos in progress of one of the airport's internal suspended walkways

▼ La struttura in corrispondenza del lucernaio ellittico  
The structure in connection with the elliptical skylight



# 4 BIM e coordinamento

## BIM & coordination

### Interoperabilità e approccio di progettazione computazionale

È stato sviluppato un **modello BIM completo** per realizzare la piena integrazione tra la fase progettuale e quella esecutiva oltre che ad agevolare la gestione del coordinamento tra le differenti discipline.

Il coordinamento con la progettazione degli impianti è stato effettuato mediante l'utilizzo di strumenti messi a disposizione dalla tecnologia BIM coadiuvati ad algoritmi di calcolo per ottimizzare il processo di determinazione delle forometrie nelle travi.

Incide ha utilizzato Naviswork e Tekla Bimsight per l'individuazione delle interferenze e StaadPro per le forze.

Con un processo automatizzato tramite linguaggio di programmazione VB.net è stato possibile forare le travi in fase di modellazione costruttiva in Tekla.

Il processo ha permesso di **minimizzare gli errori** in fase di cantierizzazione e coordinare al meglio questa delicata fase.

### Interoperability and computational design approach

A **full BIM model** has been developed in order to achieve full integration between the design and executive phases as well as facilitating the management of coordination between the different disciplines.

Coordination with the design of the installations was carried out using tools made available by BIM technology assisted by calculation algorithms to optimise the process of determining the forometries in the beams.

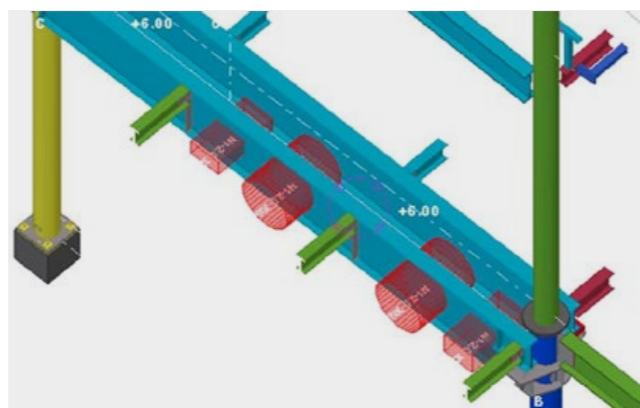
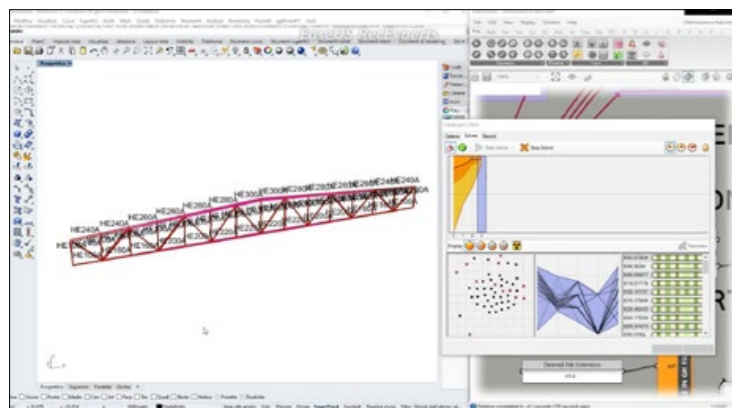
Incide used Naviswork and Tekla Bimsight for interference detection and StaadPro for forces.

Through an automated process using VB.net programming language, it was possible to drill the beams during construction modelling in Tekla.

The process made it possible to **minimise errors** during the construction phase and to better coordinate this delicate phase.

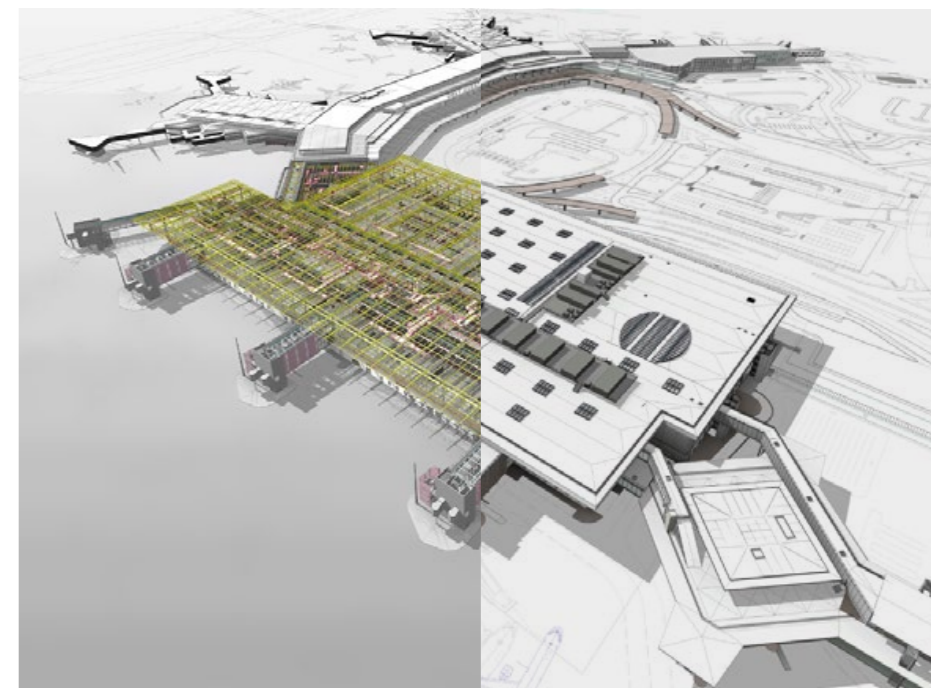
▼ *Gestione parametrica della struttura delle reticolari per mezzo di Rhinoceros + Grasshopper e creazione automatica di solidi 3D all'interno di Tekla*

*Parametric management of lattice structures using Rhinoceros + Grasshopper & automatic creation of 3D solids within Tekla*



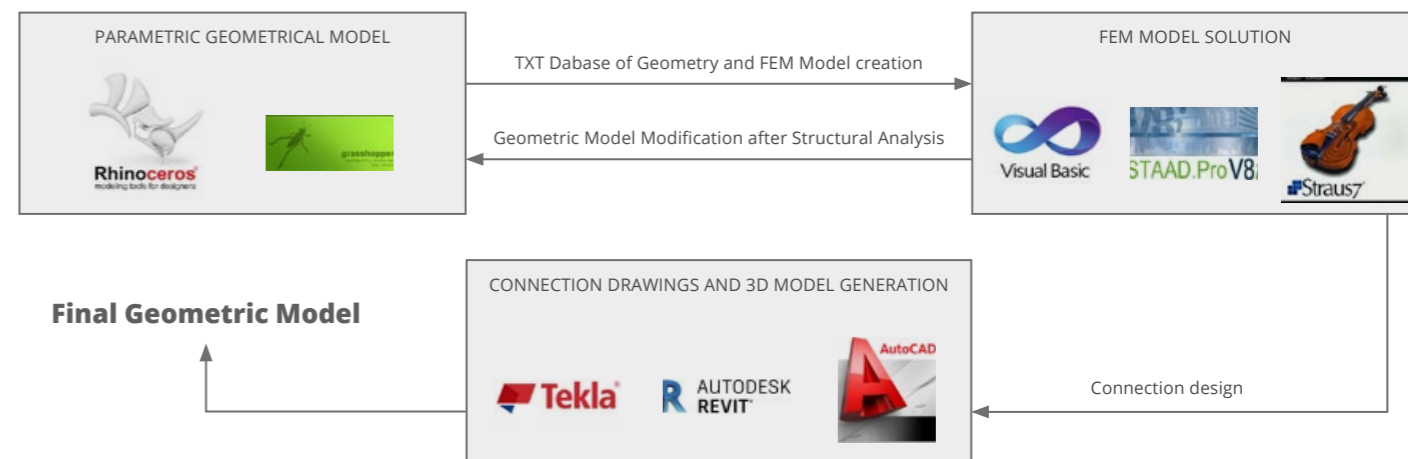
**L'APPROCCIO BIM SIGNIFICA: COORDINAMENTO E PROGETTAZIONE EFFICIENTE, RISPARMIO DI TEMPO, VERIFICA DELLE INTERFERENZE, ANTICIPO DEGLI ERRORI, GARANTIRE CONTINUITÀ AL LAVORO SUL SITO ED OTTIMIZZAZIONE DEI COSTI**

**BIM APPROACH MEANS: COORDINATION AND EFFICIENT DESIGN, TIME SAVING, VERIFICATION OF INTERFERENCES, ANTICIPATING MISTAKES, ENSURING ON-SITE WORK CONTINUITY AND COST OPTIMISATION**



▲ *Sovrapposizione del modello BIM strutturale/impiantistico con quello architettonico*  
*Overlap of structural/plant BIM model with architectural model*

▼ *Controllo e l'interoperabilità tra i differenti softwares utilizzati per la gestione e l'efficiamento del modello BIM*  
*Control and interoperability between the different software used for the management and efficiency of the BIM model.*





# incide engineering



## HeadQuarter

Incide Engineering s.r.l.  
Via S.Francesco, 91  
35121 Padova - Italy  
t. +39 049 8774150  
f. +39 049 8774836  
incide@incide.it

## Registered office:

Via Forte Marghera, 85  
Venezia Mestre - Italy  
P.I. e C.F. 03340490279  
Registro Imprese Venezia n.03340490279  
R.E.A. Venezia 300335 - Cap. Soc. €10.000

## Certifications:

ISO9001:2015 - CSI CERT N. SQ052065



## Paris, France

Incide Ingénierie sàrl  
france@incideengineering.com



## Lugano, Switzerland

Incide Engineering sàrl  
suisse@incideengineering.com



## Rabat, Morocco

Incide Maroc sàrl  
maroc@incideengineering.com

Follow us on:



[www.incide.it](http://www.incide.it)