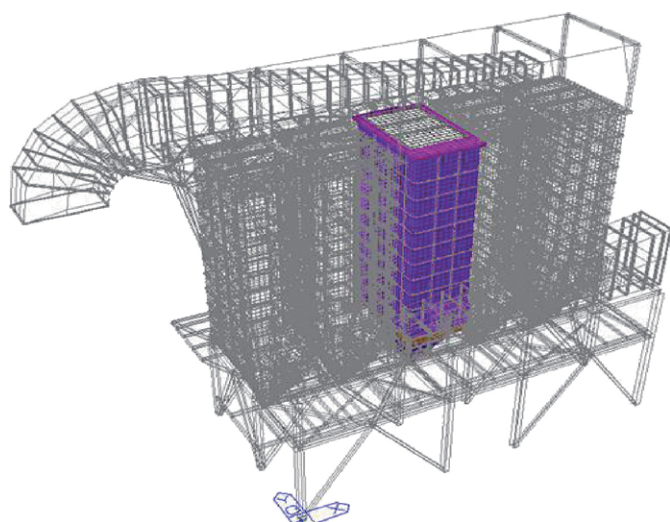


# Progetto

## Progetto di un filtro a maniche in zona sismica: Arabia Saudita

Francesco Quaglia<sup>1</sup>, Maurizio Quaglia<sup>1</sup>, Giuseppe Quaglia<sup>1</sup> ■



**Nome dell'opera/progetto:**

Bag House Filter.

**Ubicazione:**

Jubail Industrial City - Saudi Arabia

**Committente:**

Privato

**Coordinatore progettazione strutturale:**

Engineers & Architects Design Consulting

**Supporto alla progettazione:**

Quaglia+Partners - Engineers & Architects Design Consulting

**Anno completamento lavori:**

2017

### 1. Sommario

Il modello presentato riguarda il dimensionamento delle strutture in acciaio di un filtro a maniche per un impianto oil and gas sito in Arabia Saudita, secondo la normativa americana AISC e la normativa SABIC Engineering Standards (SES). Il filtro presenta cinque casing, separati, in lamiera in acciaio, ciascuno dotato di tramoggia; su un lato è presente un condotto in acciaio per i fumi in ingresso e sul lato opposto è presente un analogo condotto per i fumi in uscita. Sopra alla copertura del filtro è presente una struttura in acciaio a servizio di un paranco. Sotto alle tramogge e nella zona dei due condotti sono presenti delle passerelle di servizio. Queste strutture sono supportate da colonne, controventi e travi in acciaio, sulle quali si trovano gli appoggi del filtro.

<sup>1</sup> QUAGLIA+PARTNERS Engineers & Architects Design Consulting Abbiategrosso (MI), Italia - [info@quagliapartners.it](mailto:info@quagliapartners.it)

Si sono effettuate l'analisi statica, dinamica modale lineare con spettro di risposta, termica, poiché è prevista la possibilità che i casings lavorino a temperature diverse. È stata implementata la "Boundary change analysis", in particolare per il progetto dei controventi, per tenere in conto il fatto che i controventi lavorano solo sotto azioni orizzontali e non verticali e che quelli a "X" lavorano a diagonale tesa attiva. Gli aspetti salienti relativi alla modellazione e al calcolo sono stati presentati in occasione del Congresso del CTA –"XXVI giornate italiane della Costruzione in Acciaio" tenutosi a Venezia dal 28 al 30 Settembre 2017.

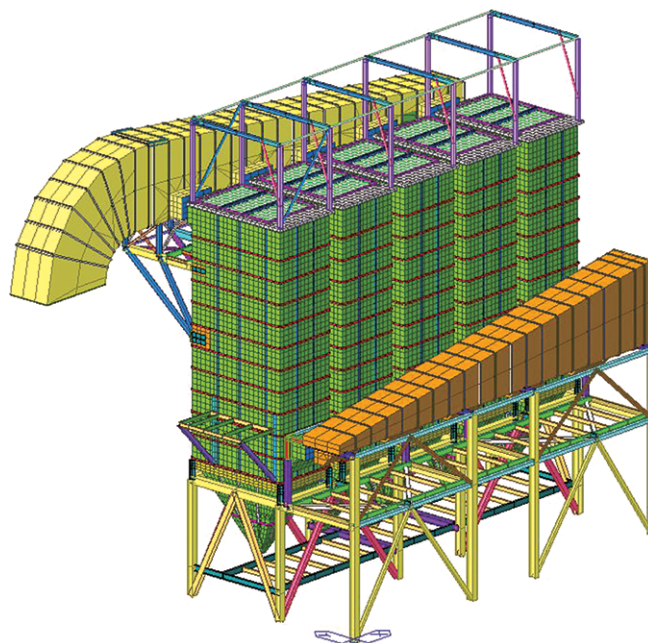
## 2. Descrizione

Il modello FEM del filtro a maniche è stato implementato attraverso 376 elementi tipo "truss" (per modellare i controventi), 8556 elementi tipo "beam" (per modellare le travi, le colonne e i rinforzi dei casings) e 25978 elementi tipo "plate" (per modellare i casings). La struttura ha dimensioni in pianta di circa 7.15 x 15.50 m; i casings hanno un'altezza di circa 13.00 m; l'altezza totale dell'impianto è di circa 18.00 m. il peso totale della sola struttura in acciaio è di circa 1900 kN. Le colonne, vista la presenza di controventi, sono state considerate incernierate alla base, non trasmettendo così nessuna azioni flettente in fondazione. I carichi considerati sono il peso proprio, la pressione, il peso della polvere nelle tramogge, la coibentazione, il peso delle maniche e dei cestelli, la presenza di un paranco sulla sommità del filtro, l'azione del vento, i carichi variabili sulle passerelle, l'azione del sisma e la differenza di temperatura tra i diversi casings: infatti nelle specifiche di progetto imposte dal Cliente vi era quella che prevedeva la possibilità che, a seguito di manutenzione di un solo casing (che verrebbe a trovarsi così a temperatura diversa dagli altri), si creasse una differenza di temperatura con altre parti del filtro con il rischio di sforzi aggiuntivi. Inoltre un'altra specifica ragionevole (in termini di probabilità di accadimento) richiesta del Cliente è stata quella di considerare che l'evento sismico non potesse verificarsi in contemporanea all'evento di malfunzionamento dell'impianto, quando cioè le tramogge sarebbero state piene di polvere: quindi durante l'evento sismico si è considerata la presenza di polvere nelle tramogge pari a circa un terzo del loro volume. Al contrario, in condizioni statiche, come è più ragionevole aspettarsi in termini probabilistici, è stata considerata anche la combinazione di carico con tramogge piene di polvere per l'intero loro volume. È stata seguita la normativa vigente, in particolare AICS and SABIC Engineering Standards (SES), di seguito indicate:

- B02-S01: Specification for Fabrication of Structural Steel\_REV 2 JUN 2004;
- B02-E03: Wind load on structures\_REV 1 MAR 2004;
- B50-F01-13: Standard Anchor Bolts and Sleeves\_REV 2 JAN 2004;
- B55-E01: Anchor Bolt Design\_REV 0 NOV 1998;
- B01-F01-07: Stair and Angle Handrail Details\_REV 1 APR 2001;
- B01-F01-08: Grating Typical Details\_REV 1 APR 2001, UBC (1997).

Lo spessore dei condotti, dei casings e delle tramogge è pari a 4mm, ma questi elementi sono stati rinforzati mediante profili verticali e orizzontali (cerchiature), al fine di evitare deformazioni e sforzi troppo elevati. Inoltre la lamiera costituente i casings è stata localmente rinforzata, per mezzo di piatti saldati, a causa del valore troppo alto degli sforzi in corrispondenza

Figura 1  
Vista tridimensionale del  
modello di calcolo.



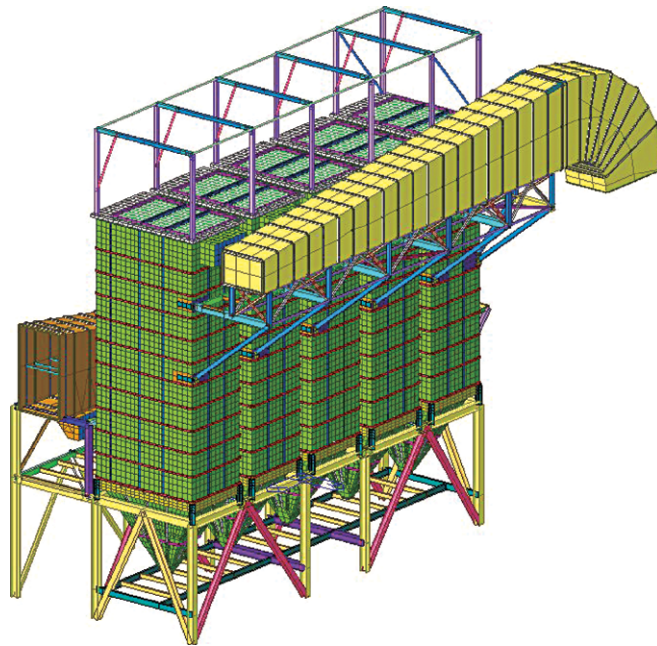


Figura 2  
Vista del modello  
tridimensionale dal lato  
opposto.

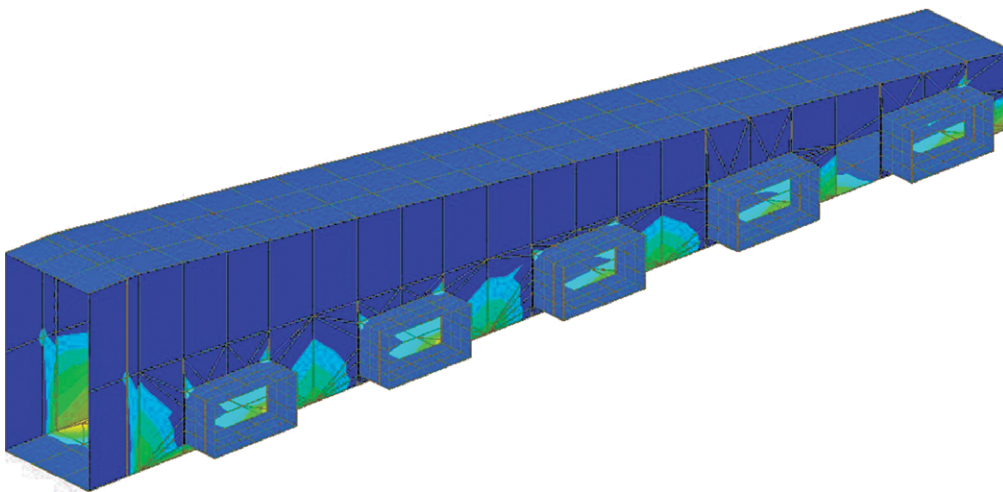


Figura 3  
Vista tridimensionale del  
condotto di uscita del gas.

dell'unione tra lamiera stessa e i puntoni di sostegno delle passerelle. Le tramogge sono state internamente rinforzate mediante l'inserimento di sezioni tubolari circolari che sia incrementano la loro rigidità sia contrastano l'effetto della pressione interna. Le passerelle sono tali che i cosciali (UPN) risultano, nell'esecutivo, sovrapposti ad alcuni degli elementi della struttura portante: questa condizione è stata simulata con successo attraverso l'uso di "Elastic link type rigid", che hanno permesso di considerare due elementi sovrapposti, ma con i baricentri sfalsati, proprio come nella realtà. È stata implementata l'analisi agli autovalori attraverso il metodo dei vettori di Ritz, che di solito si adatta meglio all'analisi di strutture in acciaio di questo tipo rispetto ad altri metodi disponibili e presenti nei software di calcolo. Non sono stati considerati piani rigidi poiché i casings all'interno sono vuoti e le parti che costituiscono la chiusura in sommità non presentano le caratteristiche (in particolare spessore) per poter essere considerate tali. Il tool integrato nel software di calcolo per modellare le sezioni di forma non convenzionale ha permesso di considerare, come avviene di fatto nella realtà, i rinforzi dei casings collaboranti con la lamiera. L'azione del sisma è stata considerata secondo quanto riportato in UBC (1997), con un profilo del suolo tipo Se e un fattore per la zona sismica pari a 0.075. I vincoli a terra sono stati considerati rigidi, anziché essere modellati come molle su suolo elastico e ciò è dovuto principalmente alla seguente considerazione: quando tra struttura e suolo si applicano dei vincoli di tipo a molla elastica (ad esempio per simulare la presenza di suolo alla Winkler), di solito la rigidità della struttura decresce, mentre il periodo di vibrazione aumenta, rischiando di avere come risultato finale (data la conformazione delle curve degli spettri di risposta) delle accelerazioni inferiori e quindi delle forze sismiche inferiori a quelle possibili realmente.



L'azione del vento è stata definita secondo quanto indicato in B02-E03: Wind load on structures\_REV 1 MAR 2004. I risultati sono mostrati nella seguente tabella 1:

Tabella 1 - Azione del vento

Sopravvento

Altezza	Velocità di base del vento	Velocità di base del vento	Coeff. di esposizione	Fattore di importanza	Pressione del vento	Fattore di Gust	Coeff. di pressione esterna	Pressione di progetto
H	V	V	kz	I	qz	G	CP	p
(m)	(km/h)	(m/s)	-	-	(kN/m <sup>2</sup> )	-	-	(kN/m <sup>2</sup> )
4.5	155	43.06	1.030	1.150	1.35	0.85	0.8	0.92
6	155	43.06	1.077	1.150	1.41	0.85	0.8	0.96
7.5	155	43.06	1.117	1.150	1.46	0.85	0.8	0.99
9	155	43.06	1.156	1.150	1.51	0.85	0.8	1.03
12	155	43.06	1.216	1.150	1.59	0.85	0.8	1.08
15	155	43.06	1.266	1.150	1.65	0.85	0.8	1.12

Sottovento

Altezza	Velocità di base del vento	Velocità di base del vento	Coeff. di esposizione	Fattore di importanza	Pressione del vento	Fattore di Gust	Coeff. di pressione esterna	Pressione di progetto
H	V	V	kz	I	qz	G	CP	p
(m)	(km/h)	(m/s)	-	-	(kN/m <sup>2</sup> )	-	-	(kN/m <sup>2</sup> )
4.5	155	43.06	1.030	1.150	1.35	0.85	0.5	0.57
6	155	43.06	1.077	1.150	1.41	0.85	0.5	0.60
7.5	155	43.06	1.117	1.150	1.46	0.85	0.5	0.62
9	155	43.06	1.156	1.150	1.51	0.85	0.5	0.64
12	155	43.06	1.216	1.150	1.59	0.85	0.5	0.68
15	155	43.06	1.266	1.150	1.65	0.85	0.5	0.70

La modellazione dei controventi ha tenuto conto del fatto che la struttura in acciaio controventata è stata progettata in modo che le colonne e le travi siano destinate a sopportare i carichi verticali senza l'intervento dei controventi, i quali lavorano solo in caso di azioni orizzontali. Per simulare questo comportamento è stata implementata la "Boundary change analysis", che permette a diversi casi di carico di poter mantenere condizioni al contorno separate all'interno di un modello. Così, nel caso in esame, si è potuto associare l'intervento dei controventi solo ai casi di carico desiderati (tipicamente quelli statici, escluso il vento). Il vantaggio di tale analisi, non presente in tutti i software, è quello di poter gestire in un unico modello tutte le analisi necessarie, senza dover ricorrere alla duplicazione del modello di calcolo originale e senza tutte le complicazioni che ciò comporterebbe. La procedura è la seguente:

1. Definire tanti "Boundary Groups" quanti sono i diversi casi di carico.
2. Definire le condizioni al contorno e i casi di carico.
3. Applicare i carichi.
4. Assegnare i diversi "Boundary Groups" a tutti i casi di carico.
5. Implementare l'analisi.
6. Controllare i risultati.

L'analisi relativa agli effetti termici ha riguardato due aspetti. Il primo è inerente alla differenza di temperatura esistente tra i casings che lavorano in simultanea con un valore di progetto della temperatura di 250° e l'ambiente, la cui temperatura convenzionale è pari a 20°. Il secondo, già accennato in precedenza, è inerente alla possibilità che uno solo dei casings sia soggetto a manutenzione e debba quindi essere raffreddato fino a temperatura ambiente. Per tutti questi motivi, ciascun casing è connesso alla sottostante struttura portante mediante quattro appoggi, di cui uno fisso che non permette alcun movimento reciproco, e tre (guide) che consentono gli spostamenti rispettivamente in direzione X, in direzione Y e in entrambe le direzioni in pianta. In questo modo gli spostamenti relativi tra i casings e le strutture portanti sono possibili e non nascono sforzi aggiuntivi che potrebbero propagarsi nelle strutture, rischiando di minarne la stabilità e la resistenza. In ogni caso tutti gli appoggi, sia fissi sia le guide sono stati realizzati di adeguata rigidità per sopportare i carichi verticali da trasmettere.

Analogamente i condotti di entrata e di uscita del gas sono connessi alla struttura del filtro attraverso giunti di espansione che ne permettono i movimenti reciproci. Infine anche i singoli casings sono collegati tra loro mediante passerelle giuntate che ne permettono il movimento reciproco, essendo ciascun casing libero di espandersi e contrarsi. Naturalmente la contropartita al

fatto di non avere propagazione di sforzi aggiuntivi nelle strutture risiede nelle maggiori deformazioni: pertanto in casi simili i giunti di collegamento devono essere adeguatamente dimensionati per assorbire tali dilatazioni e contrazioni. In particolare, quando un solo casing è sottoposto a manutenzione, alcuni profili facenti parte della struttura portante che sorregge il condotto di uscita del gas e che risulta collegata a tutti i casings presentavano sforzi troppi elevati e pertanto le connessioni sono state realizzate mediante fori asolati, in modo da permettere ancora una volta i movimenti reciproci tra le parti in gioco ed evitare l'amplificarsi delle sollecitazioni negli elementi.

In questa analisi le proprietà del materiale acciaio sono state modificate, per tenere conto della loro variabilità all'aumentare della temperatura di progetto, attraverso dei coefficienti correttivi desumibili dalla tabella riportata sotto. Poiché la temperatura di progetto richiesta vale 250°, i coefficienti correttivi da applicare alle diverse proprietà sono ricavati per interpolazione lineare tra i valori 200° e 300°.

Fattori di riduzione alla temperatura $\theta_a$ relativi ai valori $f_y$ o $E_a$ a 20°C				
Temperatura dell'acciaio $\theta_a$	Fattore di riduzione per la resistenza effettiva a snervamento (relativo a $f_y$ ) $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Fattore modificato per soddisfare il criterio di deformazione (relativo a $f_y$ ) $k_{x,\theta} = f_{x,\theta}/f_y$	Fattore di riduzione per il limite di proporzionalità (relativo a $f_y$ ) $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Fattore di riduzione per la pendenza dell'intervallo di elasticità lineare (relativo a $E_a$ ) $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20° C	1,000	1,000	1,000	1,000
100° C	1,000	1,000	1,000	1,000
200° C	1,000	0,922	0,807	0,900
300° C	1,000	0,845	0,613	0,800
400° C	1,000	0,770	0,42	0,700
500° C	0,780	0,615	0,36	0,600
600° C	0,470	0,354	0,18	0,310
700° C	0,230	0,167	0,075	0,130
800° C	0,110	0,087	0,05	0,090
900° C	0,060	0,051	0,037 5	0,067 5
1000° C	0,040	0,034	0,025 0	0,045 0
1100° C	0,020	0,017	0,012 5	0,022 5
1200° C	0,000	0,000	0,000 0	0,000 0

Figura 4  
Tabella 3.1 Fattori di modificazione delle proprietà dell'acciaio in funzione della temperatura.

Nota - Per i valori intermedi della temperatura dell'acciaio può essere utilizzata l'interpolazione lineare.

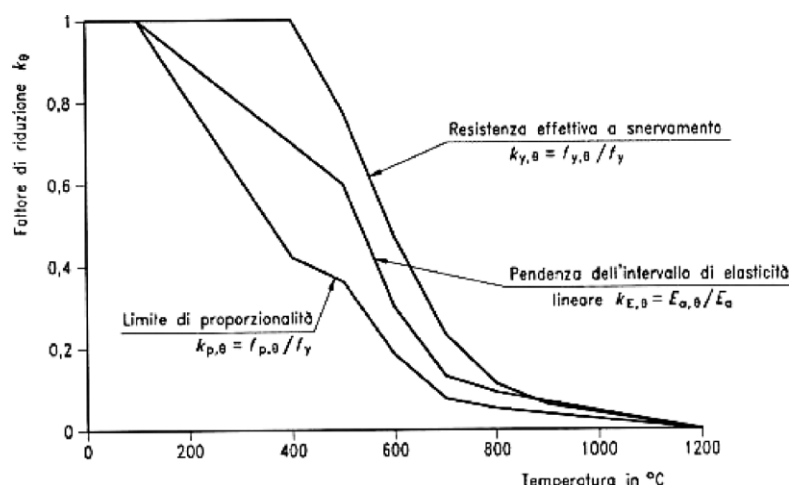


Figura 5  
Fattori  $k_{y,\theta}$ ,  $k_{p,\theta}$ ,  $k_{E,\theta}$  (asse Y) in funzione della temperatura (asse X).

### 3. Conclusioni

La peculiarità di questo lavoro risiede in tre aspetti principali. Il primo riguarda l'attenzione che è stata posta nell'effettuare l'analisi in temperatura, secondo i diversi scenari richiesti dall'utente finale. Infatti la presenza di cinque casing separati, anziché un'unica unità come di solito avviene, e la richiesta dell'utente finale di considerare la condizione in cui un solo casing sia sottoposto a manutenzione (e perciò portato a temperatura ambiente), mentre gli altri quattro continuano a rimanere operativi

lavorando alla temperatura di progetto, ha obbligato ad analizzare a fondo la diffusione degli sforzi nelle strutture e i dettagli costruttivi dei collegamenti, al fine di evitare di avere sforzi aggiuntivi indesiderati e potenzialmente dannosi per le strutture. Il secondo riguarda invece la modellazione dei controventi: infatti, grazie all'analisi effettuata, la cosiddetta "Boundary change analysis", è stato possibile simulare in modo realistico, utilizzando un unico modello di calcolo numerico, diverse situazioni progettuali in cui i controventi hanno potuto essere considerati attivi solo se associati a determinate condizioni di carico e di vincolo. Questo ha permesso di riprodurre con il software il comportamento più realistico possibile della struttura, ottimizzando la gestione della commessa in termini di tempo e di propagazione e correzione degli eventuali errori. Quest'ultimo aspetto sarebbe stato decisamente più complicato da gestire se si fosse dovuto ricorrere a due o più modelli differenti, come spesso avviene. Infine un ultimo obiettivo di questo lavoro è stata l'ottimizzazione del progetto: sono stati tenuti e in conto e ottimizzati i rapporti peso/resistenza e peso/deformazioni.

### **Bibliografia**

ANSI/AISC 360-10: Specification for Structural Steel Buildings.  
AISC: Design Examples, Version 14.1, 2011.  
B02-S01: Specification for Fabrication of Structural Steel, REV 2 JUN 2004.  
B02-E03: Wind load on structures, REV 1 MAR 2004.  
B50-F01-13: Standard Anchor Bolts and Sleeves, REV 2 JAN 2004.  
B55-E01: Anchor Bolt Design, REV 0 NOV 1998.  
B01-F01-07: Stair and Angle Handrail Details, REV 1 APR 2001.  
B01-F01-08: Grating Typical Details, REV 1 APR 2001.  
B01-F01-07: Stair and Angle Handrail Details, Rev 1 Apr 2001.  
B02-S05: Fabricated Steel Grating, Rev 1 Mar 2004.  
B02-E01: Guideline for the Design of Floor Plate and grating, Rev 0 Aug 1998.  
B05-F03: Steel Floor Plate, Grating, and Metal Deck Anchorage, Rev 0 Jun 1998.  
UBC (1997).  
MIDASGEN Design manual.

### **Gli Autori**

QUAGLIA+PARTNERS

Engineers & Architects Design Consulting

**Q+P** offre un team multidisciplinare specializzato in progettazione e direzione lavori strutturale e architettonica, project management e attività varie di consulenza tecnica, in campo internazionale.

**Q+P** opera a supporto di soggetti pubblici e privati e di selezionati studi di architettura di riconosciuto livello, con un approccio che si distingue per competenze trasversali al mondo dell'architettura e dell'ingegneria, garantendo soluzioni innovative uniche, esclusive e di elevata qualità.