



MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE
E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI



E.N.A.C
ENTE NAZIONALE per
L'AVIAZIONE CIVILE

Committente Principale



AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE – “AMERIGO VESPUCCI”

Opera

MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035
INTERVENTI DI ADEGUAMENTO E OTTIMIZZAZIONE DELLE AREE TERMINALI

Titolo Documento

RELAZIONE ANALISI DELLE ALTERNATIVE NUOVO TERMINAL

Fase di Progetto

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

FASE	REV	DATA EMISSIONE	SCALA	CODICE FILE
PF	00	Ottobre 2022	N/A	FLR-NT-NA-GE-RG-NA-03_ Rel Analisi Alt NT
				NOME FILE Rel Analisi Alt NT

00	10/2022	Prima Emissione	Rafael Viñoly Architects	Arch. C. Grouman	Ing. L. Tenerani
REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

COMMITTENTE PRINCIPALE		GRUPPO DI PROGETTAZIONE		SUPPORTI SPECIALISTICI	
 ACCOUNTABLE MANAGER Dott. Vittorio Fanti		 DIRETTORE TECNICO Ing. Lorenzo Tenerani		SUPPORTO PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA ACI ENGINEERING S.A. RAFAEL VIÑOLY ARCHITECTS PC	
				SUPPORTO STRUTTURALE 	SUPPORTO IMPIANTI IDRICI E IDRAULICI
		RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara N°631		SUPPORTO IMPIANTI TERMOMECCANICI 	SUPPORTO IMPIANTI ELETTRICI E SPECIALI
		PROGETTISTA ARCHITETTURA E STRUTTURE Arch. David Perri Ordine degli Architetti di Lucca N°1157			
POST HOLDER DI AREA	POST HOLDER PROGETTAZIONE AD INTERIM Dott. Vittorio Fanti	PROGETTISTA SPECIALISTICO IMPIANTI Ing. Andrea Bonciani Ordine degli Ingegneri di Firenze N°4150		SUPPORTO IDROLOGIA E IDRAULICA 	SUPPORTO PROGETTO APRON M.C.P. MARRADI CONSULTING PARTNERS Infrastructures Engineering, Technology & Consulting
	POST HOLDER MANUTENZIONE Ing. Nicola D'Ippolito	PROGETTISTA SPECIALISTICO APRON Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara N°631		GEOLOGIA 	ARCHEOLOGIA
	POST HOLDER AREA DI MOVIMENTO Geom. Luca Ermini	PROGETTISTA VIABILITA' E OPERE ESTERNE Arch. David Perri Ordine degli Architetti di Lucca N°1157		SUPPORTO SISTEMA BHS 	CANTIERIZZAZIONE E SICUREZZA

Relazione Analisi delle Alternative Nuovo Terminal

Indice

1.	Introduzione.....	3
2.	Concetti Preliminari	4
3.	Contestualizzazione di un Terminal aeroportuale moderno – Il vigneto	9
4.	Razionalizzazione del Progetto	16
4.1.	Ottimizzazione del Layout	17
4.2.	Razionalizzazione della Struttura	20
5.	Sistemi Ambientali Alternativi e Misure di Sostenibilità.....	25
6.	Approvvigionamento dell'Energia Termo-frigorifera	25
6.1.	Pompe di calore idrotermiche	28
6.2.	Pompe di calore aerotermiche	29
6.3.	Pompe di calore geotermiche	29
7.	Approvvigionamento Idrico	30
8.	Approvvigionamento di Energia Elettrica	32

1. Introduzione

Nel 2018, Toscana Aeroporti ha commissionato alla rinomata ditta di architettura, Rafael Viñoly Architects, di iniziare a lavorare su un project concept per un nuovo terminal passeggeri per l'Aeroporto internazionale di Firenze. Dopo aver esaminato delle possibili alternative per l'espansione dell'attuale terminal di 18.800m², è stato stabilito che le restrizioni operative imposte dall'attuale struttura e i costi aggiuntivi per rendere l'edificio conforme alle norme di sicurezza antisismiche e antincendio erano considerevoli, dunque lo sviluppo di un nuovo terminal su un altro terreno edificabile si è rivelata la soluzione più efficiente dal punto di vista economico. Inoltre, l'attuale terminal è la combinazione di quattro edifici che sono stati sviluppati in diversi intervalli di tempo e sono stati riuniti attraverso vari progetti di ammodernamento, risultando in una struttura difficile da espandere e che non facilita l'orientamento al suo interno, richiedendo una complessa suddivisione del lavoro in fasi per poter mantenere attiva l'operatività dell'aeroporto durante una massiccia operazione di espansione del terminal.



Immagine 1 – Veduta aerea dell'attuale edificio del terminal passeggeri, composto da 4 diverse strutture congiunte.

La decisione di non espandere il terminal esistente è stata basata inoltre sulla notevole mancanza di superficie necessaria per l'adeguamento agli standard del Livello di Servizio (LoS) IATA per le richieste di traffico crescente e per le diverse configurazioni spaziali necessarie per soddisfare gli attuali requisiti

operativi. Nel 2019, il volume di traffico annuale dell'aeroporto ha raggiunto i 2,8 milioni di passeggeri. Uno studio di verifica di LoS ha mostrato che più della metà dei sottosistemi operativi erano sotto dimensionati per la gestione del risultante volume di passeggeri negli orari di punta e l'edificio avrebbe necessitato di un'espansione corrispondente ad almeno il 49% di superficie operativa supplementare. Questi fattori hanno guidato la decisione di procedere con lo sviluppo di un nuovo terminal passeggeri. La selezione del terreno idoneo alla costruzione, direttamente adiacente al terminal esistente, sul lato opposto rispetto all'attuale linea tranviaria diretta verso il centro cittadino, è stata un aspetto chiave per permettere alla pianificazione della costruzione di procedere senza influenzare le normali operazioni aeroportuali. Inoltre, la prossimità del nuovo sito al terminal esistente consentirebbe all'edificio attuale di essere utilizzato per altre funzioni non-operative, ad esempio come sede di uffici amministrativi per entità governative, operatori aeroportuali e altri fornitori di servizi, come anche per possibili future espansioni di operatività di aviazione generale che richiedono strutture dedicate separate.

Un'altra importante motivazione per la costruzione di un terminal a nord rispetto a quello esistente è la necessità di rimediare al problematico accesso veicolare dell'attuale terminal, la cui prossimità all'autostrada e ai relativi semafori sul raccordo impedisce regolarmente il libero flusso di veicoli nell'area circostante l'aeroporto. L'ubicazione proposta del nuovo terminal ha una distanza maggiore rispetto all'autostrada e beneficia di un'esposizione più ampia sulle strade di accesso. Queste condizioni creano l'opportunità per delle vie di accesso distribuite, con curve di raggio maggiore e più aree di separazione del traffico, che insieme minimizzeranno i disagi della comunità locale.

Questo documento presenta le alternative progettuali che sono state analizzate mentre il concept iniziava a evolversi, i criteri che sono stati considerati durante la valutazione dei pro e contro di ciascuna soluzione di progetto e il processo che ha portato alla selezione e alla definizione dello schema progettuale finale che è stato poi adottato.

2. Concetti Preliminari

Quasi immediatamente dopo l'inizio della fase del processo di progettazione per il nuovo edificio del Terminal, l'idea di replicare la disposizione lineare tradizionale dei Saloni di Arrivi e Partenze in una configurazione fianco a fianco, come nel terminal esistente, è stata scartata a causa dell'inefficienza che è stata osservata esserci nell'intersezione tra il traffico dei veicoli e il flusso dei passeggeri e come questi disagi

sarebbero aumentati a causa del maggior afflusso annuale di passeggeri nel nuovo e più grande terminal. La difficoltà di orientamento da parte dei frequentatori e il fallimento di tale disposizione nel consolidare un "senso di luogo", che i passeggeri in arrivo e partenza possano associare alla nozione di "Ingresso" nella città di Firenze, hanno anch'essi contribuito all'abbandono di questa disposizione. Al suo posto, sono state valutate sia la consueta disposizione dei Saloni di Arrivi e Partenze collocati uno sopra l'altro, sia una soluzione più innovativa che prevedeva i Saloni di Arrivi e Partenze disposti uno di fronte all'altro.

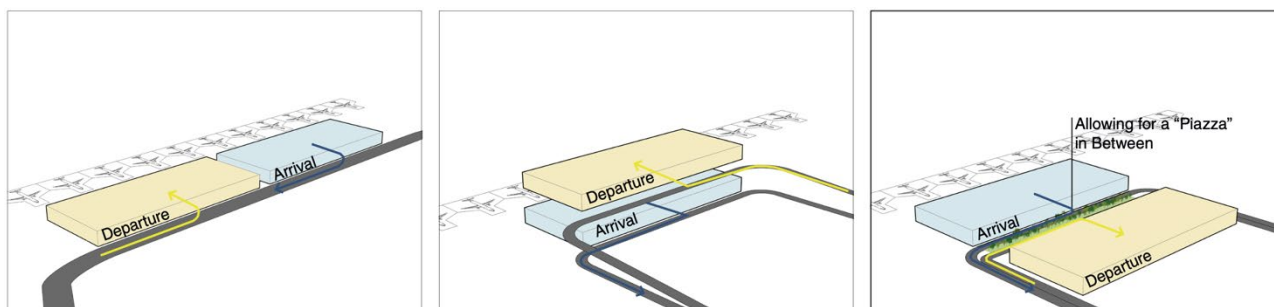


Immagine 2 – Illustrazione diagrammatica dei Saloni di Arrivi e Partenze disposti uno a fianco all'altro come nel terminal esistente (a sinistra), secondo una disposizione standard dove i saloni sono uno sopra l'altro (al centro) e uno di fronte all'altro (a destra).

Gli schemi preliminari consideravano anche come trattare la connessione visiva del nuovo terminal con il centro cittadino, che si trova a meno di 6 chilometri di distanza e presenta l'imponente struttura del Duomo del Brunelleschi, dalla cima del quale si potrebbe facilmente vedere l'aumentata dimensione del nuovo terminal dell'aeroporto. Una proposta iniziale presentava una grande componente infrastrutturale terrestre multifunzionale con attività commerciali, intesa primariamente per i membri non viaggianti appartenenti alla comunità locale e che avrebbe fornito flussi di entrata aggiuntivi a sostegno delle operazioni aeroportuali. L'idea di ospitare questo centro commerciale in una grande cupola (Schema B-1 nell'illustrazione sottostante) aveva lo scopo di enfatizzare la percezione visiva dell'aeroporto dalla città e dalle comunità circostanti, ma è stata presto respinta a favore di una composizione a più basso profilo, che non solo preservasse i panorami storici e culturali dell'area attorno alla città, ma che riducesse anche una potenziale congestione nei presenti (e soprattutto) futuri corridoi di avvicinamento e partenza degli aerei.

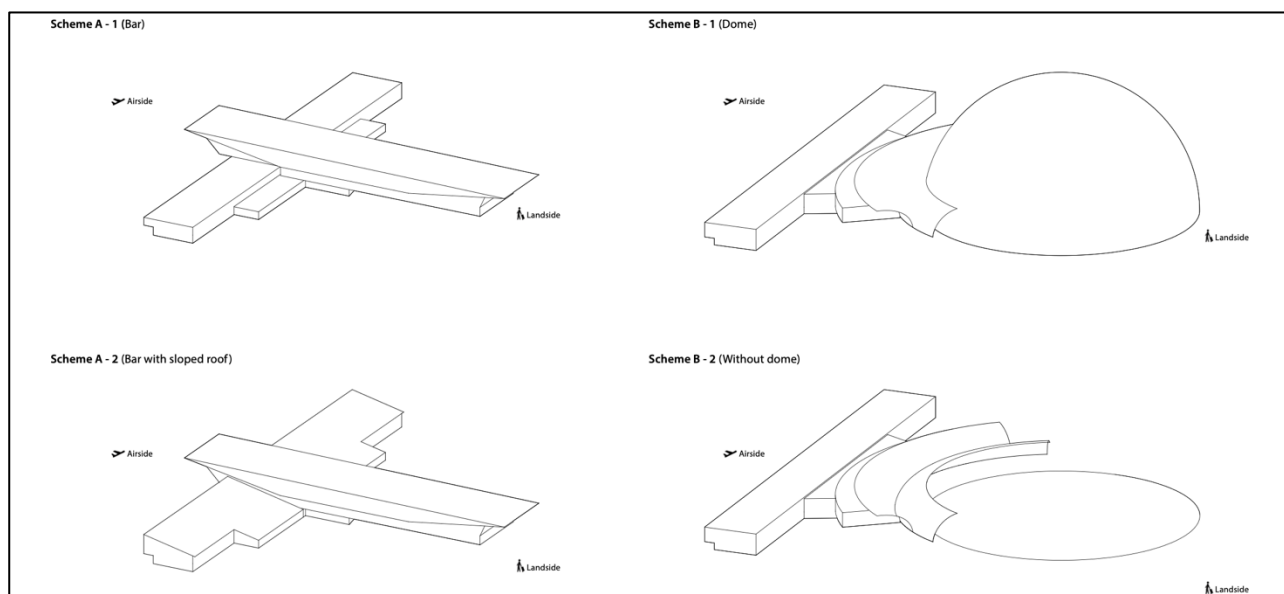


Immagine 3 – Concept progettuali preliminari che illustrano le due tipologie volumetriche. Lo Schema A mostra Arrivi e Partenze ortogonali in piano mentre lo Schema B li mostra collocati uno sopra l'altro. Lo Schema B-1 inoltre illustra l'idea della creazione di una grande cupola per suggerire un dialogo ideale tra il terminal e l'elemento architettonico più prominente della città, il Duomo del Brunelleschi.

Concettualmente, quest'ultimo approccio (Schema A nell'illustrazione sovrastante) era inteso per aumentare la separazione tra le zone di discesa passeggeri di Arrivi e Partenze, in modo da attribuire a ciascuno di essi la propria area indipendente.

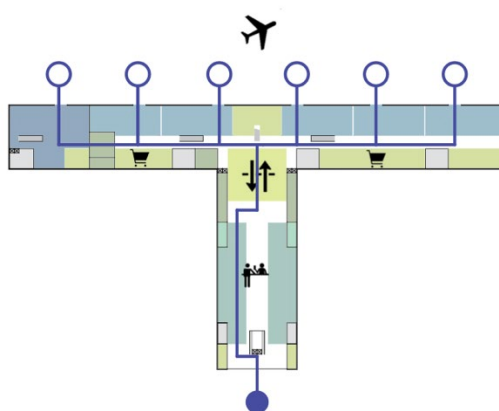


Immagine 4 – La sequenza delle partenze perpendicolare al Concourse delle Partenze e ai gate aumenta la distanza tra i flussi dei passeggeri di Arrivi e Partenze.

Questo è stato realizzato adottando un progetto a T (illustrato sopra) nel quale la sequenza delle Partenze è perpendicolare ai gate di partenza e ai passaggi sopra il Salone degli Arrivi e alla zona di prelievo dei passeggeri. Con questa disposizione, i flussi dei passeggeri risultano separati da una distanza maggiore.

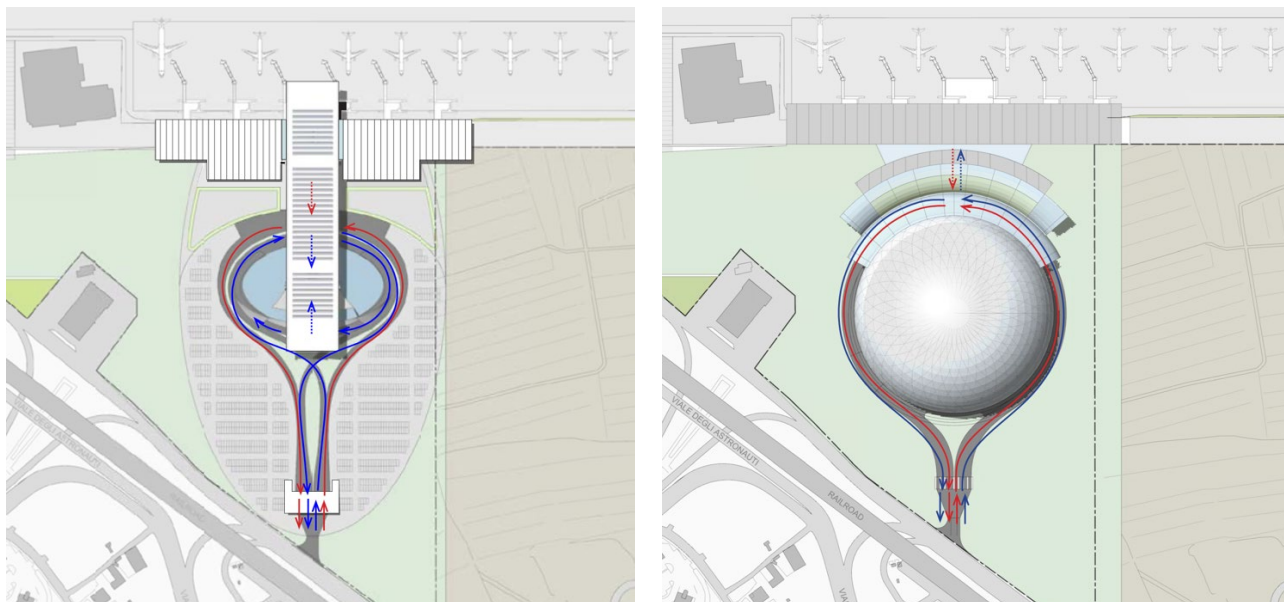


Immagine 5 – Flussi separati di circolazione veicolare nello Schema A sulla destra e flussi congiunti nello Schema B sulla sinistra.

Una funzionalità aggiuntiva della composizione a T consiste nei volumi più stretti degli edifici e in un aumento del perimetro che permette una miglior visuale del caratteristico paesaggio circostante l'aeroporto e aumenta anche la visibilità di altre sezioni del terminal, facilitando così l'orientamento. Una maggior disponibilità di luce naturale contribuisce inoltre al raggiungimento degli obiettivi complessivi di sostenibilità ambientale del Terminal.

La condizione ponte inerente allo Schema A ha creato l'opportunità di differenziare ulteriormente la sequenza delle Partenze per i passeggeri VIP che possono avere delle zone dedicate per la discesa dei passeggeri e per il check-in. Il volume minore di passeggeri VIP ha implicato che a queste aree funzionali si possa accedere dalla zona sotto il ponte, dove una minor disponibilità di parcheggio non costituirebbe un problema per i passeggeri in arrivo con veicoli dotati di autista e da cui l'accesso ai salotti VIP sarebbe più vicino.

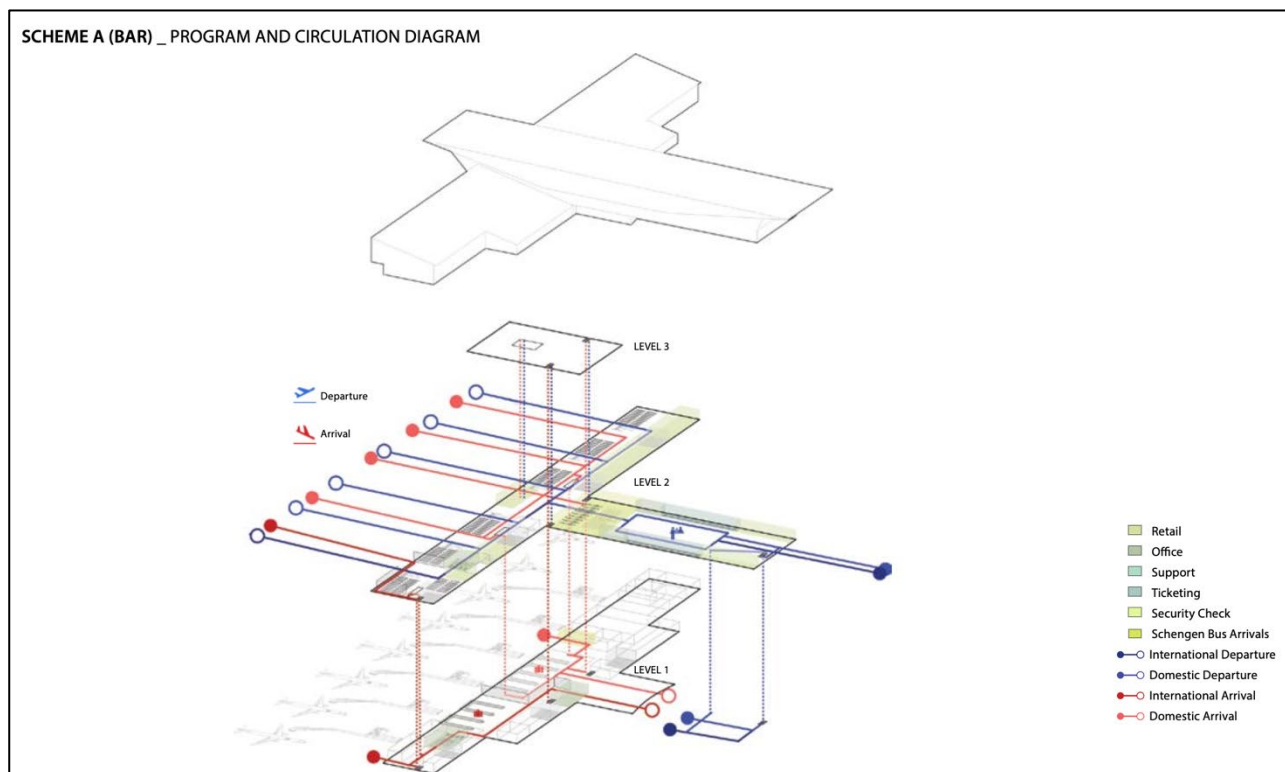
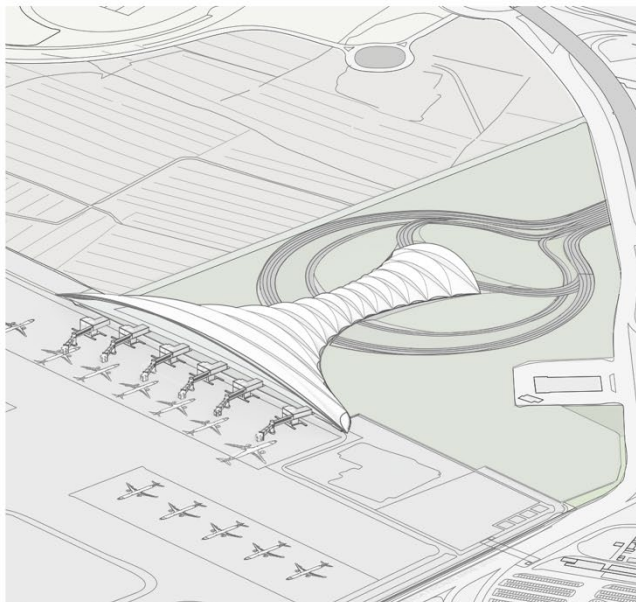


Immagine 6 – Diagramma di Organizzazione e Circolazione che illustra i punti di prelievo degli Arrivi e i punti di discesa VIP disposti uno di fronte all'altro sotto il ponte che ospita la sequenza delle Partenze.

Stabilito lo Schema A, il team di progettazione ha iniziato a rifinire la disposizione organizzativa e ad elaborare i concept strutturali e di copertura per unificare la composizione. Una proposta iniziale consisteva in una struttura reticolare ad arco che sostenesse un tetto leggero sopra uno spazio completamente privo di colonne, che continuasse a mantenere lo schema di circolazione e la distribuzione organizzativa dello Schema A, con tuttavia un panorama più limitato sul paesaggio esterno al Terminal.

Site Aerial View



Floor Overview

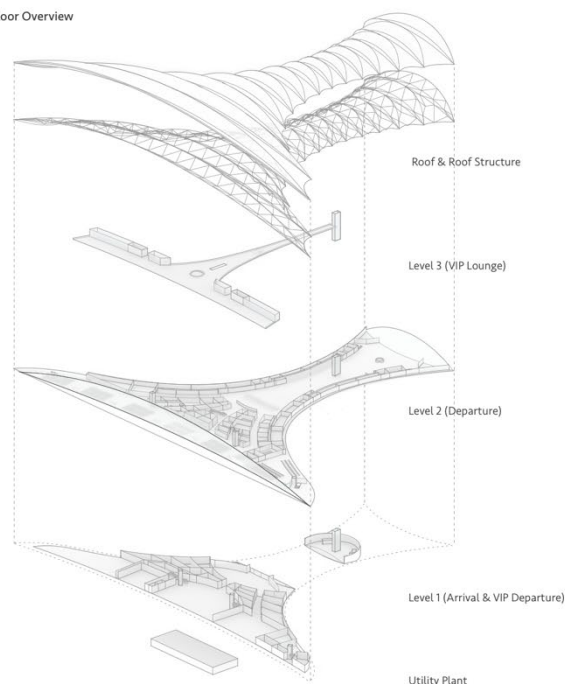


Immagine 7 – Concept di tetto a copertura totale e organizzazione impilata.

Section

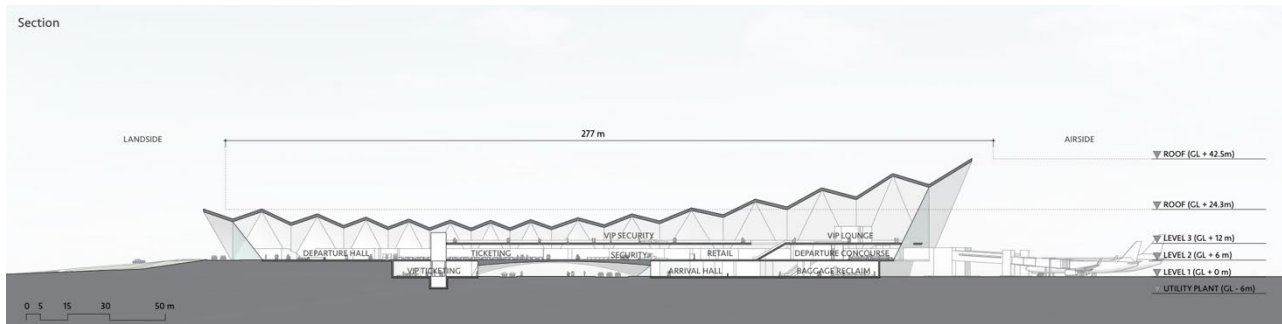


Immagine 8 – Sezione con distribuzione organizzativa dello schema del tetto arcuato a copertura totale.

3. Contestualizzazione di un Terminal aeroportuale moderno – Il vigneto

Visitando Firenze, l'architetto ha deciso che il progetto dell'edificio del Terminal dovesse essere più allineato al contesto storico della città e alle tradizioni industriali della regione. Ispirato dai vigneti che definiscono il progredito paesaggio, dall'eredità culturale e dalla forza economica della regione Toscana, Rafael Viñoly ha

immaginato un edificio che non fosse tanto sopra il paesaggio, ma al suo interno; un edificio che facesse parte del paesaggio stesso.



Immagine 9 – Ispirazione di paesaggio toscano.

Adottando l'immagine caratteristica delle file nette dei vigneti che si srotolano sulle colline dolcemente ondulate, la sua nuova idea immaginava che una porzione del paesaggio venisse parzialmente sollevata dal suolo e sistemata sul Terminal, principalmente per schermarlo alla vista se osservato dalla città a sudest, per contribuire alle sue prestazioni ambientali e, producendo vini di qualità in loco, per affermare che l'aviazione (che è attualmente una fonte significativa di emissione di carbonio a livello globale) può essere anche un'industria pulita e sostenibile.



Immagine 10 – L'architetto Rafael Viñoly illustra il concept del tetto.

Per realizzare questa visione e mantenere la vista pura di un vigneto, se osservato dal Duomo e giungendo all'Aeroporto, l'ingresso del Salone delle Partenze, che nello schema precedente fronteggia la città, è stato accorpato con la zona di discesa passeggeri dedicata ai VIP in un'area espansa al di sotto del ponte al centro del progetto e denominata "Piazza".

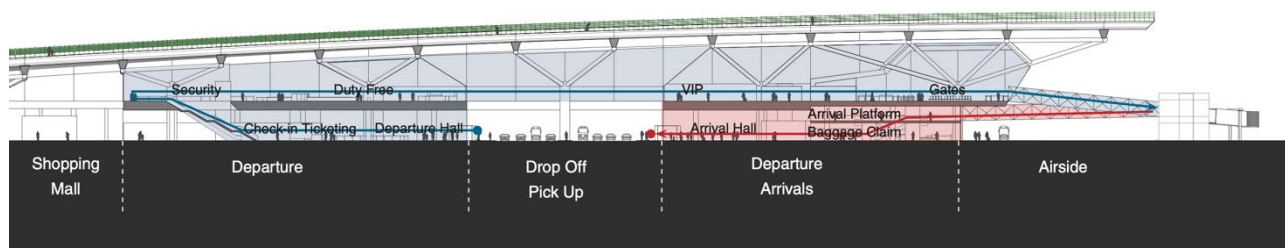


Immagine 11 – Tutti i flussi dei passeggeri vengono accorpati nell'area di discesa passeggeri collocata in posizione centrale e nell'area di prelievo passeggeri dove i Saloni di Arrivi e Partenze sono posti uno di fronte all'altro: la "Piazza".

In questo modo, il vigneto appare libero da qualsiasi ingombro provocato da altre strutture o "artefatti aeroportuali" (come strade di accesso, aree di parcheggio, aree di discesa passeggeri, fermate degli autobus ecc.) e dunque ben visibile dal Viale Giovanni Luder, dove presenta la sua immagine unica di aeroporto più bucolico del mondo a chiunque vi giunga o ci passi accanto lungo il viadotto ferroviario regionale che costeggia il confine sudorientale del territorio aeroportuale. La vista di un vigneto produttivo, in funzione, che protegge un aeroporto moderno diventerà un elemento iconico per l'Aeroporto, la Città e la Regione.



Immagine 12 – Veduta dal lato sudorientale verso il Terminal coperto dal vigneto sul tetto.

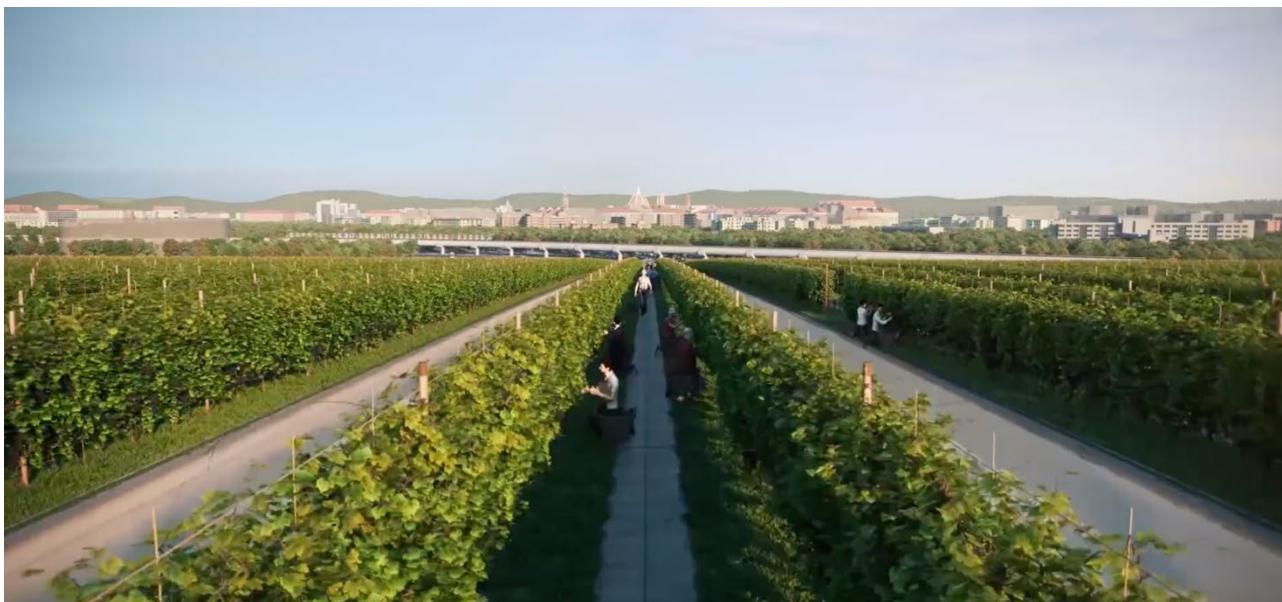


Immagine 13 – Veduta dal tetto verde dell'Aeroporto, verso sudest, con il centro cittadino e il Duomo del Brunelleschi in distanza, con lavoratori che vendemmiano.

Spostando tutti i punti di accesso passeggeri nella Piazza al di sotto del ponte, come descritto sopra, si consente che l'ingresso nel territorio aeroportuale da parte dei veicoli dei passeggeri in arrivo sia allineato con l'uscita dei veicoli dei passeggeri in partenza, sul lato nord, dove l'edificio incontra Viale Giovanni Luder, mentre l'ingresso dei veicoli dei passeggeri in partenza è allineato all'uscita dei veicoli dei passeggeri in arrivo, più di 250 metri a sud. Questa disposizione semplificata razionalizza i flussi di traffico, consentendo delle curve a raggio maggiore e mitiga potenziali colli di bottiglia durante i periodi di transito elevato.

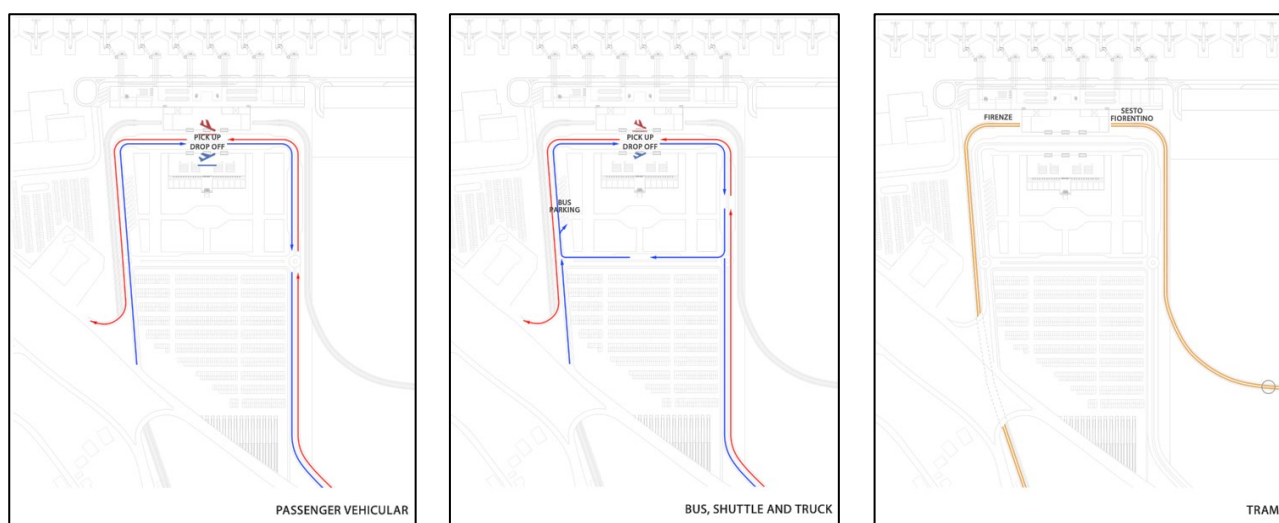


Immagine 14 – Le entrate congiunte dei Saloni di Arrivi e Partenze sulla "Piazza" permettono schemi di traffico semplificato e prossimità alle stazioni di servizio metrotranviario suburbano.

Queste strade aeroportuali a due direzioni si incrociano sotto la sezione del ponte dell'edificio, presso una "Piazza" più prominente, dove il Salone degli Arrivi è posto di fronte al Salone delle Partenze e vicino alle previste stazioni per il servizio ferroviario suburbano che collegheranno l'aeroporto al centro cittadino e a Sesto Fiorentino, consolidando il nuovo ruolo del Terminal come vero fulcro nevralgico intermodale di trasporto per il circondario, la città e la regione.

Il ponte sopra l'area di prelievo e discesa passeggeri conterrebbe negozi duty free, salotti VIP e altri servizi aeroportuali per collegare i punti preposti per i controlli di sicurezza con i gate nel Concourse delle Partenze. Al centro della campata del ponte, una grande apertura consentirebbe delle vedute dalla Piazza fino al lato inferiore del tetto e sul cielo sopra il lucernario.



Immagine 15 – Schizzo della "Piazza" proposta sotto il tetto a Vigneto di Rafael Viñoly.

Intorno al Salone delle Partenze, al piano terra, il nuovo schema ha riproposto l'idea di una significativa infrastruttura terrestre di vendita adiacente a una grande componente destinata a parcheggio. Il centro commerciale potrebbe servire sia gli utenti dell'aeroporto che quelli della comunità locale, indipendentemente dall'operatività dell'aeroporto.

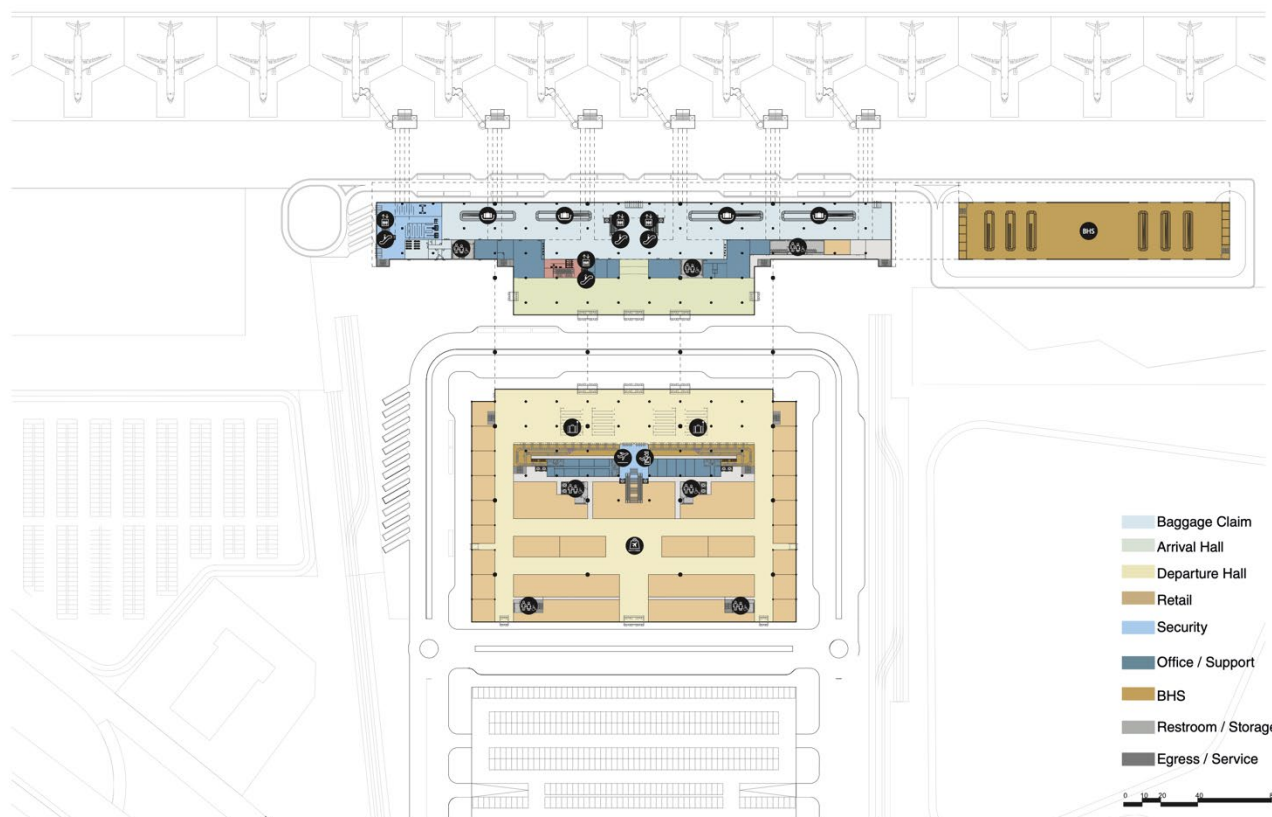


Immagine 16 – La disposizione dell'organizzazione del piano terra dove viene mostrato il ritiro bagagli e il Salone degli Arrivi di fronte al Salone delle Partenze, che è circondato dall'area vendite e adiacente alla zona di parcheggio.

Il tetto verde dello "Schema a Vigneto" è concepito come un piano monolitico che emerge gradualmente dal livello del terreno vicino alla strada di accesso, per coprire tutto quello che sta al centro del progetto e che si erge a un'altezza di 30,05 metri dove procede a sbalzo sopra e perpendicolarmente alla linea dei gate di imbarco oltre il Concourse delle Partenze, e si protende da entrambe le parti. Su di esso, doppie file di vitigni si alternano a lucernari paralleli che aprono la visuale al cielo e permettono alla luce naturale di inondare le aree chiuse e aperte sottostanti.



Immagine 17 – Il progetto del sito aeroportuale che mostra la copertura verde che sorvola i gate delle Partenze.

Mentre il sistema strutturale per queste "ali" esterne del Concourse delle Partenze è una semplice costruzione realizzata con travi, la struttura del tetto verde era inizialmente molto più complessa. La vigna, partendo dal punto della sua terminazione sudorientale, veniva inizialmente sostenuta direttamente da un terreno di riempimento in dolce pendenza, prima di trasformarsi rapidamente nel modulo strutturale principale basato su una griglia di 50 metri, man mano che acquisiva maggiore elevazione.

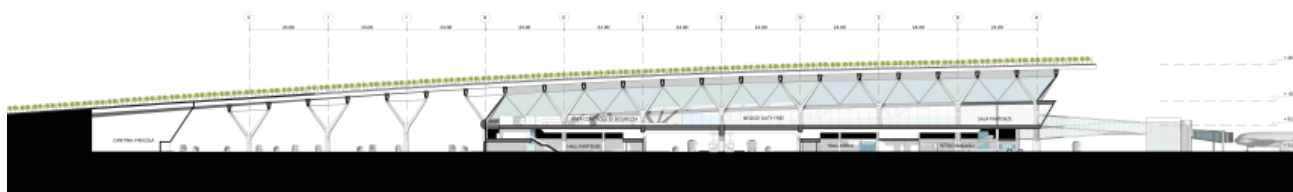


Immagine 18 – Sezione diagrammatica dell'edificio che mostra il tetto verde a vigna che emerge dal livello del terreno a sudest e procede a sbalzo sopra i gate dell'aeroporto.

In pianta, il tetto è composto da linee parallele di vigne accoppiate che si alternano con i lucernari. Il suolo su cui crescono le vigne è contenuto in travi "a canale" prefabbricate in calcestruzzo sostenute da un sistema di travi scatolari in acciaio e in strutture a piramide inversa sostenute da colonne di acciaio di scala

monumentale. Per gestire la sezione cangiante del tetto, la geometria delle piramidi inverse aveva una variabilità significativa man mano che il tetto diventava più alto.

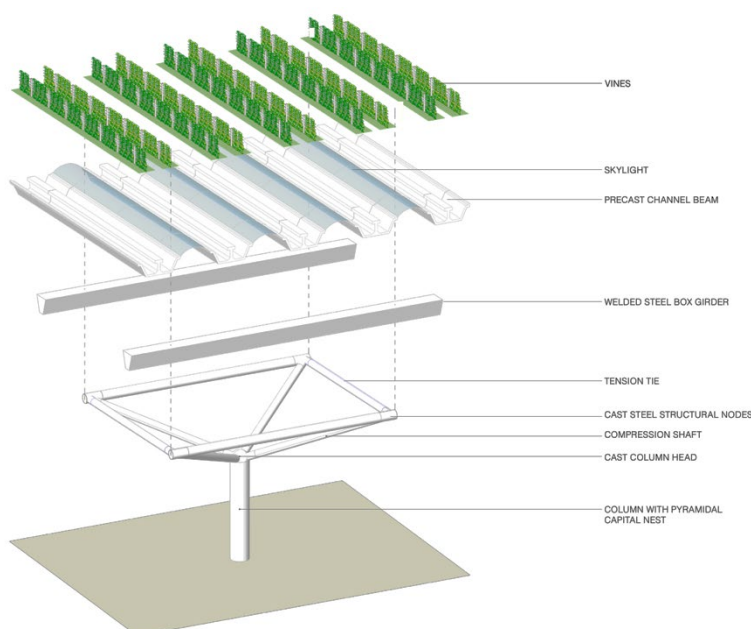


Immagine 19 – Diagramma esploso del modulo strutturale principale per il tetto verde.

Un sistema di vetratura standard in vetro e alluminio costruita in situ completava la chiusura dell'edificio del Terminal.

All'origine, si immaginava che la coltivazione dell'uva sarebbe avvenuta lungo l'intera superficie risultando in un'area produttiva totale di oltre 6 ettari di piante che avrebbero rifornito una "Cantina Vinicola" situata sotto la sezione più bassa del tetto, dove l'uva sarebbe stata trasformata in vino, invecchiato e imbottigliato da esperti artigiani locali.

4. Razionalizzazione del Progetto

Man mano che il processo di progettazione continuava, vari aspetti del progetto sono stati analizzati nel dettaglio e conseguentemente razionalizzati. Il team ha approfondito una conoscenza progressivamente dei requisiti viticoli, operazionali e di bilancio del progetto, per ridurre di oltre il 40% i costi previsti per l'edificio del Terminal. Una porzione significativa di questa riduzione è stata raggiunta consolidando le funzioni in programma, eliminando il complesso infrastrutturale terrestre di rivendita e riducendo il progetto generale e l'area edificata dell'edificio del Terminal.

4.1. Ottimizzazione del Layout

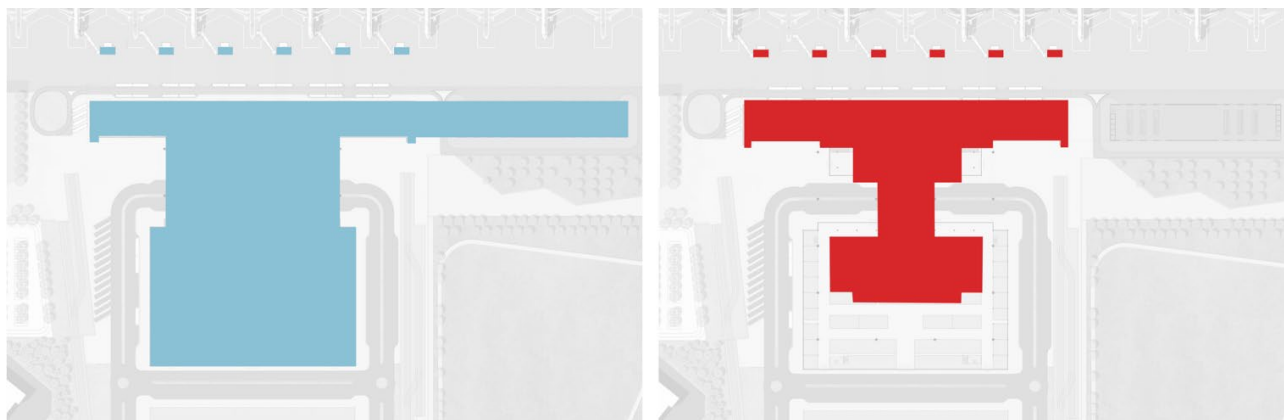


Immagine 20 – L'area dell'edificio nel 2019, di 53.022 m² (a sinistra) e l'area dell'edificio nel 2020, di 24.750 m² (a destra), privo di componente infrastrutturale terrestre di vendita, con un numero ridotto di gate e con area del concourse delle Partenze ridotta.

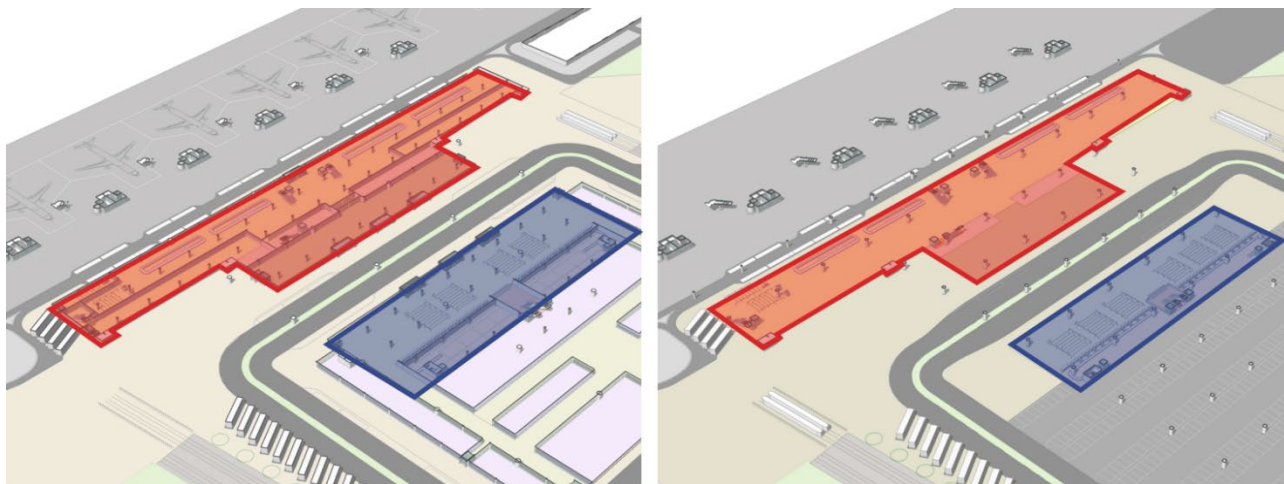


Immagine 21 – Area totale del piano terra nel 2019: 19.515 m² (a sinistra) e area totale del piano terra nel 2020: 18.220 m² (a destra). Si noti la rimozione delle aree di vendita, segnate in rosa, e l'aggiunta di area adibita a parcheggio.

L'evoluzione del modello di flusso dei passeggeri all'interno del terminal è stata inoltre la chiave per raggiungere questi rendimenti. L'azione principale a questo riguardo è stata quella di eliminare l'ampia apertura sulla "Piazza", per guidare i passeggeri in partenza lungo un semplice percorso dal punto del controllo di sicurezza situato sopra il Salone delle Partenze, attraverso un corridoio di vendita duty-free e verso il concourse delle Partenze e ai gate, dove l'ubicazione e la disposizione delle opzioni di servizio gastronomico hanno anch'esse subito diverse ottimizzazioni di progettazione.

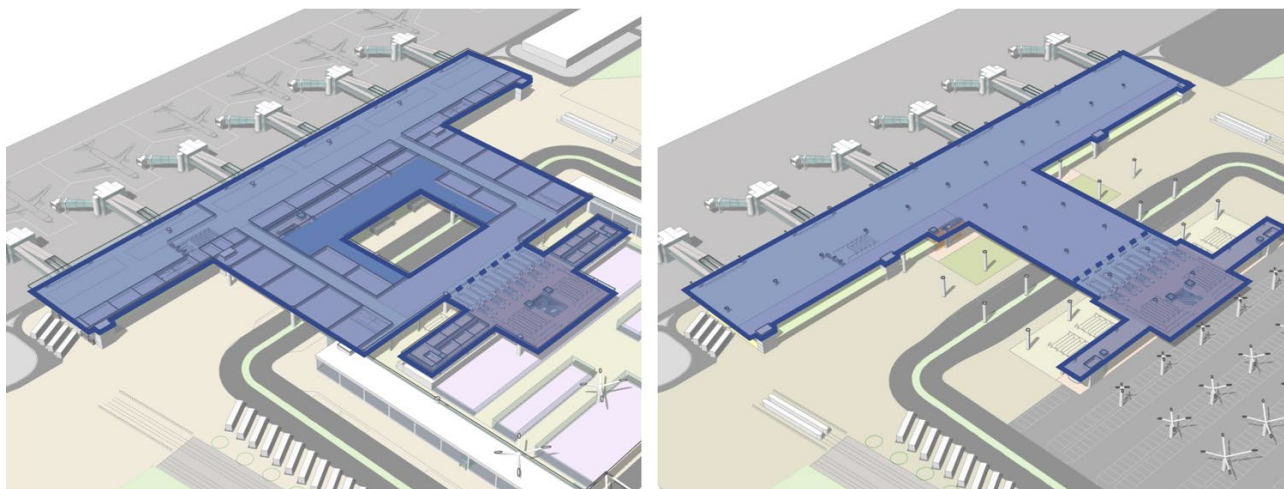


Immagine 22 – Area totale del livello Partenze nel 2019: 28.940 m² (a sinistra) e area totale del livello Partenze nel 2020: 21.255 m² (a destra).

Tra il 2021 e il 2022, la disposizione del livello Partenze è stata ulteriormente modificata. Il numero previsto di gate all'inaugurazione del terminal è stato ridotto da 6 a 4 e una nuova, sebbene ampiamente ridotta, apertura sopra la "Piazza" è stata introdotta in congiunzione a un sinuoso percorso attraverso i duty-free e i salotti VIP. Questa, a sua volta, è stata rapidamente ridotta in superficie, limitata dalla griglia di colonne e resa ortogonale per ridurre lo spreco dell'area organizzativa.

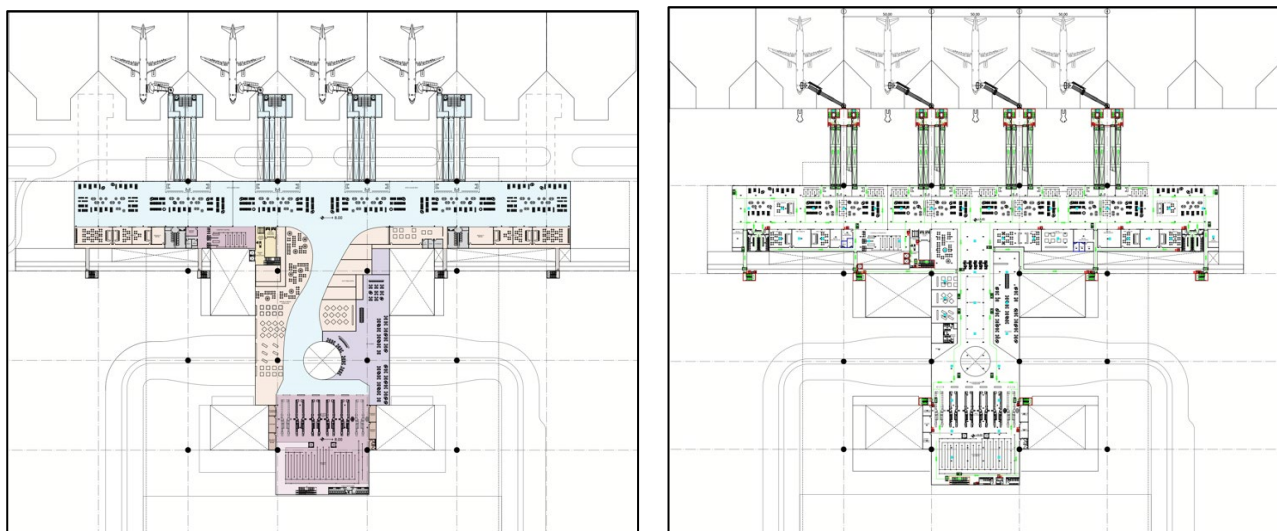


Immagine 23 – Il livello Partenze del 2021 con apertura ridotta sopra la "Piazza", sulla sinistra, e con un'ulteriore riduzione della superficie e con disposizione ortogonale, sulla destra.

Infine, L'apertura è stata rimossa dopo ulteriori modifiche che hanno causato anche una riduzione della campata della griglia di colonne, elemento che sarà discusso con maggior dettaglio in seguito.

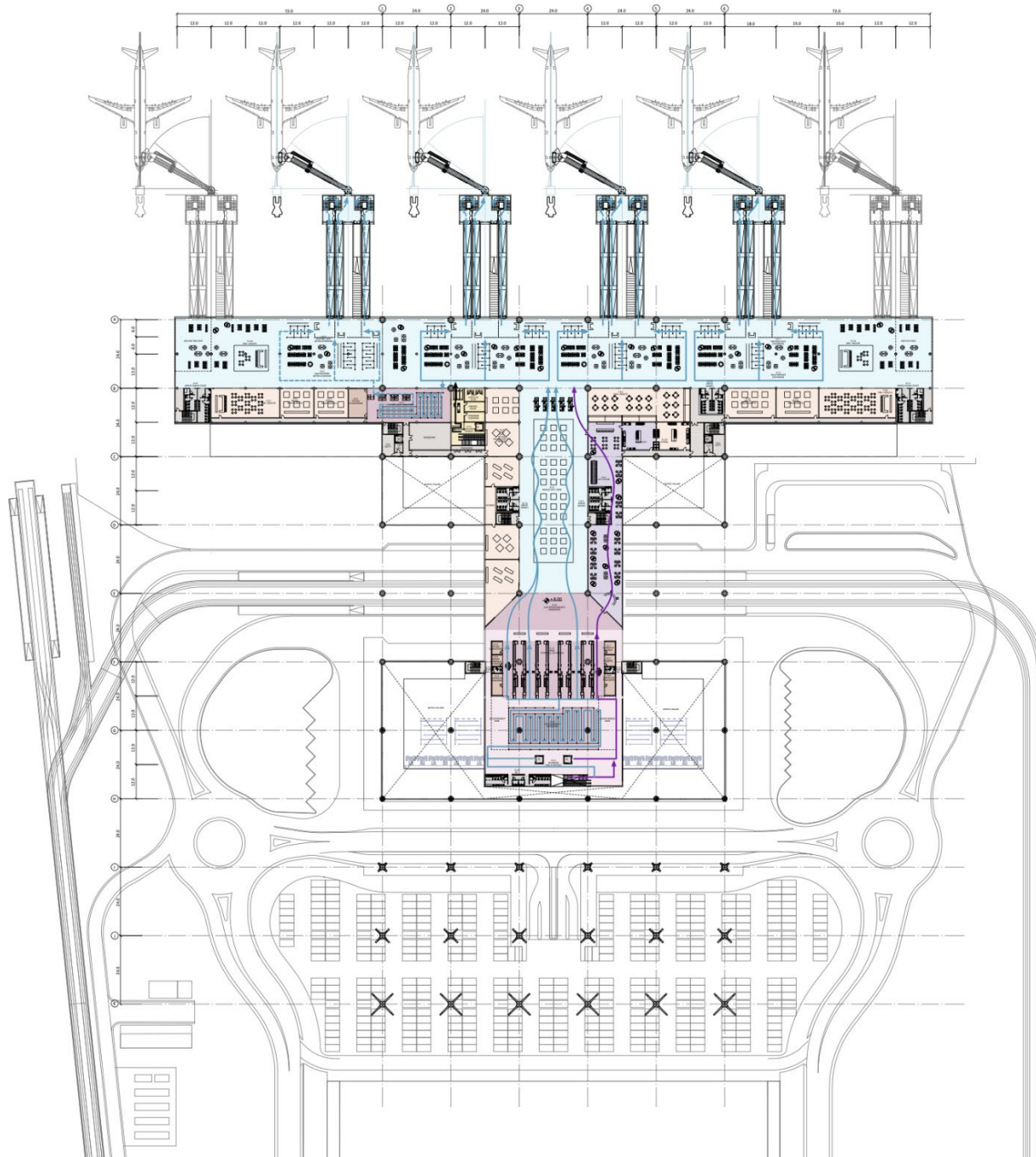


Immagine 24 – Disposizione finale del livello Partenze nel 2022. Si noti la griglia più piccola di colonne e i percorsi di accesso rivisti.

Man mano che l'edificio del Terminal si è evoluto attraverso il processo di progettazione, lo stesso è stato fatto per le linee stradali e ferroviarie che collegano gli elementi infrastrutturali essenziali con le comunità

che esse servono. Le linee tranviarie dapprima erano state considerate come non connesse e quindi sono state collocate su ciascun lato della "Piazza". In seguito, le autorità hanno stabilito che le linee devono essere connesse e pertanto realizzare un circuito attraverso la "Piazza" come fanno le carreggiate veicolari, oppure rimosse per permettere un adeguato accesso pedonale. Il team ha stimato di far passare la linea tranviaria tra le carreggiate, su ciascun lato della linea di colonne, e anche sul marciapiede dell'area di discesa passeggeri del Salone degli Arrivi. L'interazione del tram con carreggiate e pedoni ha tenuto in considerazione gli angoli di avvicinamento agli incroci, i raggi di curvatura ottimali di auto, autobus, camion e treni, ubicazioni di semafori, zone dedicate ai taxi e flussi attesi da, verso e attraverso l'aeroporto per sfruttare la capacità dello schema architeturale di distribuzione e differenziazione della discesa dei passeggeri, dei punti di accesso VIP, code taxi e prossimità alle uscite del Salone degli Arrivi, stazioni tranviarie e raccordi di manovra, zone di carico convenienti per NCC e autobus e attraversamenti pedonali. Generosamente disposto lungo i 360 gradi di perimetro della "Piazza", lo spazio facilita la navigazione intuitiva poiché tutti riescono a vedere, in ogni momento, la loro destinazione, che sia un taxi, un autobus, tram, NCC o macchina privata.

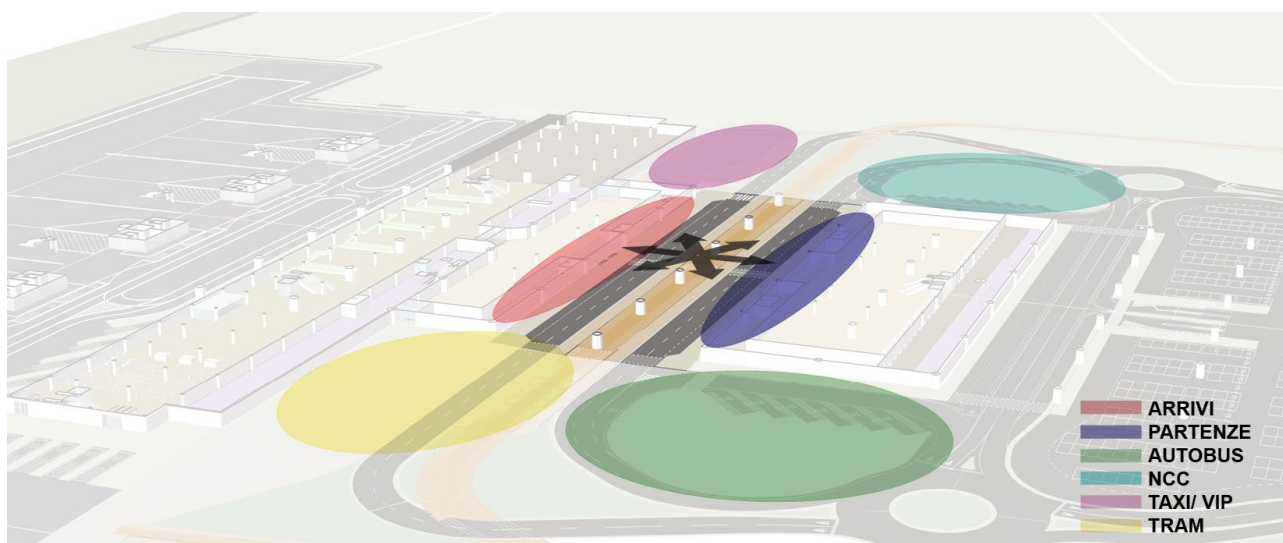


Immagine 25 – Zoning dei diversi settori della viabilità esterna per la divisione di flussi secondo tipologia di traffico.

4.2. Razionalizzazione della Struttura

Inizialmente, le travi prefabbricate contenenti il suolo in cima al sistema di chiusura erano dimensionate per avere una profondità di terreno di quasi 1,2 metri con un'ampiezza di 3,3 metri di lucernario tra le travi. Questo carico morto ha portato al dimensionamento del resto della struttura, ma era basato su delle assunzioni erranee. Si è stabilito, in base alle consultazioni con esperti agronomi, che una profondità del

suolo di 50 cm sarebbe sufficiente per una coltivazione sostenibile delle vigne, usando una varietà di rizoma locale conosciuta come P1103, che è anche meno intensiva dal punto di vista delle risorse, è più resistente alle malattie ed è più facile da mantenere. Questa importante riduzione del carico morto di quasi due terzi ha fatto sì che la struttura venisse considerevolmente alleggerita.

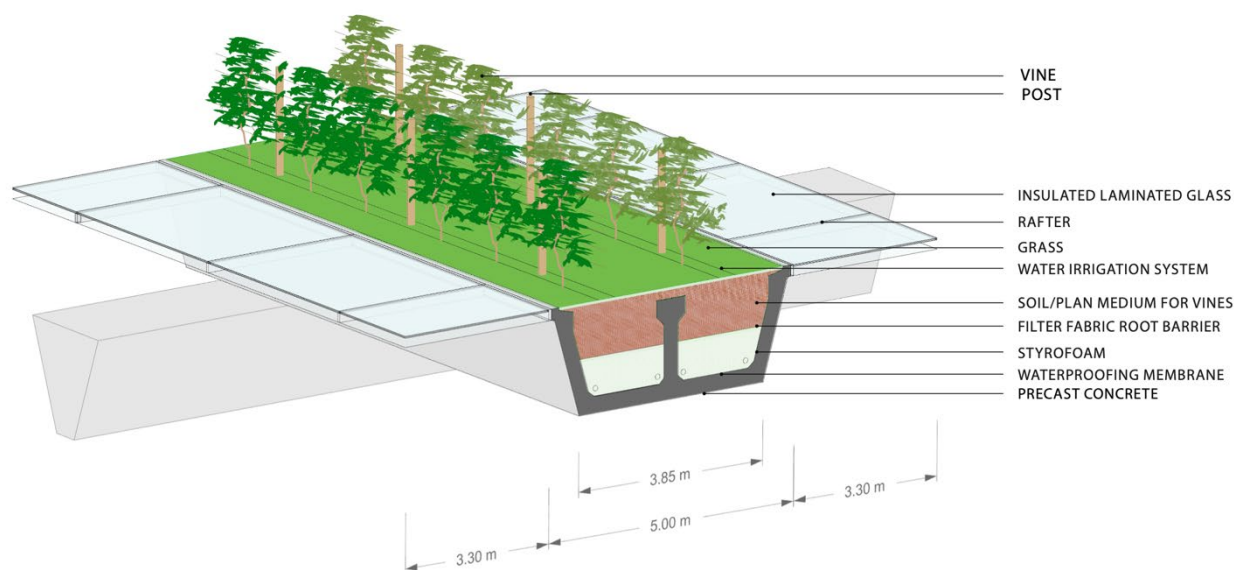


Immagine 26 – Dimensionamento della trave "a canale" originale con vigna e con lucernari di vetro.

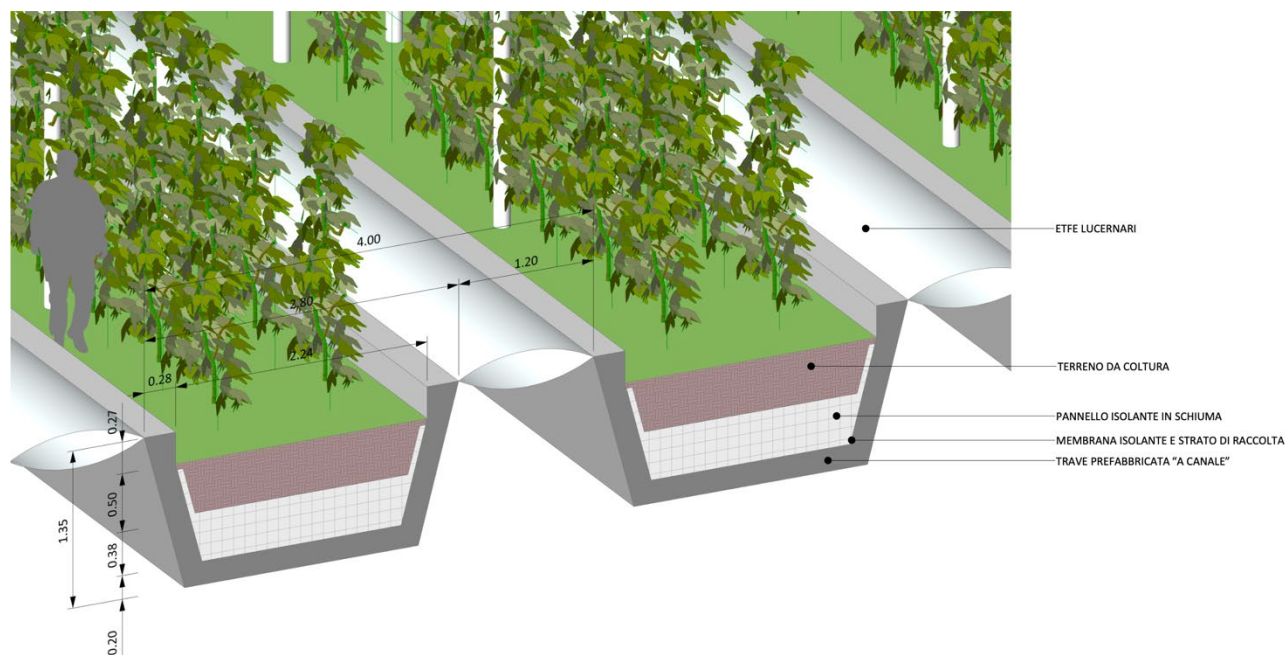


Immagine 27 – Dimensionamento aggiornato della trave e profilo semplificato. Si noti che i cuscini leggeri di ETFE sostituiscono il vetro del lucernario.

Una porzione significativa del tetto strutturale nella sua estensione più bassa, circa 130 metri in lunghezza totale, è stata eliminata a favore di un terrapieno espanso che fungerà anche da dissipatore di calore per il sistema HVAC sostenibile dell'edificio. Questa integrazione verrà discussa in dettaglio nella sezione successiva.

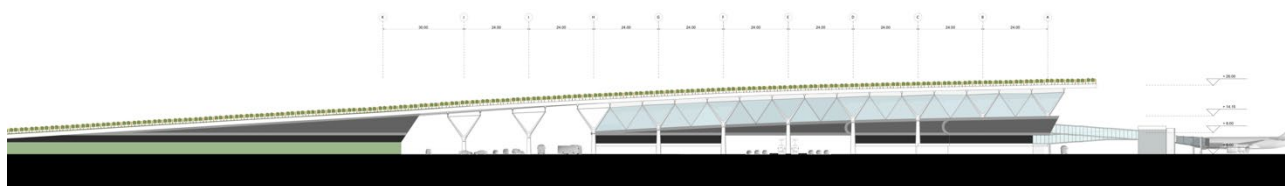


Immagine 28 – Il terrapieno esteso nell'estensione più bassa del tetto ha eliminato più di un terzo della struttura del tetto e gli "alberi" a piramide sopra la colonna sono stati tutti progettati per essere forme identiche.

Per ottimizzare ulteriormente la struttura del terminal e ottemperare alle restrizioni di altezza imposte dalle superfici di limitazione degli ostacoli della pista esistente, anche l'elevazione complessiva dell'edificio è stata analizzata. All'inizio del 2022, il progetto è stato modificato per permettere una riduzione dell'altezza complessiva fino ai 26,50 metri nel punto più alto del tetto verde che si estende sopra l'area di stazionamento. La notevole modifica ottempera alle restrizioni di elevazione richieste per garantire la superficie inclinata di transizione della pista. Inoltre, questa modifica ha permesso una soluzione più semplificata della facciata del muro perimetrale e una riduzione significativa della superficie vetrata nella parte più elevata a nord.

In risposta agli aumenti notevoli del costo del materiale grezzo incontrati dall'industria siderurgica negli ultimi due anni, il team ha deciso, inoltre, di basare il sistema strutturale su elementi prefabbricati di calcestruzzo usando una griglia strutturale di 24 metri anziché quella precedente, con 50 metri di campata. Per semplificare il processo di costruzione, gli "alberi" piramidali di acciaio sono stati standardizzati come una configurazione prefabbricata singola in calcestruzzo e la pendenza del tetto è stata adattata in modo che le travi a scatola potessero occupare gli spazi variabili tra le cime degli "alberi" e le travi "a canale".

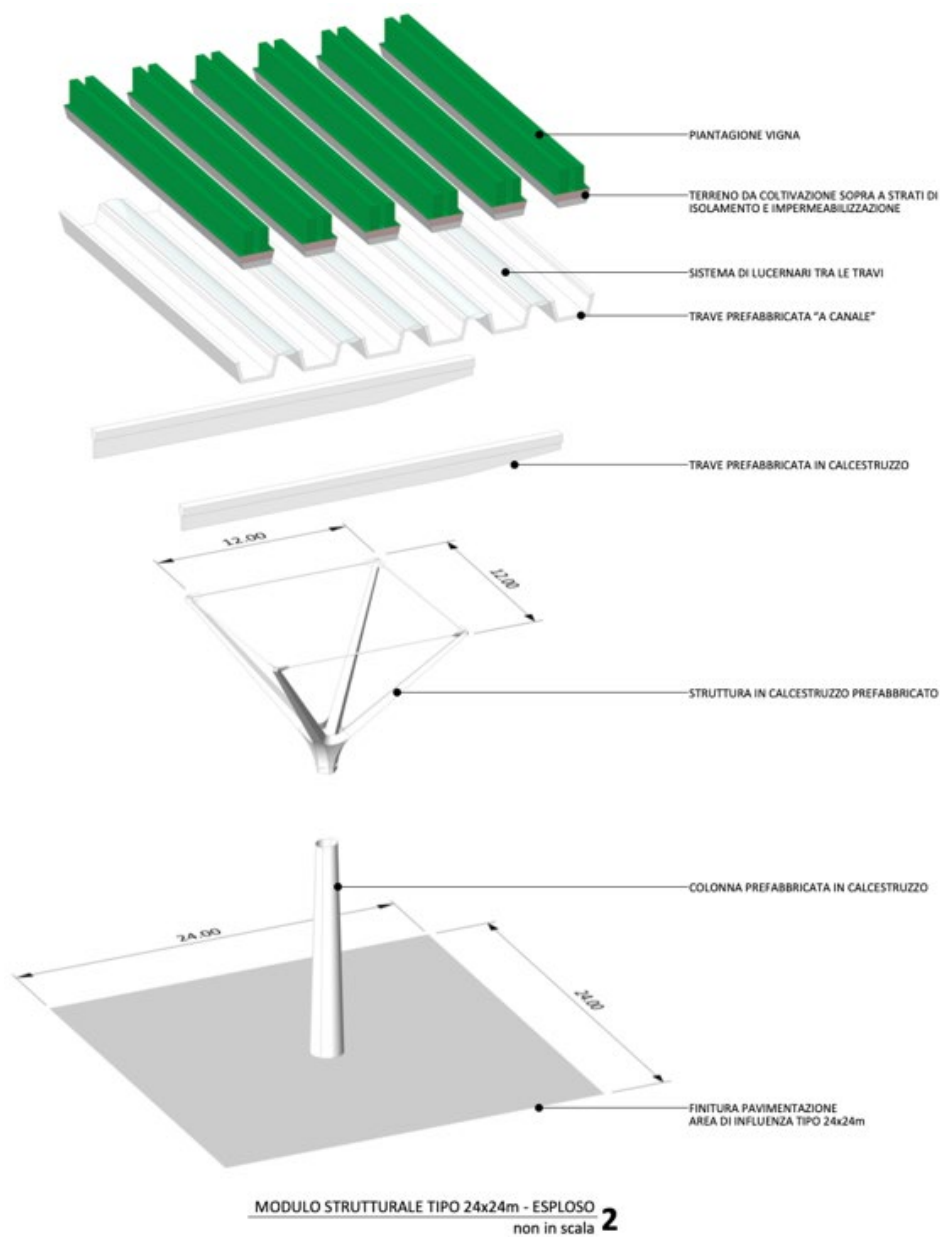


Immagine 29 - Modulo strutturale standardizzato del tetto verde realizzato al 100% in calcestruzzo prefabbricato.

Per semplificare la sequenza di innalzamento, per accorciare la costruzione e ridurre l'utilizzo di costose estrusioni di metallo, tutta la vetratura verticale del livello più alto, che è almeno un livello sopra le zone abitabili dell'edificio del Terminal, è stata sostituita da un sistema leggero di cuscini ETFE che si adattano facilmente all'attuale geometria standard del sistema strutturale e contribuiscono alla prestazione ambientale complessiva dell'edificio.

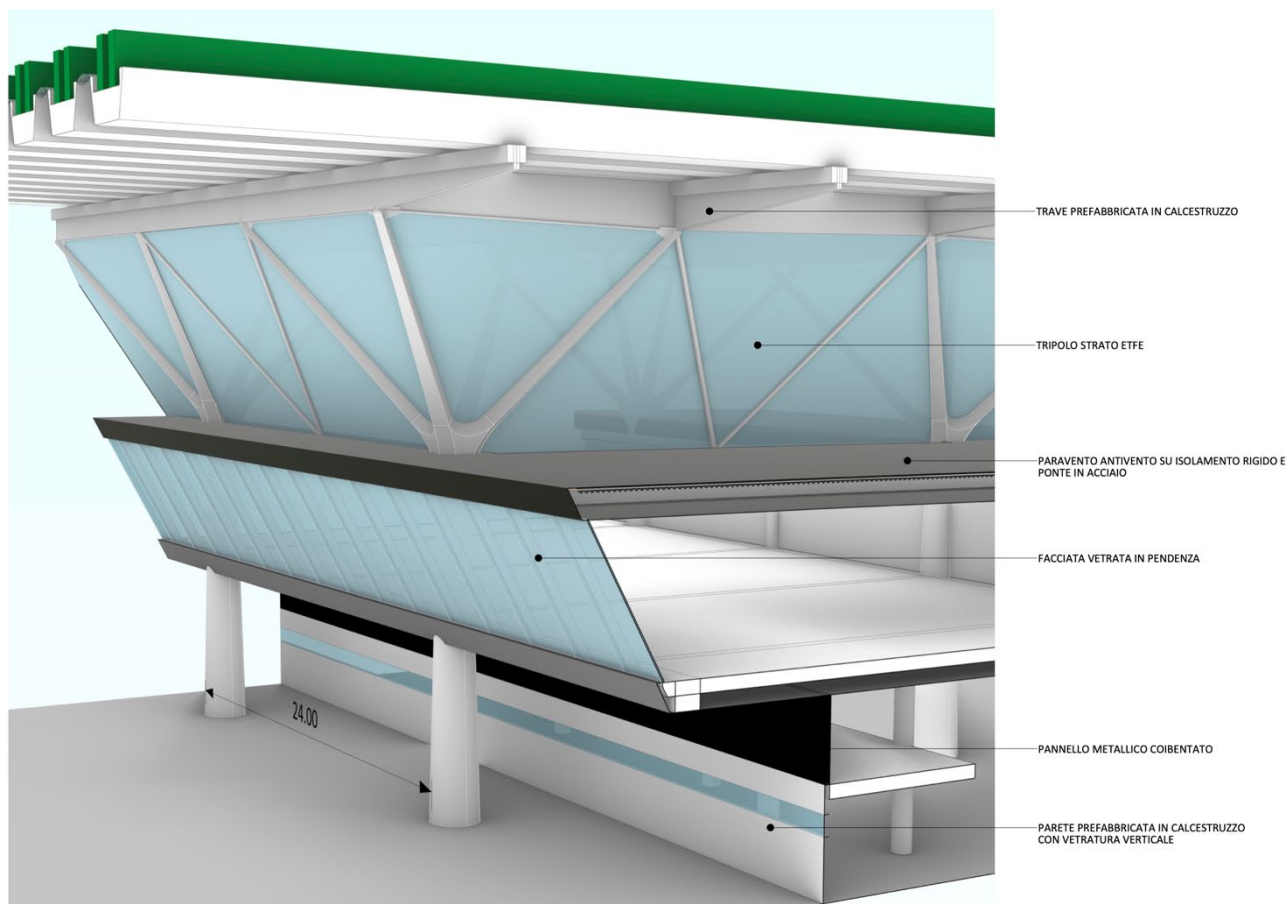


Immagine 30 – Un sistema ibrido di chiusura che presenta estrusioni in alluminio costruite in situ con unità di vetratura a triplice isolamento al livello delle zone abitabili dell'edificio e cuscini di ETFE per gli spazi grandi superiori.

L'operazione di produzione del vino in situ è inoltre stata analizzata tramite una serie di consultazioni con i produttori vinicoli di tutto il mondo. Queste discussioni hanno informato il team che un'operazione commerciale sostenibile può essere facilmente basata su una superficie agricola di 2 ettari, anziché sulla coltivazione di 6 ettari che era stata prevista nel concept originale. Per questo motivo, il team ha deciso di limitare l'estensione delle viti con frutti solo all'area sul terrapieno che confina con Viale Giovanni Luder,

mantenendo solo il rizoma e le viti senza frutto sul tetto strutturale. Questo ottempererà alle restrizioni delle operazioni aeroportuali contro le incursioni di oggetti estranei, minimizzerà le attività di manutenzione e il consumo di risorse sulle aree del tetto verde che sono più difficili da raggiungere, al contempo distanziando i frutti in crescita dalle possibili influenze avverse dei fumi creati dalle operazioni di rifornimento dell'aeroporto, che i produttori consultati hanno ritenuto essere un problema minimo, data la considerevole lontananza dei frutti dall'asfalto della zona airside, distante più di 500 metri. In ogni caso, i venti prevalenti sull'aeroporto provengono da est e spingeranno eventuali fumi emessi lontano dal vigneto, che essendo all'altezza visiva dei passeggeri, dei visitatori e dei passanti che giungono all'aeroporto, sarà visualmente indistinto dal resto del tetto verde che è certo diventerà un'icona per la Città e la Regione.

5. Sistemi Ambientali Alternativi e Misure di Sostenibilità

Seguendo le indicazioni previste *dal Ministero delle Infrastrutture e della mobilità sostenibile*, oltre alle macro-alternative progettuali inerenti alle tipologie ed alla localizzazione dell'intervento, sono state considerate ed analizzate le alternative progettuali per gli approvvigionamenti principali.

Nello specifico, sono state affrontate le seguenti comparazioni:

- alternative di approvvigionamento dell'energia termo-frigorifera;
- alternative di approvvigionamento idrico;
- alternative di approvvigionamento dell'energia elettrica.

6. Approvvigionamento dell'Energia Termo-frigorifera

Per raggiungere gli obiettivi indicati nel Quadro esigenziale, in particolare per ottenere soluzioni atte ad abbattere consumi, ridurre la Carbon Footprint del terminal e garantire un'alta efficienza, la scelta in merito alla filosofia impiantistica da adottare per la produzione di calore risulta determinante.

Per tale ragione è stato intrapreso un percorso volto ad una ponderata valutazione di varie alternative possibili in funzione del contesto territoriale in cui si inserisce il nuovo Terminal nonché delle tecnologie disponibili per l'approvvigionamento energetico.

La scelta dei vettori energetici primari per il soddisfacimento dei fabbisogni di energia termo-frigorifera del nuovo Terminal scaturisce quindi da una indagine approfondita nella quale sono state valutate soluzioni e tecnologie diverse partendo dal presupposto che in un'ottica di neutralità carbonica (*carbon neutrality*) l'utilizzo di combustibili fossili sia da escludere a priori.

Per contro, l'impiego dell'idrogeno molecolare (H_2) come vettore energetico sta assumendo spazi di importanza crescenti nel nuovo panorama energetico che si sta configurando a seguito della pandemia e della guerra russo-ucraina.

Con la pubblicazione della strategia sull'idrogeno da parte della Commissione Europea (CE) nel 2020, la produzione sostenibile di H_2 è diventata una priorità di investimento all'interno del piano Next Generation Europe. Di conseguenza l'Italia ha recentemente predisposto un Piano Nazionale per la Ripresa e la Resilienza (PNRR), in cui vengono stanziati 3,2 miliardi di euro per la ricerca, la sperimentazione, la produzione e l'utilizzo di H_2 .

Quindi Il governo italiano assegna all'idrogeno un ruolo importante nei piani di transizione ecologica, e ha fissato obiettivi ambiziosi per lo sviluppo e l'applicazione di questo vettore energetico entro il 2030.

L'idrogeno molecolare è attualmente prodotto su larga scala, ma utilizzato principalmente per la sintesi dell'ammoniaca necessaria per i fertilizzanti, nei processi di raffinazione del petrolio e per la sintesi del metanolo. È derivato dal gas naturale e l'energia necessaria per produrlo proviene dai combustibili fossili. Questo idrogeno è chiamato grigio o marrone. Ricercatori, aziende e governi si stanno ora concentrando sull'unica opzione che porta a zero emissioni di CO_2 , cioè l'idrogeno verde. In questo caso la materia prima è l'acqua dolce, che viene scissa in idrogeno e ossigeno per mezzo di elettrolizzatori alimentati da elettricità ottenuta da fonti rinnovabili. Attualmente, il prezzo dell'idrogeno verde è almeno tre volte più alto della sua controparte grigia, e la tecnologia degli elettrolizzatori non è sufficientemente sviluppata per produrre milioni di tonnellate di H_2 l'anno.

Si prevede che l'idrogeno verde diventerà competitivo sul mercato in circa un decennio, ma anche in questo scenario sarà importante valutare quanta elettricità, superfici ed acqua richiederà la sua produzione.

Su questo argomento giova citare il caso della Società di gestione dell'aeroporto di Torino Caselle (Sagat) che sta implementando un impianto di cogenerazione basato su celle a combustibile ad ossidi solidi; in prospettiva sarà destinato, auspicabilmente, ad essere alimentato ad idrogeno ma nella fase di start-up sarà probabilmente utilizzato con gas naturale o con un blending di gas naturale e biometano.

In definitiva le soluzioni basate sull'utilizzo dell'idrogeno scontano una bassa maturità e solidità della filiera produttiva e distributiva e non sono state ritenute percorribili anche per gli ingenti costi realizzativi.

La realizzazione di un cogeneratore a biometano o biomassa, per quanto perfettamente in linea con l'immagine e la vocazione eno-agricola dell'infrastruttura, pone diversi interrogativi ed elementi critici:

- disponibilità di biocombustibile;
- filiera corta;
- autorizzazioni ambientali;
- impatto sociale.

Il biometano è un gas composto principalmente da metano ottenuto dalla purificazione (*upgrading*) del biogas prodotto da fonti energetiche rinnovabili e può essere utilizzato come combustibile sostitutivo del gas naturale. Il biometano può essere anche immesso nella rete del gas naturale oppure trasportato come gas compresso o liquefatto e utilizzato per riscaldamento, usi domestici, cogenerazione o altri impieghi nell'industria e per l'autotrazione.

Il biometano è un vettore energetico individuato come strategico anche nell'ambito PNRR per consentire il graduale passaggio da una economia basata sui carburanti fossili ad una de-carbonizzata e più sostenibile. Contiene almeno il 95% di metano e deriva dal biogas prodotto dalla digestione anaerobica di biomasse in ambiente controllato o in discarica, in seguito alla decomposizione dei rifiuti o dal gas derivante dalla gassificazione delle biomasse.

Tuttavia nel territorio circostante il nuovo Terminal non esistono realtà strutturate di aziende agricole, zootecniche o di altro tipo con le quali poter ipotizzare soluzioni sinergiche di utilizzo dei cascami organici per la produzione di biogas e quindi biometano.

Una ulteriore ipotesi presa in considerazione, in questo caso correlata all'utilizzo di biomassa legnosa, prende spunto dalla pubblicazione *"Analisi della filiera foresta-legno in una prospettiva di (bio)economia circolare: il caso studio della foresta di Monte Morello"* [Paletto et al. - Italian Journal of Forest and Mountain Environment - 2018] in cui si valutano le potenzialità produttive di cippato di legna provenienti dai boschi di Monte Morello per l'alimentazione dell'esistente impianto di cogenerazione di Biogenera S.r.l. a Calenzano che attualmente utilizza biomassa (tagli boschivi e residui derivanti da potature di origine agricola) proveniente da territori situati entro un raggio di 70 km, perseguendo il duplice obiettivo di comprimere la filiera e promuovere la valorizzazione e la tutela della montagna.

A nostro giudizio, l'idea di un impianto di cogenerazione/tri-generazione alimentato dalle biomasse provenienti da Monte Morello e dalle aree agricole circostanti l'aeroporto, per quanto di indubbia attrazione e conferma di un forte radicamento dell'infrastruttura al territorio, non appare tuttavia di semplice ed immediata fattibilità tecnico-economica a fronte di una filiera agro-forestale a tutt'oggi non sviluppata.

I temi della garanzia della continuità di approvvigionamento e della filiera corta sono ovviamente da valutare con estrema attenzione in un orizzonte temporale congruo per non incorrere nel rischio di dover sostenere oneri di trasporto eccessivi ed al tempo stesso vanificare gli obiettivi ambientali con le emissioni correlate al trasporto.

Nella situazione attuale il vettore energetico che si ritiene maggiormente affidabile in termini di disponibilità e garanzia di continuità è quello elettrico.

Le soluzioni tecnologiche adottate per il soddisfacimento dei fabbisogni di energia termo-frigorifera del nuovo Terminal sono pertanto basate sull'utilizzo di energia elettrica, in parte prelevata dalla rete elettrica nazionale ed in parte autoprodotta con impianti solari fotovoltaici.

La produzione di energia termo-frigorifera per le esigenze di climatizzazione ambientale estiva ed invernale è dunque basata sull'utilizzo di pompe di calore elettriche ad alta efficienza energetica.

Sono stati in tale senso valutate le seguenti alternative.

6.1. Pompe di calore idrotermiche

La presenza di acqua di falda nel suolo di Peretola offre l'opportunità di valutare possibili soluzioni impiantistiche basate su pompe di calore che utilizzano come sorgente termica l'acqua direttamente emunta dai pozzi.

Si tratta di sistemi a circuito aperto in cui l'acqua viene prelevata da pozzi di emungimento e, successivamente allo scambio termico all'interno della pompa di calore, reimpressa in falda attraverso idonei pozzi di re-immissione.

Un sistema di questo tipo espone tuttavia gli scambiatori delle pompe di calore a sporcamento e deterioramento delle superfici di scambio termico per la presenza di particelle e minerali nel terreno che progressivamente riducono il trasferimento di calore e possono generare azioni corrosive.

6.2. Pompe di calore aerotermiche

Le pompe di calore aerotermiche utilizzano l'aria esterna come sorgente termica per il trasferimento di calore.

La valenza estetica della copertura verde del nuovo Terminal non consente ovviamente l'installazione di queste unità e parimenti l'ubicazione a terra in aree limitrofe all'edificio imporrebbe la necessità di adottare idonee schermature per limitare l'impatto paesaggistico.

Il vero e più importante limite di queste soluzioni è tuttavia legato alla performance energetica, nettamente inferiore rispetto alle soluzioni idrotermiche e geotermiche in quanto lo scambio termico risente negativamente delle variazioni stagionali di temperatura dell'aria esterna.

6.3. Pompe di calore geotermiche

Le pompe di calore geotermiche a circuito chiuso trasferiscono il calore al suolo nei mesi di raffreddamento e recuperano il calore dal suolo nei mesi di riscaldamento attraverso idonei scambiatori di calore noti come "sonde geotermiche".

Questa soluzione a circuito chiuso non espone le superfici di scambio termico delle pompe di calore allo sporco e al deterioramento delle superfici di scambio termico. Il corretto funzionamento di un impianto geotermico a bassa entalpia richiede un attento dimensionamento dello scambiatore geotermico ed una verifica del bilancio annuale del calore scambiato col terreno, al fine di evitare fenomeni di saturazione termica.

Inoltre la sostanziale invarianza termica stagionale del suolo a profondità superiori a 8 ÷ 10 metri dal piano di campagna consente a queste unità di garantire elevate prestazioni energetiche in tutto il periodo annuale di funzionamento.

La scelta finale è quindi ricaduta su un impianto geotermico a bassa entalpia in cui pompe di calore geotermiche alimentate elettricamente consentono di immagazzinare nel suolo il calore prelevato dall'edificio nei mesi di raffreddamento per il successivo recupero nei mesi di riscaldamento invernale (*Underground Thermal Energy Storage*).

7. Approvvigionamento Idrico

Il tema dell'approvvigionamento idrico è un elemento cruciale per il buon funzionamento di una moderna aerostazione dovendo includere varie esigenze quali:

- Disponibilità;
- Affidabilità;
- Qualità;
- Economicità.

Assieme ai consumi energetici, quelli idrici contribuiscono infatti a caratterizzare la classificazione ambientale di un edificio ovvero il modo in cui vengono più o meno virtuosamente utilizzate le risorse esterne.

Se si considera, sulla base dei dati di letteratura aeroportuale, un consumo medio per passeggero pari a 15÷20 litri si ricava che il nuovo Terminal di Firenze dovrà garantire un approvvigionamento giornaliero di acqua per uso umano fino a 200 m³ al giorno.

A questi consumi dovranno essere sommati quelli legati agli usi tecnologici, prevalentemente correlati al reintegro delle torri evaporative, ed all'uso irriguo per le estese aree verdi che caratterizzano il nuovo Terminal.

Inoltre la rete idraulica aeroportuale dovrà essere dimensionata per garantire il riempimento delle cisterne di bordo degli aeromobili.

In ragione degli importanti consumi idrici stimati e nell'ottica di ridurre la quantità di approvvigionamenti esterni, sono state valutate soluzioni che consentono di integrare e quindi ridurre l'adduzione principale di acqua potabile dalla rete acquedottistica municipale.

In questo senso giova ricordare che l'area della Piana è caratterizzata da condizioni lacustri e palustri in cui il livello freatico è situato a pochi metri di profondità.

La soluzione progettuale che si intende sviluppare prevede pertanto la realizzazione di un certo numero di pozzi per l'emungimento di acqua dal sottosuolo destinata al risciacquamento delle cassette dei vasi igienici e degli orinatoi, agli usi tecnologici e all'uso irriguo.

Si consideri che l'acqua destinata al risciacquamento dei vasi e degli orinatoi rappresenta una quota assolutamente prevalente dei consumi in funzione del tipo di servizio che il passeggero effettua, dunque

l'utilizzo di acqua di pozzo in luogo di acqua potabile permetterà un sostanziale abbattimento dei consumi e dei costi di esercizio.

Naturalmente si dovrà provvedere, propedeuticamente ai successivi sviluppi progettuali, ad una analisi chimico-fisica dell'acqua emunta per determinarne le caratteristiche e valutarne i trattamenti più opportuni.

Il progetto prevede inoltre la captazione e lo stoccaggio per il successivo riutilizzo dell'acqua meteorica dalla copertura verde del nuovo Terminal. L'acqua meteorica raccolta confluirà nello stesso sistema di accumulo dell'acqua di pozzo ed avrà precedenza, fino a che sarà disponibile, ai fini irrigui e di risciacquamento sanitario.

Con questa architettura del sistema di approvvigionamento idrico, i consumi di acqua potabile saranno essenzialmente ridotti all'alimentazione dei lavabi fatta eccezione della situazione di emergenza o di indisponibilità delle altre alimentazioni. Anche per i lavabi si adotteranno sistemi volti a ridurre gli sprechi d'acqua attraverso il controllo temporizzato dell'erogazione con fotocellule e l'utilizzo di regolatori di portata ed aeratori frangigetto.

8. Approvvigionamento di Energia Elettrica

Al fine di garantire la massima efficienza e continuità di servizio, aspetto fondamentale e basilare per un sistema aeroportuale è quello di un affidabile ed efficiente sistema di approvvigionamento dell'energia elettrica.

Anche su questo aspetto sono stati effettuati approfondimenti specifici per valutare possibili alternative progettuali, a partire da impianti di cogenerazione di varie tecnologie fatta eccezione per le soluzioni basate su alimentazione a combustibile fossile per i sopra richiamati motivi.

Tuttavia, come già descritto nel precedente paragrafo 6, le varie alternative di impianti cogenerativi ad idrogeno, biometano o biomassa presi in considerazione sono state accantonate e non ritenute percorribili per diversi motivi.

L'energia elettrica destinata a costituire la fonte di approvvigionamento energetica principale per il nuovo Terminal di Firenze sarà dunque derivata dalla rete elettrica nazionale.

Un impianto solare fotovoltaico della potenza di picco pari a 1.500 kW connesso alla rete elettrica nazionale in MT contribuirà alla copertura dei fabbisogni destinando, prevalentemente all'autoconsumo, l'energia elettrica prodotta.

L'architettura del sistema di fornitura e distribuzione dell'energia elettrica sarà improntato sull'esigenza di garantire la massima continuità di servizio ed affidabilità del sistema.

Per tale ragione, previo accordo con l'ente distributore, l'aeroporto avrà due punti di connessione e fornitura dell'energia elettrica in MT provenienti da due distinte Cabine Primarie a garanzia di maggiore ridondanza.

Dai due punti di fornitura si svilupperà l'anello interno di MT che collegherà in entra-esce tutte le cabine utente MT/bt secondo una configurazione ad anello aperto.

Tale configurazione di rete permette la continuità di servizio anche in caso di guasto su una linea di media tensione ma, al fine del funzionamento dei sistemi di gestione dell'anello di media, dovrà essere implementato un sistema di controllo centralizzato per l'apertura e chiusura degli interruttori di protezione.

Per garantire continuità di servizio anche nell'improbabile caso di avaria generale del sistema elettrico nazionale, il nuovo Terminal sarà provvisto di un sistema di generatori elettrici a gasolio di alta potenza collegati in MT a totale copertura delle utenze aeroportuali.