

**Committente: Segretariato regionale del MiC per la Puglia**

**Progetto esecutivo del monitoraggio e controllo delle strutture  
di fondazione ed elevazione della cinta meridionale"**

**CUP: F23G17000390001 CIG: ZF633FCBCC**

**Piano di Controllo e Monitoraggio**  
**Capitolato Speciale di Appalto**

**Coordinamento: Prof. Ing. Fabio Fatiguso**

**Gruppo di lavoro:**

**Ing. Mariella De Fino**

**Rocco Rubino**

**Ing. Albina Scioti**

**Il Presidente**

**Prof. Ing. Fabio Fatiguso**



**B.Re.D. - Building Refurbishment  
and Diagnostics s.r.l.**

**C.so A. De Gasperi, 327 - 70125 BARI**  
**p.Iva 07332870729 - REA 549333**

Codice documento

CSA/2021/64/V01

Data revisione

31 dicembre 2021

**Indice**

1. Introduzione .....	3
2. Voci di capitolato “Controlli e Monitoraggi” .....	3

## 1. Introduzione

Sulla base del piano di controllo e monitoraggio, di cui alla relazione tecnica PCM/2021/64/V00, agli elaborati grafici PCM1-PCM2-PCM3 e al computo metrico-estimativo CME/2021/64/V00, si riportano nel seguito le relative voci di capitolato speciale d'appalto.

## 2. Voci di capitolato “Controlli e Monitoraggi”

I controlli e monitoraggi sulle strutture in elevazione e fondazione sono riconducibili ad alcune macro-categorie come di seguito specificate:

- Valutazione dello stato di fatto e della sua evoluzione nel corso dei lavori di restauro
- Monitoraggio geotecnico e topografico
- Saggi e analisi sulle strutture fondali
- Monitoraggio quadri lesionativi
- Controllo delle opere provvisori

Per la prima macro-categoria “Valutazione dello stato di fatto e della sua evoluzione nel corso dei lavori di restauro”, sono previsti:

- 1) Fotogrammetria digitale aerea, con drone professionale di tipo quadricottero, dotato di fotocamera a sensore di tipo CMOS, connessione Wi-Fi integrata, controllo remoto, possibilità di scatto singolo o in sequenza e possibilità di acquisizione di video in 4K. Le immagini acquisite, con percentuali di sovrapposizione intorno all'80% tra immagini consecutive e intorno al 60% tra linee adiacenti, per una distanza di ripresa non superiore a 5m dalle superfici di indagine sono elaborate per la ripresa e restituzione di fotopiani a risoluzione di almeno 5mm/pixel, completamente privi di distorsioni.
- 2) Esecuzione di video time-lapse per la documentazione saliente delle fasi di restauro, mediante fotocamera con risoluzione video 4K, foto 10MP, funzione scatto temporizzato, batteria ricaricabile integrata e alimentazione esterna. La fotocamera deve essere impermeabile e comunque opportunamente protetta da fenomeni atmosferici esterni e schermata dalla radiazione solare diretta.

Per la seconda macro-categoria “Monitoraggio geotecnico e topografico”, sono previsti:

- 3) Monitoraggio topografico mediante Stazione Totale di elevata precisione mediante definizione planoaltimetrica dei capisaldi di nuova istituzione alla base del muro e delle micromire sulla muratura;

In particolar modo, la rete di monitoraggio topografico sarà costituita da un vertice esterno all'area di frana sul lato opposto del versante da cui verranno effettuate le misure tramite stazione totale, l'istituzione di 10 capisaldi altimetrici e 10 micromire su muro. In corrispondenza dei capisaldi verranno posizionati prismi con punto nodale circolari antiriflesso per portate fino a 3500 m e precisione di centramento pari a 1 mm.

- 4) Esecuzione di una perforazione verticale a 40 m di profondità eseguita a rotazione a carotaggio continuo a ridosso della fondazione della Torre Regina e successiva installazione di tubo inclinometrico per il

monitoraggio di spostamenti orizzontali; le letture inclinometriche saranno 4 distribuite in un anno (una ogni tre mesi), a cui seguirà l'elaborazione dei risultati e la redazione della reportistica tecnica.

- 5) Microscopia ottica per l'analisi del colore, dei caratteri morfologici e delle caratteristiche specifiche di ciascuna sostanza;
- 6) Microscopia elettronica, che consente di individuare la distribuzione dei componenti e dei prodotti di alterazione;
- 7) Analisi con i raggi X per l'identificazione della struttura di una sostanza cristallina. individuandone i vari componenti. Il materiale viene irradiato con un isotopo radioattivo e l'energia assorbita viene rimessa sotto forma di raggi X caratteristici degli elementi chimici presenti nel materiale. L'analisi diffrattometrica, se il contenuto di acqua del campione non è stato alterato, permette anche di rilevare sali a diverso grado di idratazione. Il campione essiccato o glicolato può anche dare indicazioni sulle percentuali di materiali argillosi presenti.

Per la quarta macro-categoria "Monitoraggio quadri lesionativi," sono previsti:

- 8) Installazione di trasduttori di spostamento, opportunamente protetti da fenomeni atmosferici esterni e schermati dalla radiazione solare diretta. I trasduttori sono collegati, attraverso cavo schermato, ad unità di acquisizione dati, dotata di n.4 ingressi in tensione ( $\pm 5V$ ), integrata con datalogger di archiviazione interna dei dati e alimentata da una batteria interna ricaricabile con possibilità di alimentazione esterna. L'unità di acquisizione trasmette i dati di spostamento in modalità wireless ad un gateway per esterni (IP66) con protocolli wireless a 2,4 GHz e 3G / 4G / LTE. Il gateway, con possibilità di alimentazione di rete (94-264 V CA), può essere collegato ad un pannello solare (tecnologia monocristallina da 50 W) e dotato di batteria tampone ricaricabile interna. Le acquisizioni sono programmate ogni 12 h e restituite con reportistica trimestrale.
- 9) Installazione di sensori di temperatura, opportunamente protetti da fenomeni atmosferici esterni e schermati dalla radiazione solare diretta. I sensori, di tipo wireless con range di trasmissione dell'ordine di 300m, sono dotati di datalogger di archiviazione interna dei dati (fino a 1.000.000 di dati) e alimentati da una batteria interna ricaricabile con possibilità di alimentazione esterna. I sensori trasmettono i dati di temperatura in modalità wireless ad un gateway per esterni (IP66) con protocolli wireless a 2,4 GHz e 3G / 4G / LTE. Il gateway, con possibilità di alimentazione di rete (94-264 V CA), può essere collegato ad un pannello solare (tecnologia monocristallina da 50 W) e dotato di batteria tampone ricaricabile interna. Le acquisizioni sono programmate ogni 12 h e restituite con reportistica trimestrale.
- 10) Installazione di inclinometri, opportunamente protetti da fenomeni atmosferici esterni e schermati dalla radiazione solare diretta. Gli inclinometri sono di tipo biassiale wireless  $\pm 15^\circ$  con risoluzione di  $0,001^\circ$ , alimentati da batteria interna ricaricabile (capacità di 950 mAh) con possibilità di alimentazione esterna (da 8 a 28 VDC) e integrati a datalogger per archiviazione interna dei dati. I datalogger trasmettono i dati di inclinazione in modalità wireless ad un gateway per esterni (IP66) con protocolli wireless a 2,4 GHz e 3G / 4G / LTE. Il gateway, con possibilità di alimentazione di rete (94-264 V CA), può essere collegato ad un

pannello solare (tecnologia monocristallina da 50 W) e dotato di batteria tampone ricaricabile interna. . Le acquisizioni sono programmate ogni 12 h e restituite con reportistica trimestrale.

11) Acquisizioni fotogrammetriche digitali terrestri e/o aeree per il monitoraggio di deformazioni, da effettuarsi secondo criteri funzionali alla ricostruzione di modelli tridimensionali virtuali ad alta risoluzione: posizione parallela all'oggetto di ripresa, distanza di ripresa pari a circa 5 m dall'oggetto della scansione, percentuali di sovrapposizione intorno all'80% tra immagini consecutive e intorno al 60% tra linee adiacenti. L'attrezzatura richiesta può includere: Fotocamera digitale di tipo compatto, bridge o mirrorless, con sensore di tipo CMOS APS-C, di area pari a minimo 16 MegaPixel, lenti a lunghezza focale dai 16 ai 20 mm, connessione Wi-Fi integrata e controllo remoto; Supporti per fotocamere: asta telescopica in fibra di carbonio, con estensione fino a 10 m e treppiedi a seconda della localizzazione degli elementi da scansionare; Dispositivi mobili per effettuare gli scatti in remoto (tablet o smartphone); Drone professionale, di tipo quadricottero, (peso intorno ai 4 kg), con fotocamera a sensore di tipo CMOS (area min 9 MegaPixel), connessione wi-fi integrata e controllo remoto, possibilità di scatto singolo o in sequenza, con possibilità di acquisizione di video in 4K; Strumenti di misura (distanziometro laser, flessometro, livella) per individuare le posizioni di presa e acquisire delle misure di riferimento utili a scalare il modello in fase di ricostruzione; Target codificati da porre sull'oggetto da scansionare.

12) Acquisizioni fotogrammetriche digitali terrestre e/o aeree per il monitoraggio di fessurazioni, da effettuarsi secondo criteri funzionali alla ricostruzione di modelli tridimensionali virtuali ad altissima risoluzione: posizione parallela all'oggetto di ripresa, distanza di ripresa compresa in un range da 1-3 m dall'oggetto della scansione, percentuali di sovrapposizione intorno all'80% tra immagini consecutive e intorno al 60% tra linee adiacenti. L'attrezzatura richiesta può includere:

Fotocamera digitale di tipo compatto, bridge o mirrorless con sensore di tipo CMOS APS-C, di area pari a minimo 20 MP, lenti a lunghezza focale dai 20 ai 50 mm, connessione Wi-Fi integrata e controllo remoto; Supporti per fotocamere: asta telescopica in fibra di carbonio, con estensione fino a 10m, a seconda della localizzazione degli elementi da scansionare; Dispositivi mobili per effettuare gli scatti in remoto (tablet o smartphone); Strumenti di misura (distanziometro laser, flessometro, livella) per individuare le posizioni di presa e acquisire delle misure di riferimento utili a scalare il modello in fase di ricostruzione; Target codificati da porre sull'oggetto da scansionare.

13) Ricostruzione di modelli fotogrammetrici 2D o 3D (nuvole di punti, mesh poligonali texturizzate, ortofoto) ad elevato livello di dettaglio e risoluzione (intesa come la dimensione reale di un elemento descritto da un singolo pixel) pari almeno a 5 mm/pixel, mediante software di ricostruzione fotogrammetrica

14) Comparazione diretta e analisi di deviazione dei modelli fotogrammetrici acquisiti a distanza di un arco temporale congruo, al fine di rilevare e quantificare la progressione dei quadri patologici, mediante algoritmi come iterative closest point e nearest neighbour distance, utilizzati su software di editing e analisi di nuvole di punti o mediante operazioni di soglia e di filtraggio su software di calcolo.

15) Comparazione analitica di sezioni trasversali, estratte in aree significative, mediante software di editing e analisi di nuvole di punti.

Per la quinta macro-categoria “Controllo delle opere provvisoriale”, sono previsti:

16) Prova di rilascio tensionale per la stima delle tensioni di esercizio agenti su elementi in c.a. La prova prevede, previa applicazione sulla superficie dell’area di interesse di una coppia di estensimetri, l’isolamento di una porzione dell’elemento strutturale mediante quattro tagli prodotti sui lati di un quadrato esterno alla porzione occupata dagli estensimetri. I tagli sono eseguiti con una direzione di 45° verso l’interno in modo da realizzare un elemento troncopiramidale con una sezione di testa estremamente ridotta, tale da garantire il completo rilascio delle deformazioni incorporate. La deformazione ( $\epsilon$ ) subita dalla porzione isolata, misurata dagli estensimetri posizionati tra i tagli, è assunta uguale in segno contrario alla deformazione relativa derivante dalle sollecitazioni agenti ( $\sigma$ ). Dalla deformazione può, quindi, essere calcolata la tensione di esercizio, noto il modulo elastico. Quest’ultimo è determinabile analiticamente, previa misura sperimentale della resistenza meccanica, mediante prova di compressione assiale di provino cilindrico prelevato in altro punto dell’elemento.

17) Installazione di estensimetri, opportunamente protetti da fenomeni atmosferici esterni e schermati dalla radiazione solare diretta. Gli estensimetri, con campo di deformazione +/-5% e lunghezza maggiore di 3,2cm, sono collegati, attraverso opportuno cavo schermato, ad una unità di acquisizione dati, dotata di n.3 ingressi in tensione (+/-20mV), integrata con datalogger di archiviazione interna dei dati e alimentata da una batteria interna ricaricabile (capacità 950 mAh) con possibilità di alimentazione esterna. Tutti i dati sono trasmessi in modalità wireless al gateway per esterni di cui al par. 3, dedicato alla gestione della rete di sensori wireless e alla comunicazione remota con il software per il controllo e la supervisione del monitoraggio.

18) Installazione di sensori di temperatura, opportunamente protetti da fenomeni atmosferici esterni e schermati dalla radiazione solare diretta. I sensori, di tipo wireless con range di trasmissione dell’ordine di 300m, sono dotati di datalogger di archiviazione interna dei dati (fino a 1.000.000 di dati) e alimentati da una batteria interna ricaricabile con possibilità di alimentazione esterna. I sensori trasmettono i dati di temperatura in modalità wireless ad un gateway per esterni (IP66) con protocolli wireless a 2,4 GHz e 3G / 4G / LTE. Il gateway, con possibilità di alimentazione di rete (94-264 V CA), può essere collegato ad un pannello solare (tecnologia monocristallina da 50 W) e dotato di batteria tampone ricaricabile interna. Le acquisizioni sono programmate ogni 12 h e restituite con reportistica trimestrale.