

# AEROPORTO LEONARDO DA VINCI DI FIUMICINO - ROMA

## Progetto di completamento Fiumicino Sud



### Procedura di Verifica di ottemperanza al Decreto n° 236/13 Fase Stralcio Secondo

#### Progetto 19 - Sistema Aerostazioni Area-Est

Opere di Completamento delle Infrastrutture Landside e Airside del Sottosistema Lato Est:  
Lotto 2 Stralcio 3 - ET1: Ampliamento ad Ovest del T1

## ENERGETICA

### MODELLAZIONE ENERGETICA IN REGIME DINAMICO DEGLI EDIFICI

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO  
Ing. Federica Amoriggi  
Ord. Ingg. ROMA n. 25738

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  
Ing. Federica Amoriggi  
Ord. Ingg. ROMA n. 25738  
CAPO PROGETTO

IL DIRETTORE TECNICO S.p.A.  
Spea Engineering S.p.A.  
Direttore Tecnico  
Arch. Maurizio Martignago  
Ord. Arch. ROMA n. 9951  
PROGETTAZIONE E D.L.  
INFRASTRUTTURE AEROPORTUALI

#### CODICE IDENTIFICATIVO

RIFERIMENTO PROGETTO				RIFERIMENTO DIRETTORIO						RIFERIMENTO ELABORATO				Ordinatore:
Codice Commessa	Lotto	Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	WBS Tipologia	WBS progressivo	PARTE D'OPERA	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.		
0A783T	15			DG	GE				R	GEN	0012	0	SCALA: -	



RESPONSABILE DIVISIONE  
PROGETTAZIONE E DIREZIONE  
LAVORI INFRASTRUTTURE  
AEROPORTUALI:  
Arch. Maurizio Martignago

RESPONSABILE UNITA'  
PROGETTAZIONE INFRASTRUTTURE  
DI VOLO  
Ing. Luca Di Giampetro

SUPPORTO SPECIALISTICO:  
-

REVISIONE

n.	data
0	SETTEMBRE 2018
1	
2	
3	
4	

REDATTO:

VERIFICATO:

Visto del Committente: **Aeroporti di Roma S.p.A.**

RIFERIMENTI COMMITTENTE:  
rif. WBS: DSA.011/14.A8 | rif. Incarico: 9/6/2016 U0012640

IL RESPONSABILE DELL'INIZIATIVA

Ing. Giorgio Gregori  
DIREZIONE SVILUPPO  
INFRASTRUTTURE

IL RESPONSABILE UNICO  
DEL PROCEDIMENTO

-

IL POST HOLDER

PROGETTAZIONE INFRASTRUTTURE E SISTEMI  
Ing. Paolo Cambula



## 1. Executive summary

La presente relazione è finalizzata a fornire gli elementi necessari alla verifica di ottemperanza alla prescrizione A.19 del Decreto VIA n. 236/2013 relativo al Progetto di completamento di “Fiumicino Sud” dell’aeroporto Leonardo da Vinci di Fiumicino. La prescrizione identificata al punto A19 del sopracitato Decreto CVIA 236/2013 testualmente riporta:

*“Considerato il profilo temporale del progetto, si richiede che, per le nuove costruzioni e/o ristrutturazioni rilevanti dei terminal aeroportuali, in fase di progettazione esecutiva si prevedano interventi finalizzati al contenimento del consumo energetico degli edifici, in un’ottica di edifici a energia quasi zero, come previsto nella Direttiva 2010/31/UE; a tal fine dovrà essere presentata al MATTM prima dell’inizio dei lavori una specifica relazione contenente le soluzioni tecniche allo scopo adottate.”*

Al fine di fornire gli elementi necessari alla verifica di ottemperanza alla prescrizione A19 della Commissione VIA relativa alle indicazioni di contenimento dei fabbisogni energetici dei nuovi edifici previsti nell’intervento di Ampliamento ad Ovest del Terminal T1, nell’ottica degli edifici ad energia quasi zero (nZEB), si presenteranno in questa relazione tecnica le principali soluzioni tecnologiche adottate e si rappresenteranno i fabbisogni energetici stimati in base a simulazioni sia in regime statico (UNI 11300) sia in regime dinamico dell’edificio (con l’ausilio del codice di calcolo statunitense Energy Plus – DOE – e dell’interfaccia grafica Design Builder).

Gli interventi inclusi nel Lotto 2 del Sistema Aerostazioni lato Est dell’aeroporto di Fiumicino riguardano i seguenti edifici:

### STRALCIO 3 (ET1)

- Estensione terminal 1 (ET1)
  - Livello interrato (area impianto bagagli)
  - Livello +1,72 (piano terra incluso centrali tecnologiche poste nell’AIC)
  - Livello +6.55 (piano primo)
  - Livello +11.04 (piano mezzanino)
  - Copertura

### STRALCIO 4 (NID e AIC)

- Area di imbarco C (AIC)
  - Livello +1,72 (piano terra escluso centrali tecnologiche)
  - Livello +6.55 (piano primo)
  - Copertura
- Nodo radice imbarco D (NID)
  - Livello +1,72 (piano terra)
  - Livello +6.55 (piano primo)
  - Copertura

La prescrizione A19 indica la necessità di prevedere in fase progettuale la realizzazione di interventi finalizzati al contenimento dei consumi di energia nell’ottica degli edifici ad energia quasi zero. Nella presente relazione tecnica – elaborata per il complesso delle opere dello STRALCIO 3 e STRALCIO 4 – si

illustra come, considerati tutti i vincoli aeroportuali, gli edifici in oggetto rappresentino la miglior soluzione in termini di contenimento dei fabbisogni energetici realizzabile con le tecnologie attualmente disponibili. Si evidenzia che, mentre la definizione generale di edificio ad energia quasi zero qui considerata è data dalla Direttiva 2010/31/UE - recepita in Italia dalla L. 90/2013 - al momento della progettazione dell'edificio in oggetto e del rilascio del relativo titolo autorizzativo (Progetto di completamento di Fiumicino Sud) non era ancora stata formulata dal legislatore la metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche e di definizione dei requisiti minimi per gli edifici nZEB di cui al Decreto Interministeriale 26/06/2015 ma era rispettato il regime normativo DPR 02/04/2009 n.59. Pertanto, la progettazione non ha potuto tener conto dei criteri di cui al D. Interm. 26/06/2015 per la configurazione degli edifici come nZEB e si è piuttosto attenuta all'adozione di tutte le migliori soluzioni tecnologiche disponibili volte al contenimento dei fabbisogni energetici. Ciononostante, l'edificio in questione rispetta egualmente tutti i requisiti minimi per gli nZEB previsti dal DM 26/06/2015 relativamente agli involucri edilizi.

**Vista dunque la antecedenza della progettazione all'emanazione del D. Interm. 26/06/2015, si può ritenere comunque che il sistema edificio-impianto sia progettato in un ottica di edificio nZEB con l'adozione di tutte le migliori soluzioni tecnologiche disponibili volte al contenimento dei fabbisogni energetici.**

Dal punto di vista impiantistico, nel Lotto 2 dell'ampliamento Ovest del Terminal T1 (oggetto della presente relazione) la produzione dei fluidi termovettori caldi è garantita dal collegamento alla rete aeroportuale di teleriscaldamento, mentre la produzione dei fluidi termovettori frigoriferi è garantita da gruppi refrigeratori ad alta efficienza (ESEER >6) in grado di garantire elevate prestazioni ai carichi parziali.

Entrando nel merito delle prestazioni energetiche dell'edificio in progetto, per quanto concerne le aree ET1+NID+AIC, la modellazione energetica in regime dinamico ha evidenziato un consumo di energia primaria pari a 1060 tep/anno, al netto di 108 tep/anno prodotti in situ dall'impianto fotovoltaico ubicato in copertura, come risulta dalla seguente tabella. Ancor più significativa è la prestazione energetica rappresentata dai consumi specifici di energia primaria per unità di volume (riferita ai soli volumi climatizzati) che si attestano a circa 46.6 kWh/m<sup>3</sup>/anno.

ET1+NID+AIC - Servizio energetico	Consumi annui di energia primaria (TEP)	Consumi annui specifici di energia primaria (kWh/m <sup>3</sup> /anno)
Riscaldamento	14,7	0,6
Raffrescamento	341,6	15,0
Ausiliari (ventilatori, pompe, umidificazione)	726,6	31,9
Illuminazione locali climatizzati	85,1	3,7
<b>TOTALE GENERALE</b>	<b>1.168,0</b>	<b>51,3</b>
Produzione FV	-108	-4,7

I fattori principali che determinano dette buone performance energetiche dell'ampliamento ovest Lotto 2 sono i seguenti:

1. L'impiego di macchine ad alta efficienza raffrescamento degli ambienti;
2. Lo sfruttamento della rete di teleriscaldamento alimentato da cogenerazione ad alta efficienza;

3. Gli impianti di climatizzazione estiva a tutt'aria a portata variabile (VAV), l'uso di UTA con recupero di calore e free-cooling;
4. L'elevata quota di illuminazione naturale in accoppiamento con la regolazione automatica puntuale e continua del flusso luminoso e con la tecnologia a LED;
5. Le buone caratteristiche dell'involucro termico, sia per le strutture opache che per quelle trasparenti;
6. La percentuale di energia primaria prodotta dagli impianti fotovoltaico ubicati sulla copertura dell'edificio.

Un importante elemento di eco-sostenibilità, talvolta sottovalutato anche dalla stessa normativa, è la priorità che il progettista ha dato alle soluzioni per l'efficienza energetica rispetto all'uso di fonti rinnovabili. Prima sono state utilizzate le migliori tecnologie disponibili, compatibilmente coi vincoli locali, per contenere quanto più possibile il fabbisogno energetico ed i consumi di energia primaria, mantenendo ovviamente il livello di comfort desiderato; poi è stata usata la tecnologia fotovoltaica per coprire il fabbisogno di energia primaria "residuale". Questo approccio è corretto perché l'efficienza energetica ha un valore di eco-sostenibilità maggiore rispetto all'uso di energie rinnovabili, sia in termini di *life-cycle* (consumo di energia e materie prime) che di impatti sull'ambiente locale (es. inquinamento elettromagnetico, paesaggio, *shift* su fonti fossili in caso di malfunzionamenti, ecc.). Le energie rinnovabili, soprattutto se prodotte in sito, restano un fattore importantissimo per la definizione di edifici ad energia quasi zero, ma in subordine rispetto all'efficienza energetica che è il primo e più importante elemento di eco-sostenibilità. Di questo sottile concetto è stato tenuto conto nella progettazione del Lotto 2 del Sistema Aerostazioni Lato Est, che pertanto presenta performance energetiche piuttosto elevate anche senza considerare la produzione locale di energia rinnovabile.

Per tener conto del più ampio concetto di eco-sostenibilità, non legato esclusivamente al consumo di energia primaria degli edifici, è stata applicata all'edificio in progetto in via sperimentale una metodologia di classificazione del livello di eco-sostenibilità, definita nello studio ENAC "*Criteri di progettazione eco-sostenibile e gestione dei terminal aeroportuali*", elaborato dallo scrivente su incarico ENAC nell'ambito del *POI Energie rinnovabili e risparmio energetico 2007-2013* ed approvato formalmente da ENAC il 15.7.2014. In particolare, è stata costruita per gli edifici in esame una matrice di eco-sostenibilità che, grazie ad una serie di indicatori numerici definiti in apposite schede di valutazione e combinati secondo certi criteri stabiliti nello studio succitato, ha determinato un livello numerico di eco-sostenibilità (punteggio in centesimi) classificandolo secondo una scala di eco-sostenibilità crescente da 1 a 5.

Il risultato è stato un punteggio di 72 per ET1+NID+AIC, con una classe di eco-sostenibilità pari a 4 in una scala crescente da 1 a 5.

Studio ENAC: " <i>Criteri di progettazione eco-sostenibile e gestione dei terminal aeroportuali</i> " <i>POI Energie rinnovabili e risparmio energetico 2007-2013</i>	ET1+AIC+NID
Punteggio di eco-sostenibilità conseguito (in centesimi)	72
Livello di eco-sostenibilità raggiunto (classi da 1 a 5 in ordine crescente)	4

\*\*\*

## Indice

1. Executive summary.....	2
2. Introduzione .....	6
3. Caratteristiche tecniche ed energetiche dell'Ampliamento Ovest .....	8
3.1. Involucro edilizio.....	8
3.2. Impianti di condizionamento.....	10
3.3. Impianti a tutt'aria a portata variabile VAV .....	11
3.4. Sistemi di recupero del calore per le UTA e free-cooling.....	11
3.5. Cogenerazione ad alto rendimento e teleriscaldamento.....	12
3.6. Impianti fotovoltaici .....	13
3.7. LED, illuminazione naturale e regolazione automatica del flusso luminoso .....	13
3.8. Sintesi delle soluzioni edilizie ed impiantistiche .....	13
4. Metodologia della simulazione energetica dinamica.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
4.1. Introduzione .....	15
4.2. Implementazione del modello degli involucri edilizi e degli impianti .....	17
4.3. Risultati simulazione dinamica .....	17
5. Risultati simulazione statica UNI TS 11300.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
6. Allegati.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>

## 2. Introduzione

In ottemperanza alla prescrizione n. A.19 Decreto VIA n. 236 del 08/08/2013, relativa al contenimento dei consumi energetici degli edifici - in particolare all'obiettivo "edifici ad energia quasi-zero" - , ADR ha sviluppato la progettazione energetica degli edifici del Lotto 2 del Sistema Aerostazioni Lato Est in modo da renderli rispondenti ai requisiti prestazionali propri di detta categoria di edifici e non più esclusivamente a quelli ordinari dettati dalla disciplina di settore.

La verifica della prestazione energetica dell'edificio viene eseguita attraverso una simulazione dinamica tridimensionale, grazie alla quale si possono calcolare - con l'ausilio del codice Energy Plus e dell'interfaccia grafica Design Builder v4.7 - i consumi energetici dell'edificio ora per ora, in relazione alla situazione meteorologica di un anno tipo.

Il sistema edificio-impianto viene graficamente e matematicamente rappresentato in tutti i dettagli tecnici e costruttivi. Le ipotesi sui carichi energetici che formano l'input del modello di simulazione fanno riferimento alla stazione meteo di Fiumicino per quanto riguarda le temperature orarie, l'umidità, la radiazione solare incidente, etc., ed alle statistiche aeroportuali per quanto riguarda la taratura delle ipotesi sui flussi di passeggeri in transito, che hanno un forte impatto sui consumi energetici dell'edificio.

Oltre agli indicatori energetici, è possibile ricavare un indicatore generale di eco-sostenibilità dei terminali aeroportuali applicando le definizioni e le metodologie della linea guida ENAC "*Criteri di progettazione eco-sostenibile e gestione dei terminali aeroportuali*" sviluppata nell'ambito del POI 2007-2013. Sulla base delle scelte progettuali in merito alle dimensioni, alle geometrie ed alle tipologie dei materiali costituenti l'involucro edilizio, nonché delle soluzioni impiantistiche, dell'uso di energie rinnovabili e degli apporti naturali, della gestione del ciclo delle materie prime, della prevenzione delle emissioni inquinanti, si costruisce una "matrice di eco-sostenibilità" con l'assegnazione di punteggi numerici che vengono combinati a formare un indicatore numerico del livello generale di eco-sostenibilità del terminal.

L'esigenza di definire una metodologia per la determinazione del livello di eco-sostenibilità dei terminali aeroportuali nasce dalla specificità di tale categoria di edifici: a causa delle caratteristiche peculiari (enormi volumi chiusi climatizzati, flussi di persone in transito, grandi superfici vetrate, distribuzione degli spazi condizionata dalle operazioni aeroportuali e dalle esigenze di sicurezza, etc.) i metodi tradizionali per il calcolo del fabbisogno energetico e la "Certificazione Energetica" degli edifici non sono applicabili o non forniscono risultati significativi.

La stessa definizione generale di edifici ad energia quasi-zero (nZEB, nearly-Zero Energy Buildings) data dalla Direttiva 2010/31/UE e dal D. L.gs. 192/2005 e s.m.i.:

*"edificio ad altissima prestazione energetica, calcolata conformemente alle disposizioni del presente decreto, che rispetta i requisiti definiti al decreto di cui all'articolo 4, comma 1. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta all'interno del confine del sistema (in situ);"*

oltre a dover essere in generale precisata da ogni Stato Membro dell'UE in termini di legge, soprattutto per quanto riguarda i parametri numerici che definiscono gli edifici nZEB, dovrebbe altresì essere specificamente adattata ai terminali aeroportuali per tener conto delle loro peculiarità.

Poiché la progettazione degli interventi precede l'emanazione del DM 26/06/2015, il criterio seguito in questa analisi per la verifica di ottemperanza alla prescrizione A.19 è la valutazione delle performance

energetiche calcolate in termini di consumi di energia primaria in base ai risultati della modellazione energetica in regime dinamico degli edifici facenti parte del Lotto 2, analogamente a quanto fatto per altri edifici del complesso del Sistema Aerostazioni dell'Aeroporto di Fiumicino (Determinazione Direttoriale MATTM di ottemperanza n. 314 del 03/09/2015 relativa all'Area di Imbarco F – oggi Area di Imbarco E – e all'Avancorpo del T3; Determinazione Direttoriale MATTM di ottemperanza n. 69 del 13/02/2018 relativa all'Area di Imbarco A e Avancorpo del T1).

Del resto, la normativa tecnica di riferimento (es. UNI 11300) propone una metodologia statica per la determinazione della prestazione energetica di un edificio, trascurando quindi gli aspetti dinamici che sono invece fondamentali per una corretta valutazione delle performance di sistemi edificio-impianto con le peculiarità morfologiche, costruttive e funzionali dei terminal aeroportuali. Inoltre, in termini di valutazione dei consumi di energia primaria per la climatizzazione estiva la citata normativa non tiene in adeguata considerazione i carichi interni di un terminal aeroportuale, che sono fortemente variabili nel tempo e nelle diverse zone dell'edificio e determinanti per i consumi di energia primaria. Come mostra anche l'esperienza dei più recenti progetti ENAC in merito alla certificazione energetica delle aerostazioni del Sud Italia, la modellazione energetica in regime dinamico è oggi il migliore strumento di analisi delle performance energetiche dei terminal aeroportuali come l'edificio in esame.

L'applicazione all'edificio in esame, in via sperimentale, di una nuova metodologia definita in ambito ENAC per il calcolo del livello di eco-sostenibilità dei terminal aeroportuali costituisce una integrazione dell'analisi energetica dinamica ed ha la duplice funzione di confermare qualitativamente i risultati ottenuti e di estendere il concetto di nZEB richiamato dalla prescrizione A.19 ad una più ampia idea di eco-sostenibilità.

L'approccio progettuale assunto al fine di contenere i consumi di energia si fonda sull'adozione di una logica di sistema tesa a conseguire detto risultato non nel solo miglioramento delle prestazioni di ciascun elemento edilizio, quanto soprattutto mediante la ricerca e lo sfruttamento di tutte le possibili sinergie e complementarità attivabili tra di essi e con le condizioni al contorno.

Un esempio di detta soluzione risiede nelle modalità mediante le quali è stata ottenuta una tanto rilevante riduzione dei consumi, esito non solo delle caratteristiche dei materiali adottati e/o delle caratteristiche impiantistiche, quanto anche delle strategie progettuali, nel caso in specie rappresentate dallo sfruttamento del calore refluo recuperato dai tre gruppi di cogenerazione ad alto rendimento presenti in aeroporto e delle rete di teleriscaldamento da essi alimentata.

\*\*\*

### 3. Caratteristiche tecniche ed energetiche degli edifici ET1, NID e AIC

#### 3.1. Involucro edilizio

##### a) Rapporto S/V

Il parametro S/V indica il rapporto tra la somma delle superfici disperdenti ed il volume climatizzato di un edificio. La minimizzazione di tale parametro consente quindi di limitare le dispersioni e le rientrate per unità di volume utile. Questo consente di ridurre il fabbisogno per la climatizzazione estiva ed invernale. Generalmente per un edificio passivo o ad energia quasi zero è opportuno avere un rapporto  $S/V < 0,5$ , ossia l'edificio deve avere una forma il più compatta possibile. A tal proposito è bene considerare che proprio secondo tale principio, secondo il DM 26/06/2015, il valore massimo ammissibile del coefficiente di scambio termico globale  $H'_T$  diminuisce all'aumentare del rapporto di forma S/V. Di seguito si riporta il valore del parametro S/V relativamente all'intero Lotto 2 (ET1, NID e AIC), tratto dall'elaborato "Relazione sul consumo energetico" del progetto esecutivo:

EDIFICIO	RAPPORTO S/V [1/m]
Lotto 2 - ET1, NID e AIC	0,21

##### b) Isolamento termico - Strutture opache (pareti esterne e solai)

Le dispersioni invernali e le rientrate estive attraverso la struttura opaca dell'involucro edilizio sono strettamente legate alla tipologia di pacchetti murari utilizzati. L'impiego di materiali isolanti, intercapedini o pareti ventilate permette in generale di ridurre il fabbisogno per la climatizzazione estiva ed invernale.

Nella tabella seguente sono riportate le strutture opache dell'involucro edilizio con i valori progettuali di trasmittanza per il progetto in esame tratti dall'elaborato "Relazione sul consumo energetico" del progetto esecutivo; tali valori sono confrontati con i corrispondenti parametri caratteristici dell'edificio di riferimento (Appendice A all'Allegato 1, DM 26/06/2015):

LOTTO 2 – ET1, NID e AIC			
Cod.	Descrizione	Trasmittanza U [W/m <sup>2</sup> K]	Parametro Zona C 2019/2021 [W/m <sup>2</sup> K]
M1	Parete ventilata esterna opaca	0,221	0,340
M4	Parete ventilata esterna opaca riv. Travertino	0,221	
P11	Solaio vs. locali NR	0,225	0,380
P12	Solaio vs esterno	0,232	
P15	Solaio vs. esterno	0,232	
P17	Solaio vs. locali NR	0,223	
P18	Solaio controterra	0,258	
P19	Solaio controterra	0,254	
P21	Solaio vs. locali NR	0,258	
P22	Solaio vs. esterno	0,267	
P24	Solaio vs. locali NR	0,255	
P26	Solaio vs. locali NR	0,244	
P28	Solaio vs. locali NR	0,244	

P3/P4	Primo solaio Vespaio	0,219	
P5	Primo solaio Vespaio	0,217	
P7	Solaio vs. locali NR	0,234	
P8	Primo solaio Vespaio	0,243	
S1	Solaio copertura	0,205	0,330
S2	Solaio copertura	0,152	
S3	Solaio copertura	0,137	
S4	Solaio copertura	0,199	
S5	Solaio copertura	0,222	

Il progetto esecutivo degli edifici facenti parte del Lotto 2 presenta valori di trasmittanza delle superfici opache sempre notevolmente inferiori ai parametri di riferimento del DM 26/06/2015, zona climatica C, 2019/2021 (edifici pubblici/privati). Ciò permette di ridurre le dispersioni invernali e le rientrate estive grazie alla struttura opaca dell'involucro, riducendo sensibilmente il fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva ed invernale e rispettando gli odierni limiti di legge.

c) Isolamento termico - Strutture trasparenti

Le dispersioni invernali e le rientrate estive attraverso le strutture trasparenti dell'involucro edilizio sono strettamente legate alla tipologia di infissi previsti. L'impiego di infissi termoisolanti ha permesso di ridurre sensibilmente i valori di trasmittanza totale dell'infisso come riportato nella tabella che segue, estratta dall'elaborato "Relazione sul consumo energetico" del progetto esecutivo; tali valori sono confrontati con i corrispondenti parametri caratteristici dell'edificio di riferimento (Appendice A all'Allegato 1, DM 26/06/2015):

LOTTO 2 – ET1, NID e AIC			
Cod.	Descrizione	Trasmittanza $U_w$ [W/m <sup>2</sup> K]	Parametro Zona C 2019/2021 [W/m <sup>2</sup> K]
W1	Vetrata termoisolante facciata	1,297	2,200
W2	Vetrata termoisolante lucernai	1,547	

Il progetto esecutivo degli edifici facenti parte del Lotto 2 presenta valori di trasmittanza delle superfici trasparenti sempre notevolmente inferiori ai parametri di riferimento del DM 26/06/2015, zona climatica C, 2019/2021 (edifici pubblici/privati). Ciò permette di ridurre le dispersioni invernali e le rientrate estive grazie alla struttura trasparente dell'involucro, riducendo sensibilmente il fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva ed invernale e rispettando gli odierni limiti di legge.

d) Schermature e apporti solari – Area solare equivalente estiva dei componenti finestrati  $A_{sol,est}$

La qualità delle componenti trasparenti dell'involucro e la capacità schermante rispetto alla radiazione solare (fondamentale per limitare gli apporti estivi e quindi il fabbisogno di raffrescamento) è espressa dal DM 26/06/2015 con il parametro  $A_{sol,est}$  (Area solare equivalente estiva) rapportato alla superficie utile  $A_{sup\ utile}$ . Esso tiene conto delle caratteristiche del vetro e

delle schermature fisse e mobili anche attraverso il fattore solare “g”, che rappresenta in termini energetici la frazione di radiazione solare incidente sulla superficie vetrata che riesce a penetrare nell’ambiente interno. La minimizzazione di questo fattore permette di ridurre il fabbisogno di climatizzazione durante la stagione estiva, ma al contempo riduce gli apporti gratuiti durante quella invernale. In terminali aeroportuali come quelli in esame, in cui i consumi energetici sono legati prevalentemente alla climatizzazione estiva, è opportuno l'impiego di superfici vetrate a basso fattore solare.

La tabella sottostante riporta il valore di  $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$  per l’edificio, elaborato “Relazione sul consumo energetico” del progetto esecutivo dell’edificio in esame, il quale rispetta pienamente i limiti del Decreto (requisito NZEB).

Rapporto tra area solare equivalente estiva dei componenti finestrati e area della superficie utile $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$ [-]	
Valore calcolato per ET1, NID e AIC	Limite per edifici non Cat. E.1
0,0083	$\leq 0,040$

### 3.2. Impianti di condizionamento

Il progetto in esame prevede la realizzazione di nuovi impianti di condizionamento. In particolare, si prevedono le seguenti zone e tipologie di impianto:

- Zona termica 1 – ET1 q.+1,72 Arrivi Schengen – Locali climatizzati tramite unità di trattamento aria a tutt’aria per la climatizzazione invernale ed estiva con controllo termoigrometrico degli ambienti climatizzati tramite terminali VAV
- Zona termica 2 – AIC - ET1 q.+1,72 Partenze Schengen – Locali climatizzati tramite unità di trattamento aria a tutt’aria per la climatizzazione invernale ed estiva con controllo termoigrometrico degli ambienti climatizzati tramite terminali VAV.
- Zona termica 3 – NID Q+1.72-6.55 Partenze Schengen, controlli passaporti e area code – Locali climatizzati tramite unità di trattamento aria a tutt’aria per la climatizzazione invernale ed estiva con controllo termoigrometrico degli ambienti climatizzati tramite terminali VAV.
- Zona termica 4 - AIC-ET1 Q.+6.55 - 11,04 Connettivo, area di circolazione e duty free – Locali climatizzati tramite unità di trattamento aria a tutt’aria per la climatizzazione invernale ed estiva con controllo termoigrometrico degli ambienti climatizzati tramite terminali VAV.
- Zona termica 5 - NID-AIC-ET1 - Q.+1.72, +6.55, +11.04 Spazi commerciali e uffici – Locali climatizzati tramite ventilconvettori per la climatizzazione invernale ed estiva e abbinati al ricambio d’aria tramite unità di trattamento aria ad aria primaria (B1P e B2P).
- Zona termica 6 - NID-AIC-ET1 - Q.+1.72, +6.55, +11.04 AIC-ET1 Q.+6.55-11,04 Servizi – Locali climatizzati tramite radiatori con valvola termostatica e il ricambio d’aria viene garantito dall’estrattore aria.
- Zona termica 7 - NID-AIC-ET1 - Q.+6.55 Service line – Locali climatizzati tramite ventilconvettori per la climatizzazione invernale ed estiva.

La produzione dell'acqua calda sia sanitaria che ai per climatizzazione invernale e postriscaldamento estivo sarà garantita dal collegamento alla rete aeroportuale di teleriscaldamento.

La produzione del freddo è invece garantita da tre gruppi refrigeratori (2 in uso ed 1 in riserva, cadauno da 3800 kW frigoriferi) ad alta efficienza (ESEER > 6) con compressore dotato di inverter.

### 3.2.1. Impianti a tutt'aria a portata variabile VAV

Come noto, le strutture aeroportuali sono caratterizzate da carichi interni particolarmente elevati dovuti al grande affollamento dei locali, specialmente nelle ore di punta, nonché all'illuminazione interna ed alla presenza di apparecchiature elettriche disperdenti energia termica.

Durante la stagione invernale capita di frequente che i carichi interni superino le dispersioni termiche, costringendo l'impianto di climatizzazione a funzionare in raffrescamento e non in riscaldamento. La stagione energeticamente più gravosa è di gran lunga quella estiva, dove ai carichi interni si sommano quelli esterni dovuti allo scambio termico per irraggiamento, conduzione e convezione.

I carichi termici (sensibili e latenti) relativi alla presenza di persone sono estremamente variabili nell'arco della giornata e nelle diverse zone dell'edificio. Tale impianto consente di controllare la temperatura di ogni ambiente attraverso la portata d'aria immessa, che tuttavia deve restare al di sopra di un certo livello per permettere ai diffusori di funzionare correttamente. Poiché il consumo di energia elettrica dei ventilatori è funzione della portata d'aria (varia il numero di giri), utilizzando solo la portata d'aria strettamente necessaria ad abbattere i carichi viene minimizzato il consumo di energia rispetto ad altre soluzioni impiantistiche.

La regolazione degli impianti di climatizzazione è affidata ad un sistema BMS (Building Management System) che comprende la possibile interconnessione per la gestione integrata di tutte le funzioni tecnologiche dell'edificio (climatizzazione, illuminazione, controllo accessi, sicurezza, rilevazione incendi, ascensori intelligenti, ecc.).

### 3.2.2. Sistemi di recupero del calore per le UTA e free-cooling

Per migliorare le prestazioni energetiche delle UTA, è prevista l'installazione di recuperatori di calore. Si riporta nella tabella seguente il riepilogo dei recuperatori installati e dei loro rendimenti termici di progetto:

UTA	TIPOLOGIA	Portata mandata [m <sup>3</sup> /h]	Portata estrazione [m <sup>3</sup> /h]	ηT [%]
<b>A1</b>	TUTT'ARIA	50.000	30.000	72,2
<b>A2</b>	TUTT'ARIA	61.500	31.000	70,6
<b>A3</b>	TUTT'ARIA	46.000	19.000	71,6
<b>B1a</b>	TUTT'ARIA	47.500	33.000	72,4
<b>B1b</b>	TUTT'ARIA	47.500	33.000	72,4
<b>B2</b>	TUTT'ARIA	60.000	35.000	71,7
<b>B3</b>	TUTT'ARIA	70.500	43.000	73,2
<b>B4</b>	TUTT'ARIA	63.000	30.000	70,5
<b>B1P</b>	ARIA PRIMARIA	40.000	40.000	77,8
<b>B2P</b>	ARIA PRIMARIA	57.000	57.000	77,2

Tale sistema porta benefici energetici sia durante la stagione estiva che durante quella invernale. Durante l'inverno, quando la temperatura esterna è inferiore a quella interna, il sistema trasferisce calore dall'aria di espulsione, che si trova a circa 20°C, all'aria esterna in ingresso all'UTA, che si trova a temperatura più bassa, in modo da diminuire l'energia spesa per riscaldare l'aria immessa nell'ambiente interno. Nella stagione estiva il funzionamento è analogo, ma con scambio di calore invertito: l'aria di espulsione si trova

ad una temperatura più bassa di quella esterna, circa 26°C, e ciò permette di raffrescare l'aria esterna in ingresso nell'UTA e ridurre quindi l'energia spesa dalle batterie di raffreddamento. La minimizzazione della temperatura dell'aria inviata al recuperatore consente la massimizzazione dell'energia scambiata.

Nel caso di edifici termicamente ben isolati e con carichi interni molto elevati nell'arco dell'intera giornata, si verifica un'anticipazione del periodo di commutazione tra il riscaldamento ed il condizionamento; in altri termini, per l'impianto di climatizzazione la stagione "estiva" inizia prima rispetto agli edifici tradizionali. Dal punto di vista energetico questo è un fattore positivo, a patto che, in condizioni esterne favorevoli, si sfrutti il free-cooling. Tutte le UTA installate ne prevedono la possibilità: il raffrescamento viene realizzato semplicemente immettendo nell'ambiente interno l'aria esterna, che si trova a temperatura più bassa, senza necessità di scambio termico nelle batterie delle UTA e di produzione di energia frigorifera (batterie di raffrescamento) o termica (batterie di post-riscaldamento).

### 3.3. Cogenerazione ad alto rendimento e teleriscaldamento

A servizio dell'Aeroporto Internazionale di Fiumicino è stato realizzato nel 2009 un impianto di cogenerazione ad alta efficienza, allo scopo di auto-produrre energia elettrica e sfruttare il calore reflu del raffreddamento del motore e dei fumi di scarico per alimentare una rete di teleriscaldamento aeroportuale realizzata ad hoc. Tale rete distribuisce il fluido termovettore (acqua surriscaldata) alle diverse sottocentrali di scambio termico presenti nel sito aeroportuale ed è costituita da due anelli a diametro costante, uno ad uso stagionale ed uno annuale. L'anello stagionale alimenta le utenze invernali, tipicamente costituite da fancoils, batterie di preriscaldamento delle UTA, aerotermi, radiatori, etc., mentre quello annuale alimenta le batterie di post-riscaldamento delle UTA, i preparatori di acqua calda sanitaria, etc.. La cogenerazione di elettricità e calore consente un maggior sfruttamento del potere calorifico del combustibile - nel caso specifico gas naturale - ed offre quindi dei vantaggi energetici ed ambientali, con minori consumi di energia primaria e conseguentemente minori emissioni di CO<sub>2</sub>.

La centrale di cogenerazione è costituita da tre gruppi cogenerativi composti ciascuno da un motore endotermico alimentato a gas metano, da un generatore sincrono seguito da un trasformatore elevatore e da una caldaia a recupero a tubi d'acqua per lo sfruttamento del calore dai fumi di scarico, preceduta - nel senso del fluido vettore del teleriscaldamento - da uno scambiatore per il recupero del calore dai circuiti di raffreddamento dei gruppi. Se per varie ragioni tale calore non può essere recuperato, esso viene disperso dai sistemi di raffreddamento dei motori (elettroventilatori).

L'impianto di cogenerazione è equipaggiato con quattro serbatoi di accumulo dell'acqua surriscaldata, finalizzati a soddisfare i picchi di richiesta termica giornaliera della rete di teleriscaldamento aeroportuale, nonché, soprattutto, a ricollocare nel periodo notturno gli eccessi di energia termica cogenerata, limitando od eliminando l'eventuale quota parte di integrazione di energia termica da produrre per via convenzionale.

Ogni gruppo di cogenerazione è dotato di sistemi per l'abbattimento di degli ossidi di azoto e del monossido di carbonio, contenuti nei fumi di scarico. I singoli sistemi SCR sono alimentati da un comune serbatoio di stoccaggio dell'urea, con relativo sistema di pompaggio per l'iniezione nelle linee fumi.

Nella tabella seguente si riportano i dati caratteristici della centrale di cogenerazione.

<b>Potenza termica immessa</b>	57,4 MWt
<b>Potenza termica utile disponibile per gli usi finali</b>	17,8 MWt
<b>Potenza elettrica lorda</b>	25,7 MWe
<b>Potenza elettrica netta</b>	25,3 MWe

Temperatura di uscita acqua circuito-utenza dalla sezione cogenerativa	130 °C
Temperatura di ingresso acqua circuito-utenza alla sezione cogenerativa	80 °C
Sistema di recupero termico (innalzamento temperatura fino a 130 °C)	Dai fumi di scarico
Portata dei gas di scarico di ciascun motore	49.503 m3/h
Abbattimento delle emissioni inquinanti gassose	Sistema DeNOx (SCR) + Catalizzatore ossidante
Sistema di monitoraggio in continuo emissioni gassose	T, O2, CO, NOx, NH3
Volume di accumulo dell'acqua surriscaldata (130 °C)	1.000 m3 (in 4 serbatoi)

A fianco al sistema di cogenerazione, la Centrale Termica Ovest svolge la duplice funzione di back-up e di integrazione, per garantire l'alimentazione della rete di teleriscaldamento aeroportuale anche in caso di guasti o di assetti produttivi insufficienti della centrale di cogenerazione.

### 3.4. Impianti fotovoltaici

E' prevista la realizzazione di un impianto fotovoltaico composto da 1280 moduli da 335 Wp per complessivi 429 kWp. L'impianto sarà in grado di generare 578 MWh/anno.

### 3.5. LED, illuminazione naturale e regolazione automatica del flusso luminoso

L'illuminazione artificiale degli edifici in esame è progettualmente prevista a LED (Light Emitting Diode), con sorgenti luminose ad elevata efficienza.

L'uso di tale tecnologia comporta risparmi energetici diretti ed indiretti: a parità di luce emessa, rispetto ai sistemi tradizionali si ha una riduzione dei consumi di energia elettrica che va dal 50% all'80%, grazie all'elevata efficienza luminosa ed alla direzionalità del flusso luminoso, che consente curve fotometriche con minimo spreco di energia a parità di comfort visivo; inoltre, i LED rilasciano quantità di calore decisamente inferiori alle tecnologie di illuminazione tradizionali, il che permette una riduzione dei fabbisogni energetici per la climatizzazione degli ambienti illuminati.

La tecnologia a LED ben si presta, peraltro, alla regolazione automatica del flusso luminoso. E' progettualmente previsto che l'impianto di illuminazione sia gestito da un sistema DALI (Digital Addressable Lighting Interface), con sensori di luminosità e di presenza distribuiti all'interno del fabbricato ed installati in prossimità delle superfici vetrate e con sistemi di gestione oraria e programmabili.

L'impianto di regolazione automatica è in grado di controllare i livelli di illuminamento dei locali in funzione del contributo dell'illuminazione naturale, nonché dell'affollamento dei locali stessi. Il sistema di programmazione oraria permette anche scenari di spegnimento impianto nelle aree dell'edificio temporaneamente inutilizzate. La gestione automatizzata del sistema di illuminazione permette un risparmio energetico significativo, in funzione delle modalità gestionali.

### 3.6. Sintesi delle soluzioni edilizie ed impiantistiche

Nella tabella che segue sono riportati i principali fattori impiantistici ed edilizi che influenzano i consumi energetici dell'edificio oggetto di analisi.

	ET1, NID, AIC
Rapporto S/V	0,21
Trasmittanza media strutture opache (W/mq K)	0,221

<b>Impianti a tutt'aria a velocità variabile VAV</b>	SI
<b>Macchine per riscaldamento e raffrescamento ad alta efficienza</b>	SI
<b>UTA con recupero di calore</b>	SI
<b>UTA con free-cooling</b>	SI
<b>Cogenerazione/teleriscaldamento</b>	SI
<b>Trigenerazione</b>	NO
<b>Impianto fotovoltaico</b>	SI
<b>Impianto solare termico per la produzione di ACS</b>	NO
<b>Illuminazione naturale e a LED</b>	SI
<b>Regolazione automatica (DALI) di flusso luminoso</b>	SI

\*\*\*

## 4. Metodologia di simulazione energetica

### 4.1. Introduzione

Per determinare la performance energetica dell'edificio è stata effettuata una simulazione dinamica basata sul codice di calcolo EnergyPlus, implementata mediante l'interfaccia Design Builder.

### 4.2. Energy Plus

EnergyPlus è un codice di calcolo open source sviluppato dal DOE - Department Of Energy del Congresso degli USA - basato sui vecchi codici BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) e DOE-2 sviluppati a partire dagli anni '80 - per la modellazione energetica in regime dinamico dei sistemi edificio-impianto.

EnergyPlus è uno ambiente simulativo tra i più utilizzati al mondo. Le capacità di calcolo e la validazione ultra-decennale dei risultati lo rendono uno dei più affidabili strumenti di simulazione dinamica dei sistemi edificio-impianti, un punto di riferimento del settore.

EnergyPlus consente di calcolare, attraverso la simulazione dinamica, i fabbisogni energetici di un edificio di qualsivoglia natura, morfologia, architettura e funzione, con un'analisi integrata delle prestazioni energetiche dell'involucro edilizio e degli impianti energetici che lo servono.

Il livello di dettaglio dell'analisi di Energy Plus ne consente l'applicazione in vari campi: dall'ottimizzazione progettuale degli impianti e degli edifici alla valutazione delle prestazioni energetiche dei sistemi edificio-impianto, soprattutto nei casi in cui vengano adoperati accorgimenti o soluzioni tecnicamente raffinate che non potrebbero essere pienamente valutate da una simulazione statica.

Tra le principali caratteristiche di EnergyPlus si contano:

- Simulazione energetica integrata e simultanea del sistema edificio-impianto, con rappresentazione matematica fine degli involucri e degli impianti
- Utilizzo di intervalli di simulazione (step) impostabili dall'utente in funzione del livello di precisione richiesto e dell'inerzia attesa del sistema, inclusa la possibilità di utilizzare intervalli inferiori all'ora
- Analisi di dettaglio sulla radiazione solare entrante dalle finestre (possibilità di analisi strato per strato, variazione degli ombreggiamenti, etc.)
- Simulazione energetica e controlli sull'illuminazione interna
- Modello di radiazione anisotropo
- Stima delle emissioni inquinanti

La simulazione delle performance energetiche tiene conto di tutte le caratteristiche dell'involucro (dimensioni geometriche, stratigrafia, esposizione, etc.) e degli impianti (tipologia, rendimenti, layout, etc).

Il codice di calcolo è testato con continuità, utilizzando metodi di standardizzazione industriale al fine di minimizzare la presenza di bug. Tre tipologie di test vengono normalmente eseguite:

- Test Analitici

- HVAC tests, (ASHRAE Research Project 865)
- Building fabric tests, (ASHRAE Research Project 1052)
- IEA Bestest
  
- Test Comparativi:
  - ANSI/ASHRAE Standard 140-2011
  - International Energy Agency Solar Heating and Cooling Programme (IEA SHC) BESTest (Building Energy Simulation Test) methods not yet in Standard 140
  - EnergyPlus HVAC Component Comparative tests
  - EnergyPlus Global Heat Balance tests
  
- Test di rilascio e degli eseguibili.

Energy Plus è una collazione di più moduli; le diverse metodologie di calcolo di ciascun modulo, che consentono di effettuare step-by-step il bilancio energetico simultaneo del sistema edificio-impianto, sono riportate nel documento "**EnergyPlus - Engineering Reference**" del 30/09/2016, disponibile sul sito web [www.eere.energy.gov](http://www.eere.energy.gov) e per comodità riportato in Allegato.

### 4.3. Design builder

EnergyPlus non ha una propria interfaccia grafica, per cui i dati di input e di output sono file di testo da elaborare con codici in linguaggio FORTRAN. La difficoltà pratica di modellizzare in tal modo il regime dinamico di un sistema edificio-impianto è somma ed è quindi necessario l'utilizzo di software - prodotto dall'utente o da terzi - per una compilazione agevole e per una gestione intuitiva dei dati di output.

Design Builder è appunto un interfaccia grafica completa per EnergyPlus, utilizzabile in tutte le fasi della progettazione del sistema edificio-impianto. Rilasciato per la prima volta nel 2005, DesignBuilder consente di simulare qualsiasi edificio utilizzando EnergyPlus come codice di calcolo, compresa la rappresentazione di opzioni progettuali avanzate quali lo sfruttamento della ventilazione naturale, il controllo dell'irraggiamento solare, le doppie facciate, le travi fredde, i pavimenti radianti, etc. che possono essere valutate per il loro impatto sulle performance ambientali del sistema edificio-impianto, sul comfort, sui costi e sulla disponibilità di illuminazione naturale.

Design Builder è largamente utilizzato sia per fini commerciali che accademici. Alcune delle principali applicazioni sono:

- Modellazione 3D dei sistemi edificio-impianto
- Analisi progettuale, dalla fase architettonica preliminare al progetto impiantistico di dettaglio dei sistemi HVAC
- Certificazioni LEED, BREEAM, etc.
- Calcolo avanzato mediante analisi CFD e definizione delle condizioni al contorno

- Determinazione dell'efficacia delle soluzioni basate sull'illuminazione naturale mediante ray tracing
- Interfaccia grafica della sezione HVAC di Energy Plus (possono essere modellizzati sia sistemi ad acqua che sistemi ad aria, mediante la connessione di blocchi grafici rappresentanti i singoli componenti; l'interfaccia HVAC è integrata con il modello dell'edificio e fornisce accesso alla maggior parte delle tipologie di componenti per la climatizzazione; ad esempio, tutti i sistemi base della ASHRAE 90.1 sono inclusi).

DesignBuilder consente di importare modelli tridimensionali nel formato gbXML (i.e. Revit, Archicad, Microstation, etc.).

I modelli possono essere sviluppati anche all'interno del software stesso, tramite un sistema a blocchi. I blocchi disegnati possono essere tagliati, allungati, uniti con altri blocchi e partizionati in più zone termiche.

#### 4.4. Implementazione del modello degli involucri edilizi e degli impianti

Per la modellizzazione energetica del sistema edificio-impianto dell' ET1+NID+AIC , l'involucro edilizio è stato ricostruito direttamente all'interno della sezione di modellazione tridimensionale del software DesignBuilder.

Il modello dell'involucro è stato sviluppato a partire dalle piante alle diverse quote; le piante di ogni livello sono state quindi utilizzate per la realizzazione dei blocchi edificio e per la ripartizione dei singoli livelli in macrozone termiche. Successivamente, a partire dai prospetti, sono state definite per ogni parete esterna le aperture vetrate e le porte di accesso. Sono state quindi inserite le stratigrafie delle pareti e dei solai e le caratteristiche degli elementi vetrati.

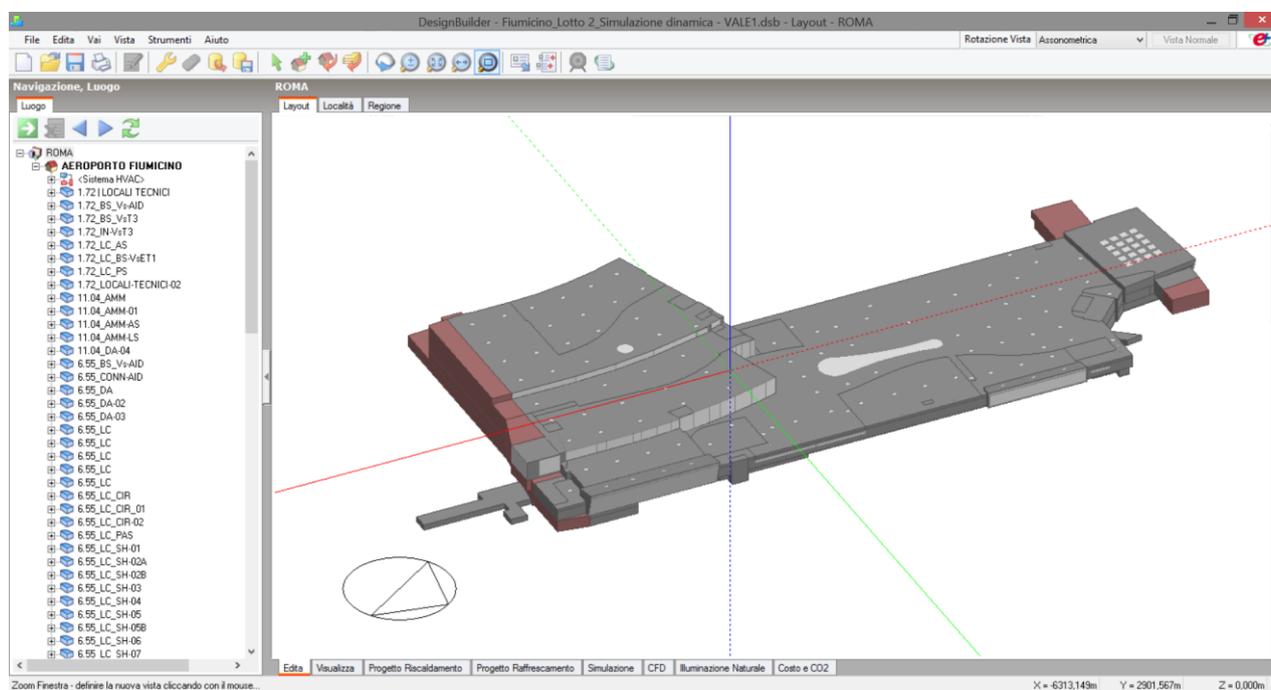


Figura 1 - screenshot del modello geometrico ET1+NID+AIC ricostruito in ambiente DesignBuilder

#### 4.5. Implementazione del modello degli impianti

Il modello degli impianti di climatizzazione è stato implementato direttamente all'interno della sezione HVAC di DesignBuilder. Per la modellazione è stata utilizzata l'interfaccia dettagliata, che permette l'impostazione di un numero elevato di parametri, nonché di personalizzare manualmente la topologia dell'impianto.

Sono stati definiti gruppi di zone impiantisticamente omogenee ed inseriti in ciascuno di tali gruppi i componenti del sistema (UTA e sistemi di produzione dei fluidi termovettori).

Tenendo conto delle differenze tra i gruppi di zone, sono stati impostati i parametri caratterizzanti il funzionamento degli impianti (temperature, regolazioni automatiche, presenza dei sensori di CO<sub>2</sub> e altri inquinanti, controllo dell'umidità, etc.). Per ogni zona sono stati quindi definiti i programmi di funzionamento degli impianti, i carichi interni, gli affollamenti ed i set-point di regolazione, in accordo con quanto riportato nella documentazione progettuale.

Gli impianti di illuminazione sono stati modellizzati nelle apposite sezioni del software, inserendo i requisiti di illuminamento ed il programma di funzionamento per ogni zona e definendo tipologia e caratteristiche tecniche dei sistemi di controllo automatico del flusso luminoso.

Per alcune tipologie di impianto (es. teleriscaldamento) è stato necessario procedere ad una post-elaborazione dei dati di output di DesignBuilder, al fine di calcolare i consumi di energia primaria.

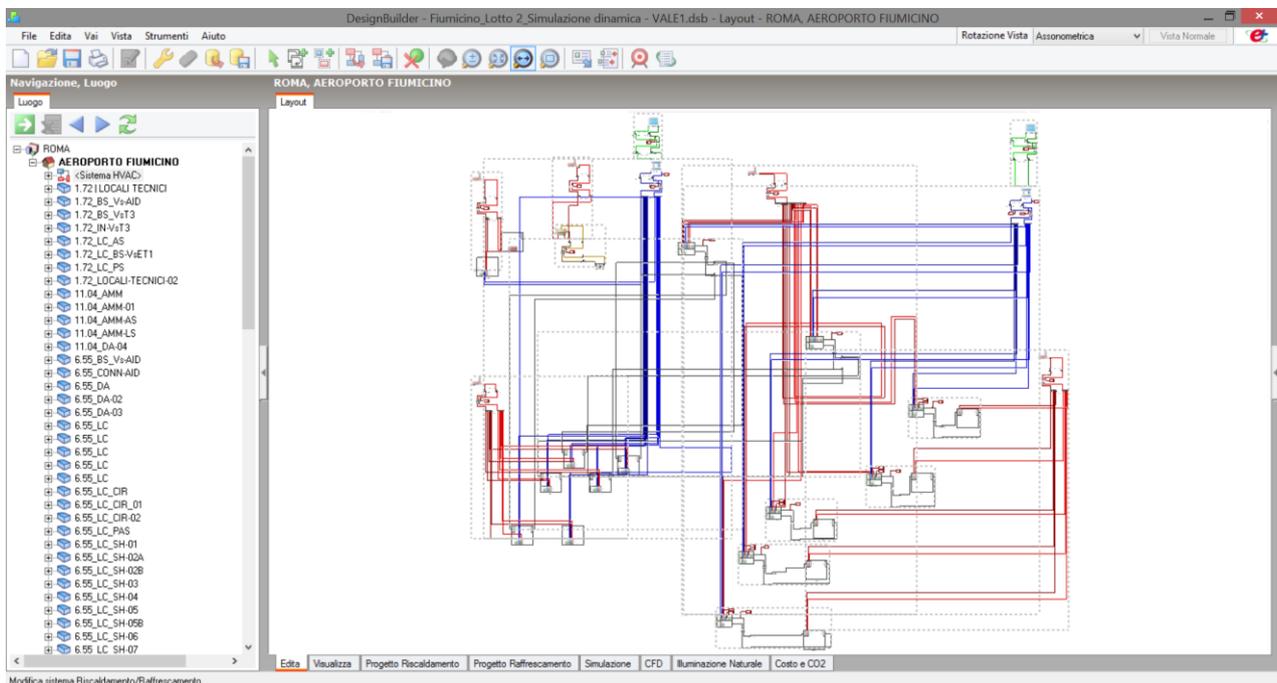


Figura 2 - screenshot del modello HVAC ricostruito nell'interfaccia DesignBuilder

## 5. Simulazione energetica dinamica dell'edificio ET1, NID e AIC

### 5.1. Fabbisogno energetico e consumi di energia finale e primaria

La simulazione energetica dinamica con Energy Plus, nelle ipotesi assunte per l'anno tipo, per i carichi e per il modello dell'edificio, fornisce i fabbisogni energetici indicati nella tabella che segue, per i servizi di climatizzazione e di illuminazione artificiale dell'edificio ET1, NID e AIC.

Utilizzo	Fabbisogni energetici	
Riscaldamento sensibile	988.823	kWh termici
Raffrescamento sensibile	3.571.957	kWh frigoriferi
Ausiliari	3.887.120	kWh elettrici
Illuminazione	455.121	kWh elettrici
Produzione fotovoltaico	-578.000	kWh elettrici

I fabbisogni di energia termica sono soddisfatti attraverso scambiatori di calore alimentati dalla rete aeroportuale di teleriscaldamento ("TR"), quelli di energia frigorifera da appositi gruppi refrigeratori.

Tenendo conto dei diversi rendimenti di conversione dell'energia termica negli impianti di riscaldamento e di raffrescamento, i consumi energetici finali sono quelli riportati nella tabella seguente.

Utilizzo	Consumi energetici finali	
Riscaldamento	1.218.940	kWh termici da TR
Raffrescamento	3.571.957	kWh elettrici
Ausiliari (Pompe e Ventilatori)	3.887.120	kWh elettrici
Illuminazione	455.121	kWh elettrici
Produzione fotovoltaico	-578.000	kWh elettrici

In termini di consumi energetici finali complessivi, la situazione è sintetizzata nella tabella che segue, anche in raffronto alla produzione fotovoltaica.

Consumi energetici finali dell'edificio ET1, NID e AIC			
Energia Termica (fornita da teleriscaldamento)	1.219	MWh t/anno	
Energia elettrica	6.170	MWh e/anno	
Produzione di energia elettrica da fotovoltaico in sito	-578	MWh e/anno	

L'impianto fotovoltaico, la cui produzione media annua è indicata con il segno meno, è in grado di coprire circa un decimo dei consumi elettrici dell'edificio dovuti alla climatizzazione ed all'illuminazione degli ambienti.

Per calcolare i consumi di energia primaria, sono adottati i seguenti fattori di conversione:

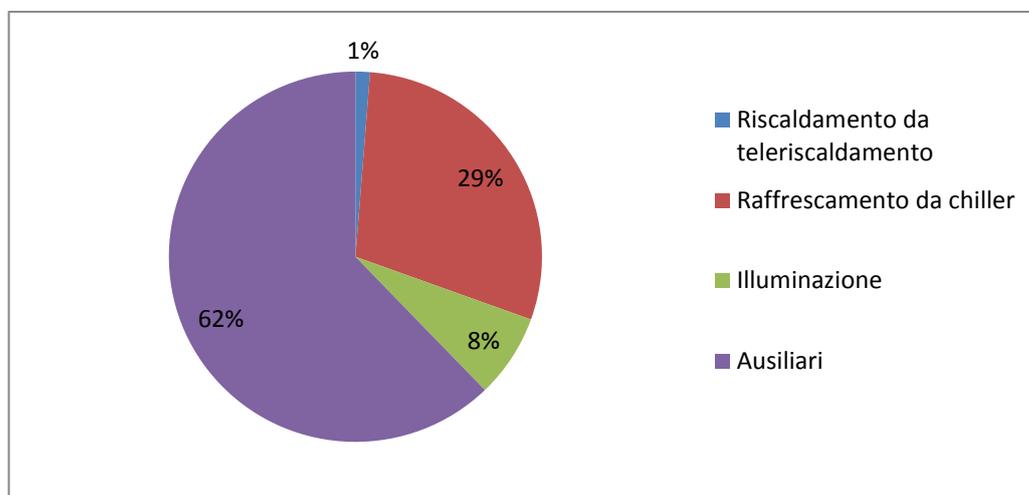
- circa 2,17 kWh/kWhe per i consumi elettrici (corrispondente ad un rendimento medio di conversione del parco termoelettrico nazionale del 46% come stabilito dalla Delibera EEN 3/08, equivalente al valore di 0,187 tep/MWh);
- circa 0,14 kWh/kWht per i consumi termici coperti dalla rete aeroportuale di teleriscaldamento (tale valore si ottiene considerando che la rete è alimentata da gruppi cogenerativi con rendimenti nominali elettrico e termico rispettivamente del 44% e del 31%).

Attraverso i suddetti fattori di conversione si può passare dai consumi energetici finali a quelli primari, necessari a soddisfare le esigenze di climatizzazione ed illuminazione:

Utilizzo	Fabbisogno
Riscaldamento	14,7 TEP
Raffrescamento	341,6 TEP
Illuminazione	85,1 TEP
Ausiliari	726,6 TEP
<b>TOTALE GENERALE</b>	<b>1168,0 TEP</b>
Produzione FV	-108,0 TEP
<b>TOTALE AL NETTO DELLA PRODUZIONE FV</b>	<b>1060 TEP</b>

Il consumo complessivo annuo di energia primaria del sistema edificio-impianto dell'edificio in esame è pari a circa 1060 tep, in un anno tipo (in particolare nell'anno 2002, con dati orari storici rilevati dalla stazione meteo di Fiumicino) e con le ipotesi assunte per gli apporti connessi con il tasso di occupazione dell'edificio e dalle apparecchiature all'interno dello stesso. L'impianto fotovoltaico produce circa il 9% del fabbisogno.

Si riporta di seguito un diagramma che sintetizza la ripartizione dei consumi di energia primaria per servizio energetico, limitatamente ai locali climatizzati ed escludendo i consumi per la produzione di ACS in considerazione del loro limitato impatto rispetto al totale. E' evidente l'importanza degli ausiliari (principalmente legati alla ventilazione, determinata dalle esigenze di ricambio d'aria), che risulta essere il servizio più energivoro (62%) insieme al raffrescamento degli ambienti (29%). Il consumo per l'illuminazione artificiale (8%), copre circa un decimo dei consumi di energia primaria del sistema edificio-impianto ed è più alto di quello per il riscaldamento (1%). L'ACS ha un impatto trascurabile sul fabbisogno di energia primaria.



Nella seguente tavola sinottica sono riportati, per unità di volume, i fabbisogni energetici, l'energia fornita e l'energia primaria, per ciascun servizio energetico.

	Fabbisogni	Energia finale	Energia primaria	
Riscaldamento	3.7 kWh/m <sup>3</sup> /a	4.6 kWhTR/m <sup>3</sup> /a	0,6 kWh/m <sup>3</sup> /a	0,1 TEP/1000m <sup>3</sup>
Raffrescamento	13.5 kWh/m <sup>3</sup> /a	6.9 kWh/m <sup>3</sup> /a	15,0 kWh/m <sup>3</sup> /a	1,3 TEP/1000m <sup>3</sup>
Ausiliari	14.7 kWh/m <sup>3</sup> /a	14.7 kWh/m <sup>3</sup> /a	31,9 kWh/m <sup>3</sup> /a	2,7 TEP/1000m <sup>3</sup>
Illuminazione	1.7 kWh/m <sup>3</sup> /a	1.7 kWh/m <sup>3</sup> /a	3,7 kWh/m <sup>3</sup> /a	0,3 TEP/1000m <sup>3</sup>

Totale generale			51,3 kWh/m <sup>3</sup> /a	4,4	TEP/1000m <sup>3</sup>
Produzione FV		-2,2 kWh/m <sup>3</sup> /a	-4,8 kWh/m <sup>3</sup> /a	-0,4	TEP/1000m <sup>3</sup>
Totale netto di FV e solare termico			46,5 kWh/m <sup>3</sup> /a	4,0	TEP/1000m <sup>3</sup>

Il riscaldamento invernale dell'edificio determina un fabbisogno di circa 3.7 kWh/m<sup>3</sup>/a, servito dalla rete di teleriscaldamento. Grazie alla cogenerazione ad alto rendimento, il corrispondente fabbisogno di energia primaria è calcolato in appena 0,6 kWh/m<sup>3</sup>/a, valore decisamente contenuto.

Ben superiore è il fabbisogno per la climatizzazione estiva, nell'ordine dei 13 kWh/m<sup>3</sup>/a, che tuttavia determina un consumo di energia primaria abbastanza contenuto, nel complesso pari a circa 15 kWh/m<sup>3</sup>/a,.

Il consumo elettrico per la circolazione dei fluidi termovettori, per la ventilazione e la gestione dei ricambi d'aria è pari a circa 15 kWh/a/m<sup>3</sup>. L'energia primaria corrispondente supera dunque i 30 kWh/m<sup>3</sup>/a e costituisce il servizio più energivoro dell'edificio, principalmente a causa delle elevate prevalenze necessarie per consentire la circolazione dell'aria ad alta velocità nelle condotte di distribuzione a causa di vincoli geometrici.

L'illuminazione nel suo complesso determina un consumo di energia elettrica pari a 1,7 kWh/a/m<sup>3</sup>, equivalente a circa 3.7 kWh/a/m<sup>3</sup> di energia primaria, estremamente contenuto considerando la tipologia, le dimensioni e le funzioni dell'edificio. Questo importante risultato energetico è raggiunto grazie all'ampia superficie vetrata, che consente una quota significativa di illuminazione naturale, in abbinamento alla regolazione automatica della luminosità degli ambienti ed alla tecnologia a LED.

Come KPI (Key Performance Indicator) per la performance energetica dell'area climatizzata dell'edificio può essere considerato il consumo annuo specifico di energia primaria per unità di volume, che, dalle simulazioni dinamiche orarie per le 8.760 ore di un anno tipo, assume un valore di 51,3 kWh/m<sup>3</sup>. Di questo valore circa il 9% è coperto da fonti rinnovabili in sito, in particolare dagli impianti fotovoltaici installati sulla copertura. Il consumo annuo specifico di energia primaria considerando la produzione fotovoltaica, interamente auto-consumata, risulta pari **46,5 kWh/m<sup>3</sup>/anno**.

Dal quadro di sintesi dei fabbisogni energetici e dei consumi di energia finale e primaria del sistema edificio-impianto, l'edificio ET1, NID e AIC risulta altamente performante in termini di contenimento dei consumi energetici. Un valore di consumo complessivo specifico di energia primaria inferiore ai 50 kWh/m<sup>3</sup>/anno, comprensivo di tutti i fabbisogni per climatizzazione estiva ed invernale, trattamento dell'aria ed illuminazione, è quanto di meglio si possa ottenere con le tecnologie attuali e con le condizioni al contorno dell'edificio in questione, che vincolano la progettazione architettonica ed ingegneristica.

Per riepilogare, i sette principali fattori che determinano l'alta performance energetica dell'edificio ET1, NID e AIC sono:

1. gli impianti di climatizzazione estiva a tutt'aria a portata variabile (VAV), con regolazione automatica;
2. l'uso di UTA con recupero di calore e free-cooling;
3. l'uso del calore proveniente dalla cogenerazione attraverso la rete di teleriscaldamento per i servizi di umidificazione dell'aria e di climatizzazione invernale;

4. l'elevata quota di illuminazione naturale permessa dall'ampia superficie vetrata e dai lucernari, in accoppiamento con la regolazione automatica puntuale e continua del flusso luminoso e con la tecnologia a LED;
5. le buone caratteristiche dell'involucro termico, sia per le strutture opache che per quelle trasparenti;
6. l'impianto fotovoltaico ubicato sulla copertura dell'edificio.

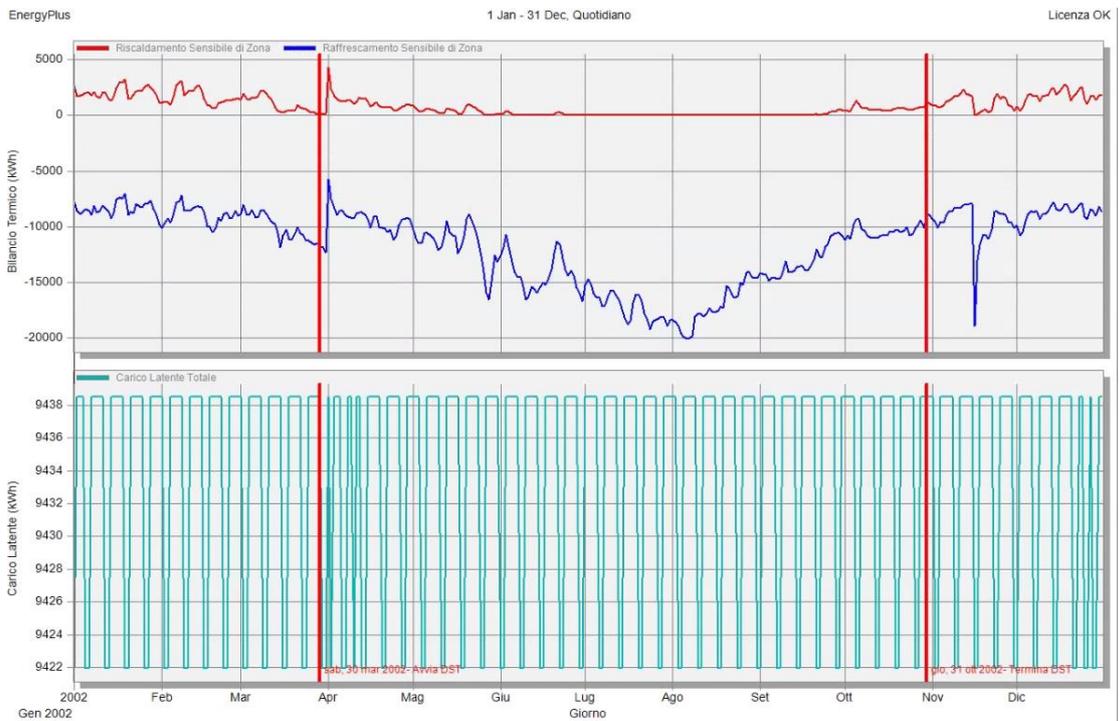
Un importante elemento di eco-sostenibilità, talvolta sottovalutato anche dalla stessa normativa, è la priorità che il progettista ha dato alle soluzioni per l'efficienza energetica rispetto all'uso di fonti rinnovabili. Prima sono state utilizzate le migliori tecnologie disponibili, compatibilmente coi vincoli locali, per contenere quanto più possibile il fabbisogno energetico ed i consumi di energia primaria, mantenendo ovviamente il livello di comfort desiderato; poi è stata usata la tecnologia fotovoltaica per coprire il fabbisogno di energia primaria "residuale". Questo approccio è corretto perché l'efficienza energetica ha un valore di eco-sostenibilità maggiore rispetto all'uso di energie rinnovabili, sia in termini di *life-cycle* (consumo di energia e materie prime) che di impatti sull'ambiente locale (es. inquinamento elettromagnetico, paesaggio, *shift* su fonti fossili in caso di malfunzionamenti, ecc.). Le energie rinnovabili, soprattutto se prodotte in sito, restano un fattore importantissimo per la definizione di edifici ad energia quasi zero, ma in subordine rispetto all'efficienza energetica che è il primo e più importante elemento di eco-sostenibilità. Di questo concetto è stato tenuto conto nella progettazione dell'edificio ET1, NID e AIC, che pertanto presenta performance energetiche elevate anche senza considerare la produzione locale di energia rinnovabile.

I grafici che seguono rappresentano l'andamento annuale - con risoluzione giornaliera - di alcune grandezze di interesse per l'analisi energetica dinamica effettuata, quali rispettivamente:

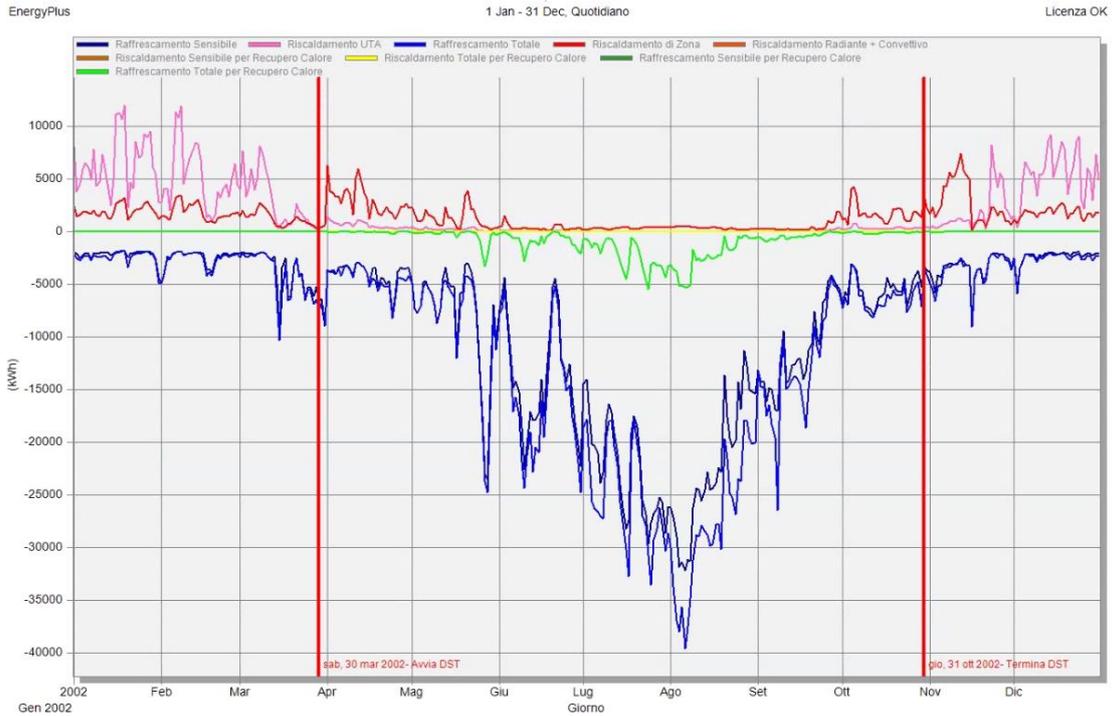
- Dati meteo della località (Roma – Fiumicino)
- Apporti energetici
- Carichi di sistema
- Dati di comfort (temperatura e umidità) relativi all'area passeggeri.



Simulazione dinamica sistema edificio-impianto dell'edificio ET1, NID e AIC  
Dati meteo della località (Roma – Fiumicino)



Simulazione dinamica sistema edificio-impianto dell'edificio ET1, NID e AIC - Apporti energetici



Simulazione dinamica sistema edificio-impianto dell'edificio ET1, NID e AIC - Carichi di sistema



Simulazione dinamica sistema edificio-impianto dell'edificio ET1, NID e AIC – Zona 6.55\_LC CX  
Esempio Dati di comfort (temperatura e umidità relativa) nell'area passeggeri

## 6. Indicazione del livello di eco-sostenibilità in base allo studio ENAC "Criteri di progettazione eco-sostenibile e gestione dei terminal aeroportuali"

Nell'ambito della policy energetico-ambientale del settore aeroportuale italiano, attualmente in fase di definizione da parte dell'ENAC col supporto del MATTM, è stato redatto uno studio intitolato "*Criteri di progettazione eco-sostenibile e gestione dei terminal aeroportuali*", finanziato nel *POI Energie rinnovabili e risparmio energetico 2007-2013* ed approvato da ENAC il 15.7.2014. Tale documento costituisce una prima linea guida per la definizione e l'applicazione dei criteri per la progettazione e la gestione ecosostenibile dei terminal aeroportuali italiani. In esso è definita una metodologia per l'assegnazione di un punteggio numerico ad un indicatore che identifica univocamente il livello di eco-sostenibilità del terminal aeroportuale in esame, in base ad una serie di criteri delineati nello studio. Il principio ispiratore della linea guida è il controllo puntuale, fin dalle prime fasi progettuali, dei flussi di energia e materia necessari alla costruzione ed alla gestione del terminal stesso.

L'applicazione dei criteri contenuti nello studio succitato sono riportati in Allegato e forniscono il risultato sintetizzato nella tabella che segue:

	<b>ET1, NID e AIC</b>
Punteggio conseguito	72
Livello di eco-sostenibilità raggiunto	4

Come si può vedere, l'edificio ET1, NID e AIC consegue un punteggio di 72 il che, in combinazione con i consumi specifici di energia primaria dell'edificio, attribuisce ad entrambi un livello di eco-sostenibilità pari a 4 in una scala crescente da 1 a 5.

## 7. Conclusioni

Dal quadro di sintesi dei fabbisogni energetici e dei consumi di energia finale e primaria del sistema edificio-impianto, l'edificio di progetto ET1, NID e AIC risulta altamente performante in termini di contenimento dei consumi energetici. Un valore di consumo complessivo specifico di energia primaria attorno ai 50 kWh/m<sup>3</sup>/anno, comprensivo di tutti i fabbisogni per climatizzazione estiva ed invernale, trattamento dell'aria ed illuminazione, è quanto di meglio si possa ottenere con le tecnologie attuali e con le condizioni al contorno dell'edificio in questione, che vincolano la progettazione architettonica ed ingegneristica.

Per riepilogare, i sei principali fattori che determinano una buona performance energetica dell'edificio in esame sono:

1. Lo sfruttamento della rete di teleriscaldamento alimentato da cogenerazione ad alta efficienza;
2. Gli impianti di climatizzazione estiva a tutt'aria a portata variabile (VAV), l'uso di UTA con recupero di calore e free-cooling;
3. L'elevata quota di illuminazione naturale in accoppiamento con la regolazione automatica puntuale e continua del flusso luminoso e con la tecnologia a LED;
4. Le buone caratteristiche dell'involucro termico, sia per le strutture opache che per quelle trasparenti;
5. L'impiego di macchine ad alta efficienza per il raffrescamento degli ambienti;
6. La percentuale di energia primaria prodotta dagli impianti fotovoltaico ubicati sulla copertura dell'edificio.

Un importante elemento di eco-sostenibilità, talvolta sottovalutato anche dalla stessa normativa, è la priorità che il progettista ha dato alle soluzioni per l'efficienza energetica rispetto all'uso di fonti rinnovabili. Prima sono state utilizzate le migliori tecnologie disponibili, compatibilmente coi vincoli locali, per contenere quanto più possibile il fabbisogno energetico ed i consumi di energia primaria, mantenendo ovviamente il livello di comfort desiderato; poi è stata usata la tecnologia fotovoltaica per coprire il fabbisogno di energia primaria "residuale". Questo approccio è corretto perché l'efficienza energetica ha un valore di eco-sostenibilità maggiore rispetto all'uso di energie rinnovabili, sia in termini di *life-cycle* (consumo di energia e materie prime) che di impatti sull'ambiente locale (es. inquinamento elettromagnetico, paesaggio, *shift* su fonti fossili in caso di malfunzionamenti, ecc.). Le energie rinnovabili, soprattutto se prodotte in sito, restano un fattore importantissimo per la definizione di edifici ad energia quasi zero, ma in subordine rispetto all'efficienza energetica che è il primo e più importante elemento di eco-sostenibilità. Di questo sottile concetto è stato tenuto conto nella progettazione del lotto 2 dell'ampliamento ovest del terminal T1, che pertanto presenta performance energetiche elevate anche senza considerare la produzione locale di energia rinnovabile.

\*\*\*

## **8. Allegati**

A. EnergyPlus Engineering Reference - The Reference to Energy Plus Calculations, 1 Oct. 2016

B. Ipotesi principali per la modellazione in regime dinamico

C. Calcoli EnergyPlus simulazione edificio ET1, NID e AIC

D. Nota per la lettura degli allegati

E. Matrice di ecosostenibilità

\*\*\*