

Nel cielo sopra Guidonia... In the sky over Guidonia...

Claudio Cascieri,
Buzzi Unicem S.p.A.

Direzione Ingegneria
Engineering Division

...qualcosa è cambiato!
Le strutture dello stabilimento vicino Roma si sono arricchite di un nuovo simbolo: una ciminiera del forno, in calcestruzzo, di 60 metri, che sostituirà l'attuale, metallica e di altezza poco inferiore.

...something has changed!
The plant facilities near Rome have been enriched with a new symbol: a kiln chimney in concrete, 60 meters tall, that will replace the present shorter metal stack.

12

La ciminiera attuale, metallica, di diametro di 5 metri ed altezza di 55 metri, entrata in esercizio nel 1971, è stata sostituita a seguito della sua progressiva corrosione interna, in quanto lo spessore medio del mantello ha subito, col tempo, una riduzione da 12 mm a 5 mm ca.

La sua ricostruzione ha dovuto rispondere ai quesiti progettuali che seguono, diversi rispetto alla prima realizzazione, in riferimento alle mutate condizioni tecniche, tecnologiche e normative:

- soluzione metallica o in calcestruzzo?
- in funzione della portata dei gas e della dispersione al suolo, stessa geometria o nuova?
- autoportante o in adiacenza alla struttura della torre di preriscaldamento del forno?

Gli aspetti progettuali

Soluzione metallica o in calcestruzzo?

Poiché la riduzione di spessore della ciminiera esistente è da imputarsi alla corrosione chimica - dovuta all'utilizzo di combustibili ad alto tenore di zolfo, doro, ecc... e, poiché, in futuro si prevede, per lo stabilimento di Guidonia, l'impiego sempre maggiore di "waste", il calcolo relativo ha determinato nuovi spessori, maggiorati con criteri antisismici (Guidonia nel 1970 non

era considerata zona sismica) nonché, vista l'esperienza dello stabilimento di Alamo, Tx, U.S.A., una protezione adeguata, in presenza di contenuto aggressivo. Alcuni fattori hanno concorso a farci percorrere la strada dello studio di progettazione con calcestruzzo: l'elevato costo della sola verniciatura interna (circa 140.000 € per fornitura e posa di 700 micron di rivestimento), i tempi richiesti per lo smontaggio della ciminiera attuale, il montaggio della nuova (circa 20 giorni lavorativi a forno fermo) composta da 7 tronchi di virole da preassiemare sul posto in 3 tronchi, e, non ultimo, l'indeterminatezza della durabilità dell'opera. La soluzione in calcestruzzo, infatti, nell'esecuzione operativa dei casseri scorrevoli, illustrata più avanti, ha presentato una fattibilità più semplice e più economica.

Con l'apporto del Centro Ricerche di Guidonia, ed il contributo della *Addiment Italia S.r.l.*, è stato avviato uno studio delle modalità di esecuzione dell'opera e della definizione del tipo di calcestruzzo.

Le esigenze che sono emerse possono essere così riassunte:

- tempo di lavorabilità non inferiore a 60 minuti;

- classe di consistenza S4, con slump compreso tra 18 e 21 cm;

- resistenza minima 3 ore, pari a 0,25 N/mm²;

- resistenza a 28 giorni pari a 35 N/mm².

La ricetta elaborata per ottenere i risultati attesi può essere così espressa per m³ di miscela:

- cemento IV/A 42,5 pozzolanico	400 kg
- acqua totale	150 lt
- additivo fluidificante Addiment 39/PI	5 lt
- inerte arrotondato diam. max	20 mm
- rapporto A/C	0,45
- fibre crack stop	480 gr.

Si è stabilito di usare cemento pozzolanico anziché portland (comunemente usato in costruzioni simili) per due caratteristiche peculiari, vantaggiose per il requisito di durabilità:

1) l'idratazione più lenta produce una riduzione, sia del ritiro plastico che di quello igrometrico, con una conseguente riduzione del fenomeno fessurativo finale; con-

siderando i precoci tempi di sformatura, si è ritenuto opportuno aggiungere anche delle fibre in polipropilene e trattare la superficie esterna con un antievaporante;

2) il calcestruzzo che si ottiene presenta un minore attacco da parte degli agenti aggressivi, in particolare dei cloruri e solfati che si riscontrano nei fumi che vengono smaltiti.

Stessa geometria o nuova, in funzione della portata dei gas e della dispersione al suolo?

Il calcolo fluidodinamico effettuato sulla base dell'efflusso è stato finalizzato ad ottenere una velocità d'uscita che tenesse conto:

1) dell'effetto termo-cinetico (innalzamento del pennacchio);

2) del contenimento della potenza sonora generata nel camino stesso.

La velocità di efflusso è stata così incrementata dal valore di 9,8 m/s al valore di 13,5 m/s.

L'incremento di velocità e il leggero incremento di altezza del camino sono stati definiti in funzione delle ricadute atmosferiche, problematica da cui oggi non si può prescindere in simili progettazioni.

L'innalzamento di 5 metri del camino comporta, in presenza delle condizioni anemologiche più sfavorevoli, una riduzione della concentrazione massima al suolo di circa il 6% nella zona circostante l'insediamento produttivo.

E' il giusto compromesso tecnico-economico, anche in considerazione del fatto che le immissioni risulteranno ulteriormente ridotte a seguito del necessario adeguamento della cementeria ai nuovi limiti emissivi, resi più restrittivi dalla normativa di prossima attuazione.

Autoportante o in adiacenza alla struttura della torre di preriscaldamento del forno?

La nuova ciminiera è stata realizzata a circa 12 metri dalla esistente per facilitare l'utilizzo dell'eshaustore e limitare l'allungamento delle tubazioni.

Il layout attuale e la presenza di macchine e impianti non ha consentito di accostare la nuova ciminiera in adiacenza alla struttura della torre di preriscaldamento del forno.

Accostarsi alla torre del forno, inoltre, pre-

supponeva essere ad una certa distanza dalle fondazioni esistenti (per lo meno 5 metri). Appoggiare o inserire la costruzione alle fondazioni esistenti avrebbe richiesto l'adeguamento sismico del fabbricato adiacente costruito prima del 1983, anno in cui Guidonia è stata inserita tra le zone a sismicità $S=9$ (ai sensi del D.L. 1/4/83).

La soluzione autoportante, dunque, è risultata la più conveniente sia per gli aspetti tecnici che per quelli economici.

Il progetto dell'opera è stato poi condotto sulla base di requisiti resi impegnativi dalle sollecitazioni statiche e dinamiche, indotte dal vento e dall'effetto sisma e dalle differenze di temperatura tra l'ambiente esterno e lo stato dei gas all'interno della ciminiera. Il risultato ottenuto è stato di una fondazione circolare di diametro pari a 10 metri e spessore di 2 m, di una canna in elevazione di diametro interno pari a 4,4 m ed un'altezza di 60 m, con spessori variabili di 40 cm, nei primi 10 metri di altezza, e 25 cm nei restanti 50 metri.

Per il metodo di calcolo relativo ci si è avvalsi, oltre che delle normative UNI apposite, anche della normativa americana ACI 307 - 98 *Design and Construction of Reinforced Concrete Chimneys*, edita il 1 novembre del 1998 e ritenuta la più avanzata nel tema in oggetto.

La realizzazione dell'opera

Sulla base di quanto esposto circa la definizione del calcestruzzo da confezionare e da gettare in opera, sono state analizzate le possibili procedure realizzative.

Poiché i tempi di lavorabilità erano troppo ristretti, e i quantitativi da preparare per il getto nei casseri scorrevoli erano troppo ridotti, il confezionamento del calcestruzzo è stato effettuato in un cantiere attrezzato in stabilimento e non in centrale di betonaggio (che avrebbe generato tempi lunghi e imprecisione di dosaggio a causa della necessità di gettare in frazioni di $0,75 \text{ m}^3$ con betoniere di piccola capacità (1 m^3), che rifornivano con continuità il cantiere di posa nel corso delle 10 ore giornaliere.

Il calcestruzzo così ottenuto ha presentato la lavorabilità richiesta ed ha facilitato la posa in opera, ottenuta mediante una canaletta applicata alla benna di sollevamento ed orientabile dal centro verso il perimetro del getto. La compattazione dei getti è avvenuta mediante vibrazione.

La cassetta è costituita da un doppio cassero scorrevole di piccola altezza (1 metro), aderente alla forma delle pareti da realizzare e sollevato da un sistema di martinetti autolivellanti, che agiscono su dodici



By Foto Arte Montecelio

cavalletti di metallo, lungo corrispondenti barre di spinta.

Il getto di calcestruzzo, il montaggio dell'armatura, delle piastre e dei telai è stato effettuato progressivamente, secondo il sollevamento del cassero.

Il cassero scorrevole è stato dotato di doppio sottoponte, in modo tale da poter effettuare sia una adeguata frattazzatura che il posizionamento delle mensole a sostegno delle scale e dei ballatoi. La ciminiera è stata dotata, inoltre, di tutto quanto prescritto dalla legge, a partire dalla verniciatura della parte sommitale fino all'impianto di segnalazione notturna.

The present metal stack, with a diameter of 5 meters and a height of 55 meters, went into operation in 1971 and now needs to be replaced after its progressive internal corrosion: the average thickness of the shell has undergone a reduction from 12 mm to 5 mm approx, over time.

Its reconstruction has had to respond to design requirements different from those met for the first construction, in connection with the modified technical, technological and regulatory conditions:

- metal or concrete solution?
- the same geometry or a new one, depending on the gas flow and dispersion at



By Foto Arte Montecelio

ground level?

c) self-supporting or adjacent to the kiln preheater tower?

Design aspects

Metal or concrete solution?

Since the thickness reduction of the existing stack is attributable to the chemical corrosion due to the use of fuels with a high content of sulphur, chlorine, etc... – and since the Guidonia plant is expected to make an ever-greater use of “waste” in the future, the relevant calculation has determined new thicknesses, increased with anti-earthquake criteria (in 1970 Guidonia was not consid-

ered to be a seismic zone) and also as a protection against aggressive contents (considering the experience we went through at Alamo plant in TX, U.S.A.).

Some factors have contributed to the decision in favor of the concrete design study: the high cost of the single internal paint coat (about 140,000 € for supplies and laying of a 700 micron coating), the times required for the disassembly of the present stack, the assembly of the new chimney shell (about 20 working days with the kiln stopped) made up of 7 parts of chimney to be pre-assembled on site into 3 parts and, not least, the indetermination of the durability of the

work.

In fact the solution in concrete with its practical execution of the slipforms, illustrated further below, has proven to be more simple and economical. With the contribution of the Research Center of Guidonia along with the Addiment Italia S.r.l., a study has been made of the execution methods for the work and the definition of the type of concrete to be used. The requirements that have emerged can be summarized as follows:

- time of workability not less than 60’;
- consistency class S4, with slump between 18 and 21 cm;
- minimum compressive strength after 3 hours = 0.25 N/mm²;
- compressive strength after 28 days = 35 N/mm².

The recipe worked out in order to obtain the desired results can be expressed per m³ of mix as follows:

- cement IV/A 42.5 Pozzolana	400 kg
- total water	150 lt
- flowability admixture Addiment 39/PI	5 lt
- round aggregate max diam.	20 mm
- water-cement ratio	0.45
- crack stop fibers	480 gr.

It has been decided to use Pozzolana Cement instead of Portland Cement (commonly used in similar constructions) for two unique characteristics that are advantageous for the durability requirement:

- 1) the slower hydration produces a reduction in both plastic shrinkage and hygrometric shrinkage, with a consequent reduction in the final cracking phenomenon; considering the precocious times for the removal of the forms, it is also considered advisable to add polypropylene fibers and to treat the external surface with an anti-evaporant;
- 2) the concrete that is obtained is less susceptible to attacks from aggressive agents, in particular chlorides and sulphates that are found in the exhausted fumes.

Same or new geometry, it depends on the gas flow and dispersion at ground level?

The fluid dynamics calculation performed on the basis of the outflow was aimed at obtaining an exit velocity that takes into account:

- 1) the thermal kinetic effect (the raising of the plume);
- 2) the containment of the sound intensity generated in the chimney itself.

The outflow velocity has thus been increased from 9.8 m/s to 13.5 m/s. The increase in the velocity and the small increase in the height of the chimney have been determined as a function of the atmospheric repercussions, problems that today cannot be disregarded in similar designs.

The raising of the chimney by 5 meters en-

tails, under the most unfavorable anemological conditions, a reduction of the maximum concentration at ground level of about 6% in the area surrounding the productive installation. It is the proper technical-economic compromise, even in consideration of the fact that the emissions will be further reduced following the necessary adaptation of the cement plant to the new emission limits, made more restrictive by the regulations soon to be implemented.

Self-supporting or adjacent to the kiln preheater tower?

The new chimney has been realized at about 12 meters from the existing one in order to facilitate the use of the exhaustor and to limit the lengthening of the piping. The present layout and disposition of machines and systems did not allow the new chimney to be placed adjacent to the kiln preheater tower. Placing the stack alongside the kiln tower, furthermore, implies being at a certain distance from the existing foundation (at least 5 meters). Resting the construction on or inserting it into the existing foundation would have required the seismic adaptation of the adjacent building that was built before 1983, the year in which Guidonia was included among the zones of seismicity $S=9$ (according to D.L. 1/4/83). The self-supporting solution, therefore, has proven to be the most

convenient both for the technical aspects and for the economic ones.

The design of the work was then conducted on the basis of the requirements become necessary by the static and dynamic stresses, induced by the wind and the earthquake effect and by the difference in the temperature between the external environment and the state of the gases within the stack. The results obtained are the circular foundation with a diameter of 10 meters and thickness of 2 m, an elevated chimney with an internal diameter of 4.4 m and a height of 60 m, with a thickness of 40 cm in the first 10 meters of height and 25 cm in the remaining 50 meters. For the relevant calculation method, in addition to the appropriate UNI regulations, reference can also be made to the American regulations ACI 307 – 98 Design and Construction of Reinforced Concrete Chimneys, published on November 1st 1998 and considered to be the most advanced on that subject.

The realization of the work

On the basis of the definitions given for the concrete to be produced and placed, various possible procedures were analyzed. Since the workability times were too limited and quantities to be prepared for the pouring in the slipforms were too small, the pro-

duction of the concrete was carried out in an equipped worksite in the plant and not in the ready-mix plant (that would have generated long times and inaccuracy in the proportioning due to the need to pour in fractions of 0.75 m^3) with a small-capacity concrete mixer (1 m^3) that continually supplied the pouring worksite during the daily 10 hours. The concrete thus obtained presented the required workability and facilitated the pouring through an air slide attached to the lifting bucket, steerable from the center towards the perimeter of the slab. The compacting of the slabs was performed by means of vibration. The form was made up of a short double slipform (1 meter), adherent to the shape of the desired walls and lifted by a system of self-leveling jacks operating on twelve metal stands along the corresponding push bars. The pouring of the concrete, the assembly of the reinforcement bars, plates and casing was carried out progressively with the lifting of the form.

The slipform was equipped with a double underbridge so as to enable an adequate leveling as well as the positioning of the support brackets for the stairs and landings.

The chimney has been equipped, furthermore, with all that is required by law, from the paintwork of the top part to the night signaling system.



By Foto Arte Montecelio

Esempi di ciminiere nell'arte

Chimneys examples in the art

16



Maximilien Luce,
"Officina al chiar di luna", 1898.
"Workshop on moonlight", 1898.



Monet,
"Ponte di Waterloo, cielo coperto", 1900.
"Waterloo bridge, cloudy sky", 1900.



Pablo Picasso,
"Mattonificio a Tolosa", 1909.
"Brickshop in Tolosa", 1909.



Charles Sheeler, 1883-1965.
"Paesaggio americano"
"American landscape"