

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA NOMINALE
DI 48.916,56 kWp
"LOTTO 9"

UBICATO NEL COMUNE DI LATIANO (BR)

CODICE IDENTIFICATIVO PRATICA AU REGIONALE: MU5A7M1

Titolo Elaborato:

RELAZIONE SUI MATERIALI

IDENTIFICAZIONE ELABORATO (MITE)

LIVELLO PROGETTAZIONE	TIPO DOCUMENTO	CODICE IDENTIFICATIVO	DATA	SCALA
PD	R	MU5A7M1_STRU_02	DICEMBRE 2022	

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	12/22	Prima emissione	Ing. Debora DELLEGROTtagLIE	Ing. Debora DELLEGROTtagLIE	Ing. Debora DELLEGROTtagLIE

TECNICO:

Ing. Debora Dellegrottaglie
Ordine degli Ingegneri
Provincia di Brindisi n.1814



PROPONENTE:

ELETTRA SOL S.R.L.
Via Mercato, 3
20121, Milano (MI) - Italy



PROGETTAZIONE:

NEXTA PROJECT DEVELOPMENT
Via Dante, 7
20123, Milano - ITALY

APULIA ENERGIA S.R.L.
Via Sasso, 15b
72023, Mesagne (BR) - ITALY



Sommario

1.	PREMESSA	2
1.1	GENERALITÀ.....	2
2.	DESCRIZIONE DELLE OPERE	2
2.1	DESCRIZIONE DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI.....	2
2.2	DESCRIZIONE DELLE FONDAZIONI DELLE CABINE CON DESTINAZIONE IMPIANTISTICA	3
2.3	DESCRIZIONE DELLE FONDAZIONI DEL CANCELLO DI INGRESSO SITO	4
3.	OPERE STRUTTURALI IN CALCESTRUZZO ARMATO	5
3.1	PRESCRIZIONI GENERALI	5
3.2	PRESCRIZIONI DI DURABILITÀ.....	6
3.3	MODALITÀ ESECUTIVE	6
3.4	CONTROLLI SUL CALCESTRUZZO.....	8
3.5	CALCESTRUZZO PER TUTTI GLI ELEMENTI DELLE FONDAZIONI	9
3.6	COMPONENTI FONDAMENTALI DEL CALCESTRUZZO	9
3.6.1	<i>CEMENTI</i>.....	9
3.6.2	<i>ACQUA</i>	9
3.6.3	<i>AGGREGATI</i>	10
3.6.4	<i>ADDITIVI</i>	11
3.6.5	<i>AGGIUNTE</i>	12
3.7	ACCIAI PER CALCESTRUZZO ARMATO.....	12
3.7.1	<i>ACCIAI PER ARMATURA LENTA</i>	12
3.7.2	<i>ACCIAI PER PRECOMPRESSIONE</i>	15
4.	OPERE STRUTTURALI IN CARPENTERIA METALLICA.....	16
4.1	ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA	16
4.2	ZINCATURA DELLE STRUTTURE IN ACCIAIO	17

1. PREMESSA

1.1 GENERALITÀ

Il presente documento costituisce la relazione dei materiali del progetto strutturale attinente alle opere realizzate nell’ambito dei lavori di costruzione di un impianto agrivoltaico, ubicato nel comune di Latiano (BR), denominato “Lotto 9” della potenza di 48.916,56 MWp; questo sarà realizzato con moduli fotovoltaici in silicio monocristallino, con una potenza di picco di 660 Wp.

Committente del progetto è ELETTRA SOL S.R.L., con sede legale in Via Mercato, 3/5 - 20121 Milano (MI) e P.I. 12502450693.

Le opere descritte nei paragrafi successivi riguardano la progettazione della parte strutturale in acciaio, che costituisce il telaio strutturale di sostegno dei pannelli fotovoltaici, la progettazione degli elementi di fondazione per le cabine prefabbricate da installare all’interno del campo agrivoltaico e la progettazione delle opere di fondazione per gli elementi accessori quali il cancello d’ingresso al sito.

Il progetto strutturale, di cui il presente documento fa parte, è stato redatto in conformità alla normativa vigente in tale settore, ovvero il Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, datato 17.01.2018, dal titolo “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” e la successiva Circolare Esplicativa del 21.01.2019, “Istruzioni per l’applicazione dell’aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”.

2. DESCRIZIONE DELLE OPERE

2.1 DESCRIZIONE DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI

I pannelli utilizzati per la realizzazione dell’impianto agri-voltaico sono caratterizzati da dimensioni pari 2384 mm per 1303 mm, con uno spessore di 35 mm. Sono assemblati in due tipologia di macro-moduli da 28 pannelli e da 56 pannelli. La dimensione complessiva di ogni singolo modulo misura rispettivamente circa 20,00 ml e 40 ml di lunghezza per una larghezza di circa 5,00 ml.

I pannelli sono montati su telai metallici mobili, che con l’ausilio dei tracker conferiscono una rotazione completa ai moduli, da est a ovest, pari a 120°, con inclinazione massima rispetto

l’orizzontale di $\pm 60^\circ$; questi sono bloccati sul terreno mediante infissione di una serie di profili verticali in acciaio di grandi dimensioni.

Il campo agri-voltaico è costituito da una serie di strutture metalliche separate e indipendenti tra loro che si ripetono lungo tutta la superficie dell’impianto. Si descrive ora la geometria della struttura di sostegno di un singolo modulo da 56 pannelli: essa è costituita da n. 31 arcarecci con profilo tipo omega di dimensioni 80 x 50 x 30 x 3 mm (su cui verranno montati i pannelli fotovoltaici), con un interasse di 1303 mm.

Gli arcarecci sono collegati ad una trave scatolare con un profilo a “Q” di dimensioni 160 x 10 mm poggiata su pilastri HEA 240 infissi nel terreno (profondità variabile in funzione della morfologia del terreno). Su alcuni pilastri, sono montati dei bracci meccanici che permettono la rotazione dei pannelli.

I profili verticali presentano un interasse variabile tra circa 520 e 780 cm. Sono collegati tra loro con una trave principale realizzata con profilo a “Q” sagomato a freddo di dimensione 160 x 10 mm, che risulta incastrata in testa alle colonne.

Tutti gli elementi metallici sono realizzati con acciaio S275JR, compresi gli elementi di carpenteria per unioni e rinforzi. Per maggiori dettagli sulla geometria di tali elementi si possono invece consultare gli elaborati grafici che costituiscono l’oggetto dell’elaborato n. 6.

2.2 DESCRIZIONE DELLE FONDAZIONI DELLE CABINE CON DESTINAZIONE IMPIANTISTICA

All’interno dell’impianto fotovoltaico sono presenti cabine prefabbricate; le cabine che verranno installate sono delle tipologie seguenti:

- Cabina di raccolta con dimensioni in pianta pari a 33,00 x 6,50 m, altezza 4,00 m;
- Cabina di trasformazione con dimensioni in pianta pari a 6,05 x 2,89 m, altezza 2,43 m;
- Cabina MT/BT con dimensioni in pianta pari a 6,05 x 2,89 m, altezza 2,43 m;
- Cabina adibita a locale di videosorveglianza con dimensioni in pianta pari a 3,50 x 2,48 m, altezza 2,76 m;
- Cabina di stoccaggio con dimensioni in pianta pari a 12,20 m x 2,44 m, altezza 2,60 m;

Tali cabine essendo elementi prefabbricati non sono oggetto di calcolo in questo progetto.

Di seguito si riportano i dettagli strutturali delle fondazioni di tali cabine, da realizzare in situ. Per la posa delle cabine si effettua uno scavo caratterizzato da una profondità circa pari a 150 cm (variabile a seconda dello spessore dello strato superficiale da valutare in situ al momento delle lavorazioni). Al di sotto della vera e propria fondazione, sarà eseguito uno spianamento effettuato con calcestruzzo di classe C12/15 caratterizzato da uno spessore pari a 10 cm. La fondazione su di esso sarà costituita da una soletta di base, con dimensioni pari a quella della rispettiva cabina, con altezza di 40 cm per la cabina di raccolta e la cabina di trasformazione, e altezza 20 cm per la cabina di videosorveglianza, con copriferro pari a 4 cm e armata lungo la superficie superiore e inferiore con barre di diametro 12 mm ogni 20 cm nelle due direzioni. Su questa verranno posizionate le vasche di basamento prefabbricate in c.a., all'interno delle quali verranno allestite le predisposizioni impiantistiche. Tali vasche sono anch'esse fornite dal produttore della cabina.

Per la cabina di trasformazione ed MT/BT la fondazione sarà costituita da una soletta di base con dimensioni pari a quella della rispettiva cabina e altezza di 40 cm, con sei pilastri di dimensione 60 x 60 cm sui quali poggerà la sovrastruttura, mentre le vasche di raccolta olio verranno posate direttamente sulla soletta di base. L'armatura dei pilastri sarà composta da 12 armature longitudinali di diametro 14 mm, e staffe di diametro 8 mm con passo di 10 cm; la soletta di base sarà armata da barre longitudinali superiori e inferiori di diametro 12 mm ogni 20 cm nelle due direzioni, saranno inoltre previsti un infittimento in corrispondenza dei pilastri, riducendo il passo da 20 cm a 10 cm.

Per maggiori dettagli sulla geometria di tali elementi si possono invece consultare gli elaborati grafici che costituiscono l'oggetto dell'elaborato n. 7.

2.3 DESCRIZIONE DELLE FONDAZIONI DEL CANCELLO DI INGRESSO SITO

Come riportato nel layout generale, l'intera area di impianto sarà adeguatamente perimetrata tramite una recinzione costituita da reti in acciaio con pali di sostegno delle stesse. All'ingresso dell'impianto verrà realizzato un cancello a due ante in acciaio, realizzato con profilati zincati a caldo di adeguata sezione costituito da due montanti esterni ai quali verrà collegato. Le dimensioni del cancello sono di circa 4,75 m di lunghezza per 2,25 m di altezza circa. I montanti saranno costituiti da profili in acciaio a sezione scatolare di 150 x 150 mm e fissati alla base tramite un collegamento con tasselli meccanici e/o barre filettate annegate nella fondazione.

La fondazione, costituita da una trave a sezione rettangolare 50 x 50 cm armata con n. 4 barre diametro 14 mm inferiori e superiori, n.1 armatura di parete diametro 10 mm per lato e staffe a due bracci diametro 8 mm disposte con passo costante pari a 10 cm lungo tutto lo sviluppo della stessa.

Per maggiori dettagli sulla geometria di tali elementi si possono invece consultare gli elaborati grafici che costituiscono l’oggetto dell’elaborato n. 7.

3. OPERE STRUTTURALI IN CALCESTRUZZO ARMATO

3.1 PRESCRIZIONI GENERALI

Tutti i calcestruzzi devono essere a prestazione garantita. Non è ammesso, in nessun caso, l’impiego di calcestruzzi a composizione.

L’elemento fondamentale che contraddistingue i conglomerati cementizi è la classe di resistenza, da misurare dopo 28 giorni di maturazione su provini cubici con lato di 15 cm. Come limite di progetto della resistenza del calcestruzzo è stato assunto il valore più alto che scaturisce dai requisiti di resistenza e dalle esigenze di durabilità della struttura, correlate direttamente alla classe di esposizione.

Per le classi di resistenza maggiori di C45/55, fino alla C60/75 compresa, le disposizioni contenute all’interno della presente relazione devono essere integrate con le prescrizioni riportate al capitolo 8 delle “Linee guida sul calcestruzzo strutturale” redatte nel 1996 dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Il diametro massimo degli aggregati è stato scelto in modo da consentire correttamente la messa in opera e la compattazione del calcestruzzo. Oltre che della distanza minima tra le armature, si è tenuto conto delle esigenze di movimentazione del conglomerato per mezzo di pompe.

Qualora ritenuto opportuno per esigenze di cantiere, possono essere impiegati calcestruzzi autocompattanti, al posto di quelli prescritti in questo capitolo. In tal caso rimangono confermate le prescrizioni sulla classe di resistenza, sul rapporto massimo acqua/cemento e sul dosaggio minimo di cemento; perde invece di significato la definizione della classe di consistenza, giacché i calcestruzzi autocompattanti sono caratterizzati dalla sola classe di spandimento che deve essere obbligatoriamente maggiore di 600 mm. Per questo tipo di materiale il diametro massimo degli

aggregati va fissato in funzione delle proprietà reologiche della miscela; comunque non potrà essere maggiore di quello stabilito in funzione dell’interfero minimo e riportato nella presente relazione.

Ai paragrafi successivi del presente capitolo sono fornite in modo dettagliato le prestazioni richieste per tutte le tipologie di calcestruzzo da impiegare per la costruzione dell’opera.

3.2 PRESCRIZIONI DI DURABILITÀ

Per l’opera in oggetto si è adottata una classe di esposizione XC2 (UNI 11104). Da questa scelta scaturisce automaticamente, secondo quanto riportato nelle UNI 11104, il dosaggio minimo di cemento e il rapporto massimo acqua/cemento. I valori numerici di queste grandezze sono esplicitati nei prospetti riportati alla fine di questo capitolo.

Ai fini della durabilità dell’opera è particolarmente importante la limitazione del quantitativo dei cloruri nel calcestruzzo. Il contenuto massimo degli ioni cloruro, rispetto alla massa del cemento, deve essere pari allo 0,20% per le strutture ad armatura lenta e allo 0,10% per gli elementi precompressi. Solo per il magrone di sottofondazione questo valore limite può essere portato all’1%.

Un altro aspetto strettamente collegato alle problematiche di durabilità è la determinazione del copriferro. Per definire il ricoprimento minimo delle armature è stato seguito il criterio riportato al punto 4.1.6.1.3 delle NTC del 2018, meglio precisato nella relativa circolare. Considerato che l’opera è stata progettata in classe di esposizione XC2, si deve fare riferimento alla condizione ambientale di tipo “aggressivo”, secondo quanto riportato nel paragrafo 4.1.2.2.4.2 del D.M. 17.01.2018 (tabella 4.1.III). Tenendo poi presente che la vita utile dell’opera è pari a 50 anni si è deciso di adottare i seguenti valori di copriferro:

- per tutti i manufatti: copriferro pari a 40 mm.

3.3 MODALITÀ ESECUTIVE

Le operazioni di getto devono essere effettuate in tutte le fasi nel pieno rispetto delle prescrizioni contenute all’interno delle linee guida redatte dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. In particolare, si deve fare riferimento alle “Linee guida sul calcestruzzo strutturale”, redatte nel 1996, alle “Linee guida per la produzione, il trasporto ed il controllo del calcestruzzo preconfezionato” del 2003, alle “Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale” del 2017 e alle “Linee guida per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo in opera” dello stesso anno.

È opportuno anche il rispetto di tutte le indicazioni contenute nella norma UNI EN 13670:2010 (“Esecuzione di strutture di calcestruzzo”) e nella relativa errata corrige.

Il trasporto del calcestruzzo deve essere effettuato con mezzi adeguati in modo da evitare fenomeni di segregazione e di danneggiamento. È essenziale prendere tutti gli accorgimenti per mantenere in buono stato il conglomerato. A tal fine si deve considerare un tempo limite di due ore per una ottimale messa in opera del calcestruzzo, misurato dal momento del carico al completamento delle operazioni di getto. Oltre tale soglia deve essere previsto nella centrale di betonaggio l’impiego di additivi per il mantenimento della lavorabilità. Non è invece consentito aggiungere acqua o additivi alla consegna. La misurazione della consistenza deve essere effettuata mediante la prova di abbassamento al cono (UNI EN 12350-2:2019).

Particolare cura deve essere posta nelle operazioni preliminari al getto. In particolare, deve essere verificata la perfetta tenuta e la pulizia delle casseforme, il corretto montaggio e posizionamento dei puntelli e dei tiranti e l’adeguata applicazione del disarmante. Altri elementi da controllare sono la rispondenza delle armature ai disegni esecutivi, il rispetto del copriferro di progetto e la posizione di eventuali inserti (profili per ancoraggio, boccole, guaine, giunti, ecc.).

Dopo aver effettuato la bagnatura a rifiuto delle superfici assorbenti, si può dare il via alle operazioni di getto. È opportuno che il calcestruzzo venga fatto cadere da un’altezza non superiore a 50÷80 cm, evitando di formare cumuli troppo alti da stendere successivamente con l’impiego di vibratori. Lo spessore degli strati orizzontali, misurati dopo la compattazione, non dovrebbe assumere misure eccessive; come ordine di grandezza, si può fissare un limite massimo di 30÷40 cm. È importante ridurre al minimo il tempo che intercorre tra la vibratura di due strati successivi, al fine di evitare la formazione di riprese di getto che potrebbero vanificare la continuità strutturale.

Al completamento del getto, nelle prime ore di maturazione, deve essere garantita la stagionatura umida del calcestruzzo. Può essere impiegata acqua nebulizzata o, ancora meglio, si può fare ricorso a teli impermeabili e a sacchi che devono essere bagnati con continuità. Questo accorgimento va rispettato per almeno tre giorni. In tale arco di tempo deve essere mantenuta inalterata la cassetatura; disarmi troppo accelerati sono causa di fessurazioni superficiali e di deformazioni, spesso inaccettabili, delle strutture.

3.4 CONTROLLI SUL CALCESTRUZZO

Il costruttore, prima dell’inizio della realizzazione di un’opera, deve effettuare idonee prove preliminari di studio, per ciascuna miscela omogenea di calcestruzzo da utilizzare, al fine di ottenere le prestazioni richieste dal progetto.

Nel caso di forniture provenienti da un impianto di produzione di tipo industriale dotato di certificato di controllo della produzione in fabbrica è sufficiente la documentazione relativa all’identificazione, alla qualificazione ed al controllo dei prodotti da fornire.

Il controllo di accettazione in corso d’opera deve invece essere eseguito sotto la responsabilità della Direzione dei Lavori. La frequenza dei prelievi è fissata ai punti 11.2.5.1 e 11.2.5.2 delle NTC del 17.01.2018. Le modalità di confezionamento dei provini sono regolate dalle norme UNI EN 12390-1:2012 e UNI EN 12390-2:2019. Per la determinazione della resistenza a compressione vale invece quanto indicato nelle UNI EN 12390-3:2019 e UNI EN 12390-4:2019.

Qualora l’esito del controllo di accettazione non sia positivo, e comunque in presenza di dubbi sulla qualità del calcestruzzo, deve essere effettuata la verifica della resistenza in opera. Utili elementi di valutazione possono venire dalla misurazione della forza di estrazione di inserti (UNI EN 12504-3:2005), dalla determinazione dell’indice sclerometrico (UNI EN 12504-2:2012) e dalla conoscenza della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici (UNI EN 12504-4:2005). Su calcestruzzi con valori di resistenza non molto bassi e caratterizzati da dimensioni contenute degli inerti si può anche ricorrere al prelievo di microcarote per la stima delle caratteristiche meccaniche. I risultati ottenuti con questi metodi devono però essere sempre tarati con l’unico criterio di indagine veramente attendibile: la prova di compressione su carote estratte dalle strutture oggetto di indagine (UNI 12504-1:2019). Il numero minimo di prelievi deve essere pari a 3. Particolare cura deve essere prestata nell’interpretazione dei risultati delle prove di schiacciamento delle carote. A tale riguardo si deve fare riferimento a quanto riportato nel paragrafo 11.2.6 della circolare n. 7 del 21.01.2019; in realtà in questo paragrafo vengono espressi pochi concetti di carattere generale e si rimanda al contenuto delle “Linee guida per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo in opera” del 2017. Si può sempre fare ricorso alla numerosa letteratura tecnica esistente. L’esito negativo del controllo della resistenza in opera deve portare al declassamento della struttura o, in casi estremi, alla demolizione della stessa.

3.5 CALCESTRUZZO PER TUTTI GLI ELEMENTI DELLE FONDAZIONI

1. Classe di resistenza: $R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$, su provini cubici;
2. Classe di esposizione: XC2 (UNI 11104:2004);
3. Rapporto massimo acqua/cemento: 0.60;
4. Dosaggio minimo di cemento: 300 kg/mc;
5. Dimensione massima aggregati: 30 mm;
6. Classe di consistenza: S4 (UNI EN 206-1).

3.6 COMPONENTI FONDAMENTALI DEL CALCESTRUZZO

3.6.1 Cementi

I requisiti dei cementi devono essere conformi alle prescrizioni contenute all'interno della Legge n. 595 del 26 maggio 1965, nel D.M. del 3 giugno 1968 e al punto 11.2.9.1 delle NTC del 2018. Devono essere utilizzati solo i cementi riportati nel prospetto 1 della norma UNI EN 197-1:2011. Quest'ultimo documento disciplina la marcatura CE dei cementi, obbligatoria dal 01.04.2002.

Qualora le operazioni di getto fossero effettuate in condizioni di clima molto caldo, dovrà essere scongiurato il surriscaldamento degli elementi strutturali nelle prime ore di maturazione che potrebbe portare ad una forte evaporazione dell'acqua contenuta nello strato corticale. La presenza di elementi strutturali di spessore consistente potrebbe determinare, in aggiunta, l'insorgere di marcate fessure per effetto degli elevati valori dei gradienti termici. Per impedire il verificarsi di questi problemi, in climi afosi, i calcestruzzi devono essere prodotti facendo ricorso a cementi con classe di resistenza 32.5, ricchi di composti caratterizzati da una bassa velocità di idratazione (C_2S).

3.6.2 Acqua

L'acqua di impasto deve essere limpida, priva di sali in percentuali dannose, con particolare riferimento a cloruri e solfati, ed esente da sostanze aggressive. Il limite massimo del contenuto di cloruri è fissato in 500 mg/l; per i solfati il valore soglia sale a 2000 mg/l. Altri sali indesiderati sono i fosfati (max 100 mg/l) ed i nitrati (max 500 mg/l). Il controllo deve essere inoltre esteso per verificare la presenza di zuccheri, pericolosi perchè inducono forti ritardi nei tempi di presa, e di

metalli pesanti, quali piombo e zinco. Tutte le procedure di analisi e di qualificazione delle acque devono essere effettuate in conformità con le prescrizioni contenute nella norma UNI EN 1008:2003.

Può essere utilizzata anche l'acqua di riciclo proveniente dai processi di produzione del calcestruzzo; devono però essere rispettate tutte le indicazioni riportate nell'appendice A della UNI EN 1008.

3.6.3 Aggregati

Gli inerti da utilizzare per il confezionamento del calcestruzzo devono essere dotati di marcatura CE, sulla base di quanto previsto nella norma UNI EN 12620:2008 "Aggregati per calcestruzzo" e nelle istruzioni complementari UNI 8520-1:2015 e 8520-2:2016. Ulteriori prescrizioni legislative sono riportate all'interno del D.M. 3 giugno 1968 (all. 1) ed al punto 11.2.9.2 delle NTC del 17.01.2018.

Deve essere analizzata la possibile insorgenza di reazioni tipo "ASR" (alcali-silice), prendendo tutti i provvedimenti e le precauzioni indicate nella UNI 8520-22:2020. Bisogna prestare particolare attenzione all'eventuale presenza di cloruri e solfati, sostanze estremamente dannose per il conglomerato cementizio. A tale riguardo si deve sottolineare che la UNI EN 206:2016 fissa un valore limite del contenuto di cloruri nel calcestruzzo che varia in funzione del tipo di acciaio presente; quindi è necessario controllare sempre che questa disposizione sia rispettata. Non è invece previsto nella normativa vigente un tetto massimo per i solfati, ma solo per lo zolfo totale (al punto 6.3.2 della UNI EN 12620 si fissa una soglia ammissibile pari all'1%).

La sabbia da impiegare nelle malte e nei calcestruzzi, sia essa naturale o di frantumazione, deve provenire da rocce non gelive, aventi alta resistenza alla compressione, preferibilmente di qualità silicea, di grana omogenea e stridente al tatto. Deve essere assolutamente priva di materie terrose ed organiche.

Tra le ghiaie bisogna escludere quelle contenenti elementi di scarsa resistenza meccanica, sfaldati o sfaldabili, e quelle interessate da fenomeni anche modesti di erosione e di incrostazione. I pietrischi e le graniglie devono provenire dalla frantumazione di rocce durissime, preferibilmente silicee, a struttura microcristallina, o di calcari compatti, puri, durissimi e di alta resistenza alla compressione,

all'urto, all'abrasione; devono presentarsi a spigoli vivi, scevri da materie terrose ed organiche. Bisogna verificare che ghiaie e pietrischi non provengano da rocce affette da fenomeni di gelività.

Le miscele degli inerti fini e grossi, mescolati in percentuale adeguata, devono dar luogo ad una composizione granulometrica costante, che permetta di ottenere i requisiti voluti sia nell'impasto fresco (consistenza, omogeneità, pompabilità, aria inglobata, etc.), sia nell'impasto indurito (resistenza, modulo elastico, ritiro, fluage, coefficiente di dilatazione termica lineare, etc.).

E' opportuno che gli inerti provengano da almeno tre classi granulometriche. L'assortimento dell'aggregato deve avere una composizione e distribuzione tale da rispettare, in funzione anche del dosaggio di cemento e della consistenza dell'impasto, la curva di Bolomey.

E' consentito l'impiego degli aggregati di recupero provenienti dall'acqua di lavaggio nei processi di produzione del calcestruzzo o prelevati dal conglomerato fresco. La quantità massima ammessa non deve superare il limite del 5% rispetto all'aggregato totale.

3.6.4 Additivi

Gli additivi devono corrispondere alle prescrizioni delle UNI EN 480-1:2014, 480-2:2007, 480-4:2006, 480-5:2006, 480-6:2006, 480-8:2012, 480-10:2009, 480-11:2006, 480-12:2006, 480-14:2007, 480-15:2013 e delle norme UNI-EN 934-2:2012. In particolare quest'ultimo documento fissa le caratteristiche e i requisiti che deve avere tale materiale ai fini della marcatura CE, divenuta obbligatoria a decorrere dal mese di maggio 2003.

Nel caso di utilizzo di additivi "superfluidificanti", è opportuno l'impiego di prodotti di tipo sintetico a base acrilica o melamminica.

La quantità di additivi, nell'eventualità di un loro utilizzo, non deve superare i 50 g/kg di cemento, né deve essere minore di 2 g/kg di cemento nella miscela. E' consentito l'impiego di additivi in misura minore soltanto se preventivamente dispersi nell'acqua di impasto. Il quantitativo di additivo liquido che superi i 3 l/mc di calcestruzzo deve essere messo in conto nel calcolo del rapporto acqua cemento (UNI 206-1, punto 5.2.6).

3.6.5 Aggiunte

Nei calcestruzzi è ammesso l’uso di aggiunte. Nella UNI 206-1 vengono considerate idonee le aggiunte di tipo I e quelle di tipo II; rientrano nella prima categoria il filler ed i pigmenti; della seconda fanno parte le ceneri volanti ed i fumi di silice.

Il filler, componente fondamentale del calcestruzzo autocompattante, deve essere conforme alla norma UNI 12620:2008 e quindi deve essere dotato di marcatura CE.

I pigmenti devono essere conformi alla norma UNI 12878:2014 che regola la marcatura CE di questo prodotto, obbligatoria dal 01.03.2007.

Le aggiunte di tipo II, ovvero le ceneri volanti ed i fumi di silice, possono essere messi in conto nel calcolo del contenuto di cemento e del rapporto acqua/cemento, secondo il concetto del valore “k” riportato al punto 5.2.5.2 delle UNI 206-1. In particolare può essere considerato un quantitativo di ceneri volanti pari ad un terzo della massa di cemento; per i fumi di silice tale limite scende ad un nono della massa di cemento. Anche per le aggiunte di tipo II è obbligatoria la marcatura CE; le ceneri volanti sono normate dalle UNI 450-1:2012, i fumi di silice dalle UNI 13263-1:2009.

3.7 ACCIAI PER CALCESTRUZZO ARMATO

3.7.1 Acciai per armatura lenta

Gli acciai per calcestruzzo armato devono essere obbligatoriamente dotati del requisito di saldabilità, oltre che qualificati, nel rispetto delle procedure riportate al punto 11.3.1.2 delle NTC del 2018 e della relativa circolare applicativa. Le caratteristiche chimiche degli acciai devono essere conformi a quanto previsto nel paragrafo 11.3.2.6 della norma appena citata. Possono essere utilizzati solo acciai ad aderenza migliorata. Al momento della posa le armature devono presentarsi non affette da un avanzato stato di ossidazione e prive di piegature anomale, oltre che di gravi difetti superficiali, visibili ad occhio nudo.

Per l’opera in oggetto è previsto l’impiego di un solo tipo di acciaio per cemento armato, ovvero il tipo B450C. Le armature possono essere fornite in barre o sotto forma di rotoli; per questi ultimi la

normativa fissa un limite superiore del diametro che non può essere maggiore di 16 mm. Di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche più significative dell'acciaio di tipo B450C:

1. -tensione nominale di snervamento: $f_{y\ nom} = 450\ N/mm^2$;
2. -tensione nominale di rottura: $f_{t\ nom} = 540\ N/mm^2$;
3. -tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} \geq 450\ N/mm^2$;
4. -tensione caratteristica di rottura: $f_{tk} \geq 540\ N/mm^2$;
5. $-1.15 \leq (f_t / f_y)_k < 1.35$;
6. $-(f_y / f_{y\ nom})_k \leq 1.25$;
7. -allungamento caratteristico al massimo sforzo: $(A_{gt})_k \geq 7.5\ %$;
8. -diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e raddrizzamento senza cricche:
9. $\Phi < 12\ mm$: $4\ \Phi$;
10. $12\ mm \leq \Phi \leq 16\ mm$: $5\ \Phi$;
11. $16\ mm < \Phi \leq 25\ mm$: $8\ \Phi$;
12. $25\ mm < \Phi \leq 40\ mm$: $10\ \Phi$.

Possono essere utilizzati solo acciai dotati di marcatura CE, secondo quanto previsto dalla UNI EN 10080:2005; tale certificazione è diventata obbligatoria a partire dal primo settembre 2007. Le barre, i rotoli ed i fili per calcestruzzo armato devono inoltre essere conformi alle disposizioni riportate nella norma UNI EN ISO 15630-1:2019.

I controlli di accettazione in cantiere devono essere effettuati entro trenta giorni dalla data di consegna del materiale e comunque prima della messa in opera dell'acciaio. Per ogni lotto di spedizione bisogna effettuare un campionamento su tre diversi diametri opportunamente differenziati; per ogni diametro si devono prelevare tre spezzoni di opportuna lunghezza affinché sia rintracciabile il marchio. Qualora un lotto di spedizione contenga barre provenienti da più stabilimenti, il controllo deve essere esteso ad ognuno di essi.

Se il risultato di una prova non è positivo, si deve effettuare un nuovo controllo su tre ulteriori provini. L'esito positivo di tale verifica supplementare rende conforme il lotto consegnato. In caso di risultato negativo si deve effettuare, in presenza del produttore dell'acciaio o di un suo rappresentante,

un ulteriore controllo su dieci nuovi campioni. Qualora anche i valori delle grandezze meccaniche misurate con queste prove non siano conformi, il lotto deve essere respinto e il risultato segnalato al Servizio Tecnico Centrale.

Se la fornitura di elementi sagomati o assemblati proviene da un Centro di trasformazione, il prelievo dei provini può essere effettuato all’interno di questa struttura dal Direttore tecnico del centro, secondo le indicazioni del Direttore dei Lavori che deve essere presente al momento del campionamento. La procedura da rispettare è perfettamente analoga ai criteri seguiti per i controlli di accettazione in cantiere.

Le reti e i tralicci elettrosaldati, eventualmente utilizzati in cantiere devono rispettare tutte le prescrizioni contenute al punto 11.3.2.5 delle NTC del 2018. In particolare, per le staffe dei tralicci si può derogare dall’obbligo di impiego di acciai ad aderenza migliorata, purché si utilizzino acciai di tipo B450A o B450C.

Il diametro delle barre che costituiscono le reti e i tralicci elettrosaldati non può essere minore di 6 mm e superare 16 mm; è inoltre fissato un limite del rapporto tra il diametro minimo e quello massimo, pari a 0.6. L’interasse delle barre, per reti e tralicci, non deve essere maggiore di 330 mm.

I nodi delle reti devono resistere ad una sollecitazione di distacco pari al 25% della forza di snervamento della barra, da computarsi per quella di diametro maggiore, sulla tensione di snervamento pari a 450 N/mm².

Per le reti saldate valgono inoltre tutte le prescrizioni contenute all’interno della norma UNI EN ISO 15630-2:2019.

I controlli in cantiere sulle reti e i tralicci elettrosaldati sono obbligatori. Devono essere prelevati tre campioni da tre diversi elementi omogenei, preferibilmente dello stesso tipo, per ciascun lotto di spedizione. Qualora un lotto di spedizione contenga reti o tralicci con caratteristiche profondamente differenti, oppure provenienti da più stabilimenti, il controllo deve essere esteso ad ognuno dei gruppi di armature omogenee.

Per ogni campione bisogna effettuare una prova di trazione su uno spezzone di filo contenente almeno un nodo saldato ed una verifica di resistenza al distacco offerta dalla saldatura del nodo. Con la prova di trazione devono essere determinati la tensione di snervamento, quella di rottura e l’allungamento percentuale. In caso di esito negativo del controllo, la prova deve essere ripetuta su tre nuovi campioni e, al verificarsi di un nuovo risultato non conforme, su dieci ulteriori provini. In

quest'ultima situazione il prelievo deve essere effettuato in presenza del produttore dell'acciaio o di un suo rappresentante. Qualora anche le prove sui dieci campioni non diano risultati in linea con le prescrizioni normative, il lotto deve essere respinto e il risultato segnalato al Servizio Tecnico Centrale.

3.7.2 Acciai per precompressione

E' ammesso solo l'uso di acciai qualificati, nel rispetto delle procedure contenute al punto 11.3.1.2 del D.M. 17 gennaio 2018, e controllati con le modalità riportate al paragrafo 11.3.3.5 della stessa norma. Le armature per calcestruzzo armato precompresso devono inoltre rispettare tutte le prescrizioni contenute nella norma UNI EN ISO 15630-3:2004. Prima della posa bisogna osservare attentamente l'aspetto dell'acciaio. Le armature devono presentarsi prive di pieghe anomale e di difetti superficiali visibili ad occhio nudo; è tollerata una leggera ossidazione che scompare totalmente dopo uno sfregamento con un panno asciutto.

Per l'opera in oggetto è prevista l'adozione del sistema di precompressione a cavi aderenti. Per le travi e i tegoli si devono usare trefoli da 0.6 pollici (1.39 cm²). E' obbligatorio l'impiego di tipologie di acciaio a basso rilassamento che siano contrassegnate dalle caratteristiche prestazionali di seguito riportate:

1. tensione di snervamento (1%): $f_{p(1)k} \geq 1670 \text{ N/mm}^2$;
2. tensione di rottura: $f_{ptk} \geq 1860 \text{ N/mm}^2$;
3. allungamento sotto carico massimo: $A_{gt} \geq 3.5 \%$;
4. cadute di tensioni massime:
a 120 ore: 1.50 %;
5. a 1000 ore: 2.20 %;
6. a 2000 ore: 2.50 %.

La tensione di tiro iniziale deve essere pari a 1400 N/mm², come riportato nelle tabelle sui materiali allegate agli elaborati esecutivi delle travi e dei tegoli.

Il controllo di accettazione sugli acciai per calcestruzzo armato precompresso è diventato obbligatorio con l'entrata in vigore del D.M. del 17.01.2018. Per ogni lotto di spedizione, di massimo 30 t, bisogna prelevare tre campioni da sottoporre a prova per la determinazione delle tensioni di

snervamento e di rottura, del limite elastico allo 0.1 % e della tensione all'1 %. Il controllo è considerato positivo se nessuno dei valori minimi risulta inferiore ai corrispondenti valori caratteristici garantiti dal produttore. Se anche una sola delle grandezze di prova non rispetta la condizione appena riportata, la verifica deve essere effettuata nuovamente su dieci campioni, secondo le modalità descritte al paragrafo 11.3.3.5.3 del D.M. del 17.01.2018. In caso di ulteriore esito negativo il controllo deve essere ripetuto, previo avviso al produttore, su altri dieci saggi. Il mancato superamento di questa verifica deve comportare l'inidoneità della partita e la segnalazione al Servizio Tecnico Centrale.

4. OPERE STRUTTURALI IN CARPENTERIA METALLICA

4.1 ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA

L'acciaio da utilizzare per le opere di carpenteria metallica è di tipo S 275. Le caratteristiche di tale materiale devono essere conformi a quanto riportato nelle norme UNI EN 10025, UNI EN 10210 e UNI EN 10219-1. È obbligatorio l'impiego di acciai marcati CE.

Le unioni saldate di testa o a completa penetrazione devono essere di prima classe. Si possono adoperare procedimenti di saldatura automatici o semiautomatici (quali, ad esempio, sotto gas protettivo, oppure ad arco sommerso), o metodi manuali. In quest'ultimo caso è consentito solo l'uso di elettrodi di classe 3 o 4.

Anche per le unioni saldate a cordone d'angolo si possono impiegare le tecniche appena citate; bisogna prestare particolare cura alla loro modalità di esecuzione affinché si possa avere una ragionevole assenza di difetti interni ed una mancanza di incrinature interne o di cricche di strappo sui lembi dei cordoni.

Per le unioni bullonate sono previsti bulloni ad alta resistenza di classe 8.8, con dadi 6S. Le specifiche dimensionali devono rispettare le prescrizioni contenute all'interno delle Norme UNI EN ISO 4016 e UNI 5592. Le caratteristiche meccaniche di tali elementi di collegamento sono regolate dalle UNI EN ISO 898-1:2001.

4.2 ZINCATURA DELLE STRUTTURE IN ACCIAIO

Tutti gli elementi strutturali in acciaio devono essere protetti mediante zincatura a caldo.

Il rivestimento deve essere applicato dopo aver accuratamente pulito la superficie del metallo; bisogna eliminare preliminarmente le sostanze inquinanti superficiali, quali olio, grassi, vernici, generalmente mediante trattamento di flussaggio e, successivamente, procedere al decapaggio in acido.

Lo zinco da impiegare come protettivo deve essere caratterizzato da un contenuto di impurezze (che non siano ferro e stagno) non superiore all'1,5% in massa. È consentito additivare il bagno con limitati quantitativi di leghe formate da zinco con correttivi (vedasi alluminio) e quindi utilizzare zinco di minore purezza, purché le impurità totali non superino quanto specificato nelle norme CEI 7-6 "Controllo della zincatura a caldo".

Lo spessore minimo del rivestimento di zinco deve essere di 70 μm , con un valore medio non inferiore a 85 μm . Ne consegue che la massa dello strato protettivo deve essere almeno pari a 610 g/mq.

La superficie delle armature zincate deve presentarsi uniforme e priva noduli, rigonfiamenti, rugosità e parti taglienti. È fondamentale che lo strato di zinco aderisca tenacemente al metallo base. Le aree complessive non rivestite da riparare da parte dello zincatore non devono essere maggiori dello 0,5% della superficie totale del profilato; nel caso contrario è obbligatorio ripetere l'operazione di zincatura. Per l'eventuale riparazione bisogna procedere con la spruzzatura a caldo di zinco o mediante l'applicazione di una vernice ricca di zinco. Lo spessore dello strato correttivo da applicare deve essere almeno pari a 100 μm .

Il progettista strutturale
Dott.ssa Ing.
Ing. Debora DELEGROTTAGLIE
DELEGROTTAGLIE
N° 1814
Sezione A settore:
a) civile e
ambientale

