

Precast concrete supports for Noor III, Ouarzazate, Morocco

Supporti prefabbricati in calcestruzzo per Noor III, Ouarzazate, Marocco

J. González Cabezuelo¹, J.I. De La Calle Ortega², S. Knisel³

¹ *Sener Ingeniería y Sistemas S.A., Spain*

² *Artepref S.A., Spain*

³ *Civil Engineer, Bergamo, Italy*

ABSTRACT: The structural elements of the essay form are part of to the project called Masen-NOORoIII 150 MW Tower CSP PLANT, in Ouarzazate, Morocco. The plant is part of an extended development program for solar electricity production that Morocco entrusted to the company Moroccan Agency For Solar Energy, “MASEN” which aims to reach a productive capacity of 2000 MW by 2020. The article presents the study of precast concrete structural elements with an outer ring section diameter of 70 cm and each of them supports a heliostat on the top. They are monolithic vertical elements with an average length of 900 cm that includes an underground part to realize a fixed support. The plant, which is able to produce 150 MW, involves the pose of 7400 monoliths and related heliostats. / Gli elementi strutturali oggetto della memoria, fanno parte del progetto denominato Masen-NOORoIII 150 MW Tower CSP PLANT, sito in Ouarzazate, Marocco. L’impianto fa parte di un esteso programma di sviluppo finalizzato alla produzione di energia elettrica solare che il Marocco ha affidato alla società Moroccan Agency For Solar Energy “MASEN”, con l’obiettivo di raggiungere una capacità produttiva complessiva di 2000 MW entro il 2020. La memoria si riferisce allo studio di elementi strutturali prefabbricati in calcestruzzo armato e precompresso con sezione anulare con diametro esterno di 70, ognuno dei quali sostiene un eliostato collocato in sommità. Sono elementi monolitici verticali di lunghezza media di 900 cm di cui una parte interrata per realizzare il vincolo di incastro alla base. L’impianto prevede la posa di 7400 monoliti e relativi eliostati capace di produrre 150 MW.

KEYWORDS: precast monolithic elements; other renewable energy; heliostat; monolith; Noor III; Ouarzazate / altre energie rinnovabili; eliostato; monolite; Noor III; Ouarzazate.

1 NOOR SOLAR PROJECT

1.1 Introduzione

Il Noor Solar Project rappresenta un esteso programma di sviluppo finalizzato alla produzione di energia elettrica dal sole in Marocco.

L’impianto per la produzione di energia elettrica è ubicato nella regione di Draâ – Tafilalet, in Marocco, in un’area a circa 10 km dalla città di Ouarzazate, nella zona rurale di Ghesat, Figure 1.

L’intero Solar Project comprende la realizzazione di tre impianti termosolari ed un impianto fotovoltaico. Gli impianti termosolari sono in grado di immagazzinare l’energia solare sotto forma di sali fusi, permettendo la produzione di elettricità anche nelle ore notturne.

La stima dei costi previsti per l’intervento è di 9 miliardi di dollari.

1.2 Gli impianti

Il primo impianto, Noor I, utilizza la tecnologia SENERtrough[®] cylindrical parabolic troughs, Noor II utilizzerà SENERtrough[®]-2 parabolic trough collectors e Noor III farà uso della tecnologia SENER concentrating solar power project, Figure 2. Noor IV è stato pensato come impianto solare fotovoltaico.

Il sistema Noor I, avviato nel Dicembre 2015, immagazzina energia per un tempo massimo pari a tre ore; negli impianti Noor II e Noor III, che avranno inizio rispettivamente nel 2017 e 2018, la capacità di stoccaggio di Sali fusi raggiungerà le sette ore. L’intero intervento interesserà un’area di circa 2500 ettari, Figure 3.

Noor I utilizza un sistema di raffreddamento a freddo e l’acqua necessaria sarà prelevata dalla vicina diga di Mansour Eddahbi dam, a circa 12 km dal sito, con la possibilità di immagazzinare acqua per una capacità massima di 300,000 mc.

L'energia prodotta sarà convogliata nella centrale di Ouarzazate 225/60 KV, situata nei pressi dell'impianto.



Figure 1. Noor Solar Project, Ghesat (Morocco) / Noor Solar Project, Ghesat (Marocco).



Figure 2. Central tower technology (picture of Gemasolar power plant) / Tecnologia della torre centrale (foto di un impianto Gemasolar).



Figure 3. Construction for the first phase of Morocco's Noor I power plant Ghesat (Morocco), image from Google earth. / Costruzione dell'impianto Noor I, Ghesat (Marocco), immagine di Google earth.

1.3 Obiettivo

Il Marocco si è posto l'obiettivo di realizzare entro il 2020 una serie di impianti termosolari per arrivare a produrre circa il 50% del proprio fabbisogno di energia elettrica da fonti rinnovabili, con la possibilità di esportare l'elettricità anche in altri paesi.

Il progetto rappresenta un investimento di grande scala atto a trasformare un terreno desertico nella più grande centrale solare mai realizzata.

L'utilizzo di specchi al posto dei tradizionali pannelli fotovoltaici, pur comportando costi superiori, permette un funzionamento no stop dell'impianto e una produzione di energia anche nelle ore notturne.

Al termine della loro realizzazione i quattro impianti di Ouarzazate ricopriranno uno spazio pari all'estensione della Capitale del Marocco, Rabat, e genereranno 580 MW di energia, sufficiente a rifornire un milione di abitazioni.

Noor I è progettato per produrre da 125 MW a 160 MW di energia e consente una diminuzione delle emissioni di CO₂ pari a 240,000 t per anno, generando 1000 posti di lavoro temporanei e 60 fissi durante le fasi di costruzione e di mantenimento.

Noor II e III saranno in grado di produrre rispettivamente 200 MW e 150 MW di energia e consentiranno una diminuzione nelle emissioni di CO₂ pari a 533,000 t annue.

1.4 Descrizione e geometria

Gli elementi strutturali oggetto di studio fanno parte del progetto denominato Masen NOORIII Tower CSP PLANT che costituisce la terza fase di realizzazione del complesso. In particolare, si tratta di 7400 elementi lineari monolitici prefabbricati in calcestruzzo armato e precompresso, utilizzati a sostegno degli eliostati per l'impianto solare termoelettrico di Ouarzazate e capaci di produrre 150 MW di energia.

In Figure 4 si vedono gli elementi prefabbricati nella fase di realizzazione dell'impianto, ancora in attesa di essere completati con il collocamento sulla loro sommità degli specchi.

Gli elementi monolitici sono posati verticalmente, una parte dell'elemento viene interrata per realizzare l'incastro della struttura al terreno e una parte esterna ha il compito di sostenere gli specchi solari.

Inoltre, in sommità gli elementi presentano dei ringrossi atti a contenere gli inserti per il fissaggio del meccanismo di movimento degli specchi e per permettere agli stessi un moto di rotazione e di allineamento alla torre centrale, Figure 5.

L'elemento strutturale prefabbricato in calcestruzzo presenta una sezione anulare con diametro esterno di 70 cm ed è progettato per sostenere un eliostato di 180 mq di superficie collocato in sommità a 5.75 m dal suolo. La lunghezza media dell'elemento è 900 cm e comprende una porzione interrata di lunghezza

variabile che realizza l'incastro alla base, come schematizzato in Figure 6.

Si è reso necessario l'impiego della precompressione, mediante l'utilizzo di trefoli da ½" posti in tensione nella fase di realizzazione dell'elemento. Questa tecnologia ha permesso da un lato di contenere le dimensioni della sezione e dall'altro di rispondere ai requisiti strutturali richiesti dal progetto.

Le azioni di progetto sono principalmente dovute all'azione del vento e sismiche che generano sul monolite sollecitazioni flessionali, torcenti e di taglio.

Le azioni di progetto dovute al vento sono state ricavate da valori ottenuti con strumenti collocati nel sito di ubicazione dell'impianto e in opportuni e più significativi punti.

Le particolari caratteristiche meccaniche del terreno, suddiviso in tipo UG1 e UG2, riportate in Table 3, hanno permesso di realizzare un adeguato vincolo di incastro dell'elemento, Figure 6, già con profondità di innesto comprese tra i 3 e i 3,5m.

Il diametro del foro eseguito nel terreno, variabile tra i 110 e i 130 cm, è ottenuto con una trivella e, dopo l'inserimento dell'elemento prefabbricato, viene riempito con calcestruzzo che a maturazione avvenuta, è in grado di trasferire gli sforzi derivati dal monolite al terreno.



Figure 4. Piles in situ / Pali in opera.



Figure 5. Solar thermal technology with mirrors which track the movement of the sun / Specchi solari utilizzati nell'impianto.

L'intero sistema, composto da monolite, in parte interrato e in parte fuori terra, e dalla calcestruzzo di riempimento del foro di fondazione e dal terreno, è stato sottoposto a più test che hanno confermato sia i valori di deformazione che di capacità portante ottenuti analiticamente.

L'esito positivo dei test, eseguiti su prototipi in scala reale e realizzati in situ, Figure 7 e Figure 8, ha permesso da un lato di ottimizzare il sistema progettato e dall'altro l'accettazione del sistema da parte della Committenza.



Figure 6. Pile geometry (cm) / Geometria del palo (misure in cm)



Figure 7. In situ test on the pile / Prove in situ sul palo.



Figure 8. In situ test on the pile / Prove in situ sul palo.

1.5 Caratteristiche meccaniche dei materiali

I materiali con cui si è realizzato l'elemento strutturale sono: calcestruzzo, acciaio per l'armatura lenta e acciaio per la precompressione.

Le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo utilizzato si riportano in Table 1:

Table 1. Mechanical properties of concrete / Caratteristiche meccaniche del calcestruzzo.

Material	Concrete	
	value	unit value
fck	45	MPa
fckj	30	MPa
fck,situ	25	MPa
fctm	3.83	MPa
Young	3.64e+04	MPa
Poisson	0.20	-
G	1.52e+04	MPa
Gamma	2.50e-05	N/mm ³

L'acciaio passivo è del tipo B500S, mentre l'attivo è del tipo Y1860 C S7 con trefoli da ½", come si riporta in Table 2.

Table 2. Mechanical properties of steel Y1860 C S7 and B500S / Caratteristiche meccaniche degli acciai utilizzati.

Steel	Y1860 C S7		B500S	
	value	unit value	value	unit value
fmax	1860	MPa	-	-
fyk	-	-	500	MPa
ft	-	-	550	MPa

Per gli inserti metallici posti in testa al monolite atti al fissaggio del meccanismo di movimentazione degli specchi si utilizza un acciaio di classe 8.8.

1.6 Caratteristiche meccaniche del terreno

Il terreno presente nell'area di intervento dell'impianto è formato principalmente da due strati, denominati UG1 e UG2, riportati in Table 3, il pri-

mo più superficiale ha caratteristiche limo sabbiose mentre quello sottostante di conglomerato ghiaioso compatto di elevate caratteristiche meccaniche.

Table 3. Mechanical properties of soil / Caratteristiche meccaniche del terreno.

Layer	UG1		UG2	
	value	unit value	value	unit value
Self - weight	19	kN/m ³	23.9	kN/m ³
Friction angle	30	°	42	°
Young	95	MPa	150	MPa
Poisson	0.38	-	0.38	-

2 REALIZZAZIONE DELL'OPERA

2.1 Produzione

La produzione degli elementi prefabbricati avviene in una struttura temporanea coperta, realizzata ad hoc all'interno dell'area di intervento, nella quale si effettuano le principali operazioni di: preparazione dell'armatura metallica, posizionamento degli inserti, Figure 9, tesatura dei trefoli e getto del calcestruzzo effettuata negli appositi stampi metallici, Figure 10, Figure 11 e Figure 12.

Segue la fase di maturazione del conglomerato, mantenuto negli appositi stampi metallici per una durata di 18 ore e poi per 3 settimane nell'area di stoccaggio posta all'aperto, Figure 13 e Figure 14.

Le caratteristiche del mix-design consentono un'adeguata lavorabilità del calcestruzzo fino ad una temperatura dell'aria di 39°C, Figure 13, per temperature superiori la fase del getto viene effettuata durante le ore notturne.



Figure 9. Steel and location of the insert/ Preparazione dell'armatura metallica e posizionamento degli inserti.

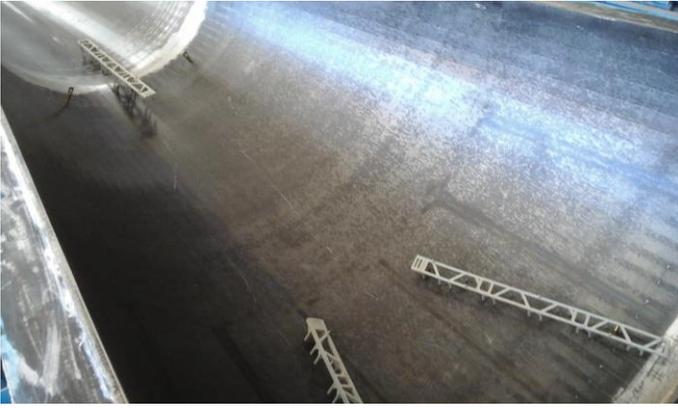


Figure 10. Metal molds for the concrete casting / Stampi metallici per il getto del calcestruzzo.



Figure 11. Storage area / Area di stoccaggio.



Figure 12. Characteristic of the concrete mix design in the casting stage / Caratteristiche del mix design del calcestruzzo nella fase di getto.



Figure 13. Storage area / Area di stoccaggio.

2.2 Stoccaggio e Controllo inserti

Durante la fase di maturazione gli elementi, stoccati nell'apposita area, sono sottoposti, da una società terza, a una serie di controlli di accettazione, tra i quali il rispetto delle ristrette tolleranze, di circa 3mm della posizione degli inserti metallici, Figure 14.

Una volta superati i controlli di accettazione gli elementi idonei vengono inseriti in appositi registri e

ottengono così il permesso per la fase di posa in opera.



Figure 14. Dimensional check of the concrete precast elements / Controlli sui monoliti per il rispetto delle tolleranze.

2.3 Fase di montaggio

Il montaggio avviene per mezzo di una gru telescopica su gomma che tramite un apposito anello in acciaio è in grado di sollevare, raddrizzare e collocare all'interno del foro di fondazione il monolite, Figure 15.

Mediante un cavalletto metallico appositamente studiato si è in grado di garantire la verticalità del monolite anche in fase di getto e di maturazione del calcestruzzo collocato in opera, Figure 16.

L'attrezzatura impiegata è in grado di porre in opera fino a n. 50 elementi al giorno.



Figure 15. Assembly of the prefabricate element with telescopic crane / Montaggio dell'elemento prefabbricato tramite gru telescopica



Figure 16. Metal tripod for guarantee the monolith's uprightless / Cavalletto metallico atto a garantire la verticalità del monolite

2.4 Allineamenti

Sempre nella fase di montaggio e prima del getto di fondazione gli elementi prefabbricati vengono allineati rispetto ad una linea d'asse centrale in modo da garantire che tutti gli specchi convergano alla torre centrale, Figure 17.



Figure 17. Lineup of the monolith / Allineamento del monolite

3 CONCLUSIONI

The technology of precast concrete elements has been applied for decades, in particular in the construction of industrial buildings and of the tertiary.

The development has been consolidated thanks to the features and peculiarities of the precast technology, like: structural optimization, quality control of materials and production, reducing installation time, increased benefits from standardized manufacturing.

This technology is also used in renewable energy sector, in particular in the wind energy, where there are wind farms in which are used precast concrete towers of an height exceeding 90 m.

This work is one of the first example of the application of precast technology in the solar energy. Pre-

cast pre-stressed concrete supports are used for the peculiarities of the precast technology and for their adaptability to the increasing demand of elements of high static performance and at low cost.

The writers hope that the realization presented here will contribute to increase the use of this technology also in the renewable energy sector.

La tecnologia della prefabbricazione degli elementi strutturali in calcestruzzo è applicata da decenni, in particolare nella realizzazione di edifici industriali e del terziario.

Come è noto il suo sviluppo si è via via consolidato per merito delle caratteristiche e peculiarità proprie della prefabbricazione, come: ottimizzazione strutturale, controllo della qualità dei materiali, della produzione, unita alla possibilità di programmare e ridurre i tempi della messa in opera, vantaggi che si accentuano con la standardizzazione della produzione.

Da alcuni anni detta tecnologia viene applicata anche nel settore dell'energia rinnovabile, in particolare quella eolica, dove esistono ormai realizzazioni di parchi eolici nei quali vengono impiegate torri in calcestruzzo prefabbricato e dove si richiedono altezze di oltre 90 m.

Il presente lavoro è uno dei primi esempi di applicazione della tecnologia della prefabbricazione nel settore della produzione di energia termosolare. I supporti prefabbricati in calcestruzzo precompresso oggetto della realizzazione, trovano la loro validità sia per le peculiarità proprie della prefabbricazione sia per la capacità di adeguarsi alla sempre maggior richiesta di elementi di elevate prestazioni statiche e a costi contenuti.

Gli scriventi si auspicano che la realizzazione qui presentata possa contribuire allo sviluppo dell'utilizzo di tale tecnologia anche nel settore dell'energia rinnovabile.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano le società Sener Ingenieria y Sistemas S.A. e Artepref S.A. per aver concesso la riproduzione delle immagini introdotte nella presente memoria e per la collaborazione tecnica apportata. Si ringrazia altresì l'ingegner Viviana Sangalli per il supporto fornito nella fase di raccolta delle immagini e stesura del testo.

REFERENCES

- Eurocode 2 – EN 1992-1-1:2005 – Design of concrete structures – General Rules.
- Eurocode 7 – EN 1997-1:2004 – Geotechnical design – General Rules.
- Guidelines for Design of Wind Turbines – DNV/Riso.
- FIB Bulletin 65.
- FIB Bulletin 66.