

# New Church of “Divina Provvidenza” in LVIV Ukraine

## Nuova Chiesa della “Divina Provvidenza” a Leopoli in Ucraina

D. Campagna<sup>1</sup>, A. Aronica<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Senior structural engineer and CEO of MSC Associati S.r.l., Milano, Italy*

<sup>2</sup> *Structural engineer of Aronica Ingegneria e Associati S.r.l., Lissone, Italy*

### ABSTRACT

The present paper aims to be a general description for the principal problems and relevant technical solutions which have been made during the structural project of the new Church Divine Providence in Lviv (Ukraine) of Congregation of DON ORIONE Small Work of Divine Providence. The project, other than its symbolic importance for the merit of the building under construction, is a valuable example of the application of various theories inherent in the reinforced concrete structure design. In this project, it is certainly significant the adoption of prefabricated elements which permit to create a large-span dome while limiting the castings on site to the maximum. The geotechnical studies of the indirect foundations are necessary in presence of mechanically poorly performing soils and the adoption of Ukrainian regulations together with the Eurocodes used for the definition of project loads and structural checks of the load-bearing elements are certainly meaningful.

### SOMMARIO

Il presente lavoro vuole essere una sintesi descrittiva delle principali problematiche e delle soluzioni tecniche adottate nel progetto strutturale della nuova Chiesa della Divina Provvidenza in Leopoli (Ucraina), sviluppato per conto della congregazione DON ORIONE Piccola Opera della Divina Provvidenza. Il progetto risulta essere, oltre che di importanza simbolica per il pregio dell'edificio, un esempio concreto di applicazione delle diverse teorie inerenti alla progettazione delle strutture in cemento armato. Nel progetto è sicuramente significativa l'adozione di elementi prefabbricati al fine di poter realizzare in opera una cupola di grande luce, limitando al massimo i getti in cantiere. Sicuramente risultano essere significativi gli studi geotecnici delle fondazioni indirette su pali, resesi necessarie in relazione alla presenza di terreni meccanicamente poco prestanti e l'adozione delle normative Ucraine, adattate agli Eurocodici, per la caratterizzazione dei carichi di progetto e delle verifiche strutturali degli elementi portanti.

**KEYWORDS:** New “Church of “Divina Provvidenza” building in LVIV, Concrete buildings, Eurocode EC8/; Nuova Chiesa della “Divina Provvidenza” a Leopoli in Ucraina, Eurocodice EC8.

Lviv, la città dei leoni – Leopoli in italiano -, è una delle maggiori città dell’Ucraina situata nella parte ovest del paese a circa 70 km dal confine con la Polonia.

Nei primi anni 2000 la missione apostolica del Don Orione di Milano, attraverso Don Egidio Montanari, ha fondato in questa città una piccola comunità che negli anni è cresciuta diventando oggi un importante riferimento della religione cristiana per il quartiere e per l’intera città.

In quasi venti anni di attività, questa comunità è riuscita a costruire una Parrocchia caratterizzata da un oratorio e un “Monastero” nei quali si svolgono le attività pastorali del Don Orione.



Fig. 1. Leopoli/Lviv

Nel 2012 la comunità decide di ampliare il proprio oratorio chiedendo all’architetto svizzero Mario Botta di curare il progetto architettonico dei nuovi edifici Monastero e Chiesa.

Il primo, costruito tra il 2013 ed il 2016, risulta essere un edificio a stecca composto da un piano terra e un piano primo caratterizzato da un portico frontale che lo mette in comunicazione con quello liturgico.



Fig. 2. Edificio Monastero/Monastero building

Nel 2018 la MSC Associati di Milano viene contattato dalla congregazione del Don Orione di Milano per redigere il progetto strutturale della nuova chiesa che, a differenza di quello del Monastero, appariva più complesso in relazione alle dimensioni fuori scala della cupola a copertura dell’aula liturgica.

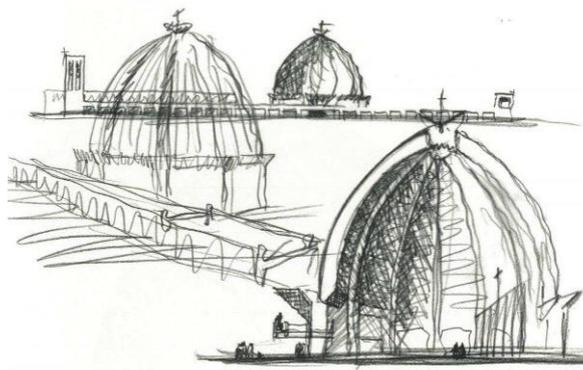


Fig. 3. Concept architettonico nuova aula liturgica/architectural concept of the church

## 1 IL PROGETTO STRUTTURALE

Il progetto strutturale della nuova chiesa della Divina Provvidenza a Leopoli è a firma dell'ingegnere Alessandro Aronica oggi AD e direttore tecnico della Aronica Ingegneria e Associati Srl di Lissone e fino al 2019 socio della MSC Associati Srl di Milano. Il progetto è stato sviluppato su incarico della Congregazione del Don Orione dalla MSC Associati S.r.l. di Milano, a cui ha partecipato come supervisore l'ingegnere Danilo Campagna, Consigliere delegato della stessa società.

Il nuovo edificio ha previsto, tra le altre cose, la costruzione di una cupola a sesto acuto di diametro pari a 26,5 m e altezza pari a 25 m.

Il progetto dell'architetto Mario Botta si caratterizza per la presenza di tagli di luce verticali distribuiti omogeneamente sui meridiani della cupola per permettere l'illuminazione interna dell'aula liturgica.



Fig. 4. Sezione architettonica/architectural section

Il portico frontale risulta infine l'elemento di continuità architettonica e di collegamento con l'adiacente Monastero nel quale si trova la Canonica ed un piccolo Cottolengo.



Fig. 5. Prospetto frontale Monastero e Chiesa/Monastero and church prospect

## 2 IL CONCEPT STRUTTURALE

L'area su cui sorge la nuova costruzione risulta essere di carattere fortemente antropico in relazione alla presenza di terreni di riempimento il cui spessore, dalle indagini geognostiche svolte, è risultato in alcuni punti anche superiore ai 4 metri.

Le scadenti prestazioni meccaniche di questo strato eterogeneo di natura antropica e le scarse caratteristiche dei terreni sottostanti fino ad una profondità di 10 m prettamente di carattere limo-argilloso, hanno richiesto di realizzare una fondazione di tipo indiretto su pali per i nuovi edifici in progetto.

Da un confronto con le maestranze locali, in questa area geografica si è riscontrato come frequente l'utilizzo di pali prefabbricati in calcestruzzo armato infissi nel terreno con pressa idraulica zavorrata. Nel dettaglio sono stati quindi realizzati pali prefabbricati di dimensione 35x35x1300 cm in classe di resistenza C25/30 XC2 e realizzati con classe di slump S3.

La pianta dei pali è stata predisposta in modo tale da sostenere direttamente i carichi verticali gravanti dagli elementi portanti dei sovrastanti edifici.



Fig. 6: layout pianta pali/piles setting out.



Fig. 7: fase di cantiere realizzazione pali/piles works on site.

Le fondazioni, sia per la zona del porticato che per quella della chiesa, sono state realizzate attraverso l'adozione di platee superficiali che permettono di connettere le teste dei pali e nel contempo di redistribuire le forze di taglio provenienti dai sovrastanti fabbricati.

In particolare, nella platea dell'aula liturgica è stata realizzata una trave anulare di fondazione che permette di ridistribuire al meglio eventuali azioni asimmetriche presenti in occasione di azioni dinamiche.

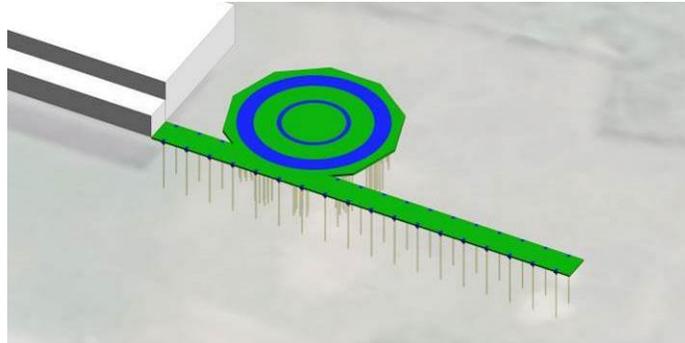


Fig. 8: nuova platea di fondazione/new raft foundation.

Per le platee sono stati adottati calcestruzzi di classe C25/30 XC2 realizzati con classe di slump S4 e armature in acciaio B500C.



Fig. 9: armatura platea di fondazione aula liturgica/rebars foundation of the church.

Nello sviluppo del progetto della struttura in elevazione della chiesa si sono valutate attentamente le fasi di cantierizzazione dell'opera in quanto le geometrie dell'edificio escludevano la possibilità di adottare tecniche di costruzione di tipo tradizionale.

In particolare, viste anche le basse temperature registrate a Leopoli in gran parte dell'anno, si è escluso di realizzare una struttura gettata in opera.

L'idea progettuale si è quindi orientata su una struttura prevalentemente prefabbricata, assemblata con giunti meccanici e "cartilagini" gettate in opera con malte ad alte prestazioni. Tali scelte progettuali hanno agevolato molto le fasi costruttive permettendo di correggere in opera le piccole imperfezioni geometriche rilevate in fase di montaggio delle strutture.

La cupola della Chiesa risulta così costituita da 20 archi binati che hanno permesso di generare i tagli di luce verticale previsti nel progetto architettonico. Essi risultano poi collegati da due travi anulari continue collocate in posizione mediana e sommitale.



Fig. 10: struttura portante cupola/dome structural elements.

Gli archi con sezione 40x150 cm, la cui lunghezza totale è risultata maggiore di 28 m, sono stati realizzati con elementi prefabbricati in classe di resistenza C35/45 XC3 e con consistenza S4, ancorati alla base e connessi tra loro con giunti meccanici tipo Peikko HPKM.

In fase di progettazione, le dimensioni e il peso dei conci sono stati verificati in relazione alla necessità di di essere sollevati e posizionati in sede durante le fasi di costruzione mediante autogrù di tipo ordinario.

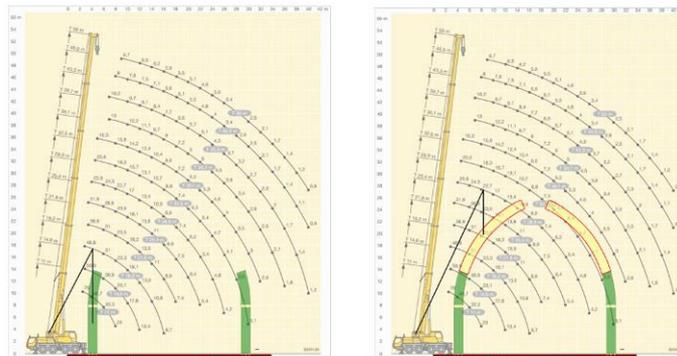


Fig. 11: verifica sollevamenti archi in corso di montaggio/crane diagrams.

Le strutture prefabbricate sono state realizzate dalla società Oberbeton la cui sede produttiva è sita a Zhytomyr a 150 km ad ovest di Kiev (UA).



Fig. 11: fasi di prefabbricazione degli archi/  
precast arches assembly.

La connessione tra gli archi e la platea di fondazione è stata eseguita mediante baggioli in calcestruzzo realizzati in seconda fase rispetto al getto della platea, permettendo in tal modo il posizionamento delle “ancore” (elementi filettati Peikko) e dei negativi di alloggiamento delle chiavi di taglio posizionati alla base delle colonne.



Fig. 13: posizionamento archi /arches installations.

Completata la posa degli archi di prima fase è stata montata la trave anulare prefabbricata del primo livello solidarizzata. Agli stessi archi mediante getti di collegamento realizzati in opera.



Fig. 14: varo travi anulari del primo livello/beam installations.

Concluso il montaggio della trave anulare del primo livello, e stabilizzata in tal modo la costruzione, si è proceduto a realizzare una torre di banchinaggio e puntellamento centrale atti a sostenere in fase provvisoria gli archi del secondo livello. Questi sono stati collegati con quelli del primo livello sempre mediante sistemi di connessione meccanica di tipo Peikko HPKM che hanno garantito la continuità strutturale delle armature longitudinali degli archi; i getti delle “cartilagini” tra le sezioni interposte hanno poi garantito la continuità delle tensioni di compressione nelle sezioni di giunto.



Fig. 15: montaggio archi secondo concio/ arches installations.

Sulla sezione di sommità degli archi del secondo concio sono state predisposte delle armature di “attesa” solidarizzate poi con il getto della trave anulare di coronamento sommitale. Questa trave è stata cassetata e armata grazie alla predisposizione della torre di banchinaggio centrale che ha permesso anche la regolazione piano altimetrica degli archi prima del getto finale.



Fig. 16: fase di getto trave anulare del secondo livello/anular beam casting.

Completato l'esoscheletro portante della cupola si è iniziato a posare i pannelli di copertura della stessa, anch'essi realizzati in prefabbricato, e solidarizzati agli archi mediante getti di collegamento in opera, resi possibili grazie armature di chiamata predisposte sia nei pannelli che negli archi.



Fig. 17: particolare nodo di collegamento pannelli – archi/connection detail arches and panel.



Fig. 18. Completamento posa pannelli di copertura cupola/dome internal view

La cupola è stata infine completata mediante la posa in chiave della struttura a sostegno della croce

esterna realizzata in carpenteria metallica reticolare.



Fig. 19. Struttura sommitale a sostegno della croce/steel cross on top

### 3 LA PROGETTAZIONE BIM E FEM

Il progetto strutturale della nuova Chiesa della Divina Provvidenza è stato sviluppato con tecnologia BIM al fine di definire al meglio le geometrie dei singoli componenti costituenti le strutture portanti dell'edificio. Tale approccio ha permesso di valutare in fase preliminare la fattibilità tecnica di costruzione della struttura con particolare riferimento alle fasi di montaggio dei prefabbricati ed ai relativi aspetti ergonomici.

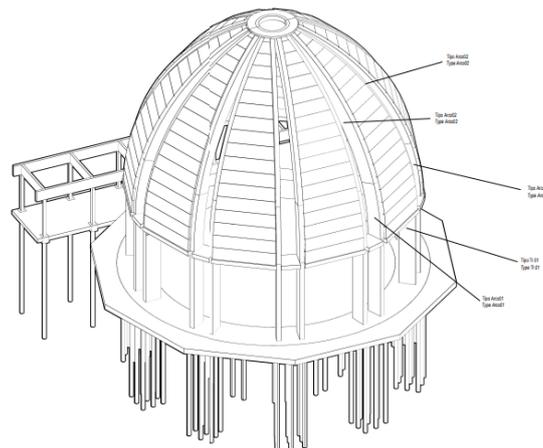


Fig. 20. Immagine modello BIM e dei componenti/BIM Model

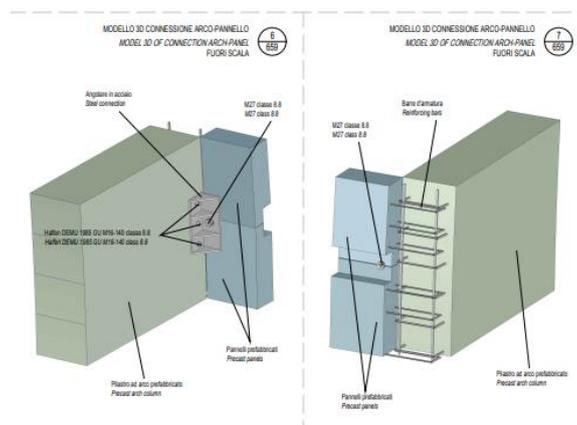


Fig. 21. Particolari di collegamento pannelli archi/ archi/connection detail arches and panel

Dallo stesso modello BIM è stato poi possibile derivare i disegni di cantiere con indicazione dei tracciamenti e del posizionamento degli elementi portanti.

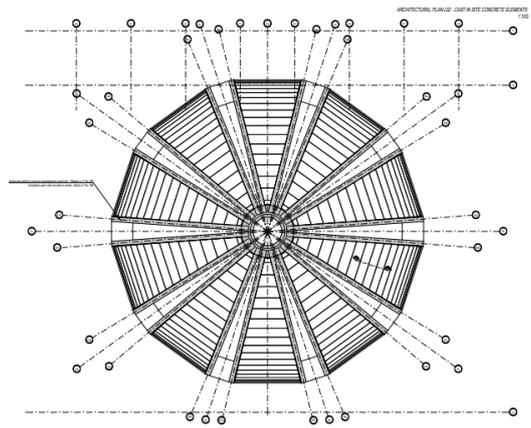


Fig. 22. Pianta di carpenteria della cupola/dome plan

Per il modello strutturale, sono stati creati diversi gruppi di lavoro che hanno permesso a più operatori di lavorare in condivisione temporale.

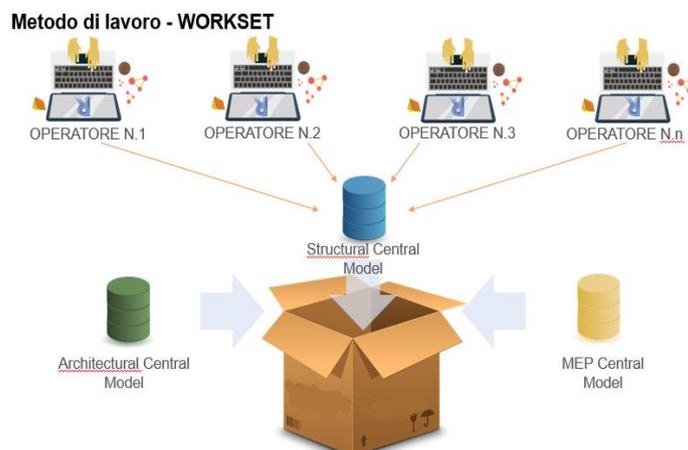


Fig. 23. Flusso della modellazione BIM / BIM flow

Lo sviluppo delle geometrie attraverso un modello realizzato con tecnologia BIM ha permesso di sviluppare con semplicità il corrispondente modello analitico strutturale, utilizzato poi nell'implementazione del modello ad elementi finiti.

Il modello ad elementi finiti così realizzato è risultato particolarmente complesso ed è stato elaborato con il codice di calcolo GEN vers. 2018 ver. 2.1 di Midas Information Tecnology.

Lo schema strutturale è stato realizzato in congruenza con le geometrie degli elementi portanti e con le caratteristiche dei materiali rappresentate negli elaborati strutturali di progetto.

Nelle modellazioni svolte gli elementi lineari, quali travi e pilastri, sono stati modellati come elementi di tipo “beam” a 2 nodi. Nel dettaglio sono stati utilizzati due tipologie di elementi tipo trave “beam” a 2 nodi: quelli di Eulero-Bernoulli per elementi snelli caratterizzati da un rapporto luce altezza  $L/d > 10$  considerando la sola deformabilità flessionale. Per gli elementi tozzi, caratterizzati da un rapporto luce altezza  $L/d < 10$ , quali ad esempio le velette presenti nei muri di controvento, sono stati utilizzati elementi lineari alla Timoshenko che, oltre a considerare la deformabilità flessionale, permettono di introdurre anche la deformabilità a taglio.

Per gli elementi piani quali solette piene ed elementi di controvento in genere, sono stati utilizzati elementi di tipo “plate” a 4 o 3 nodi.

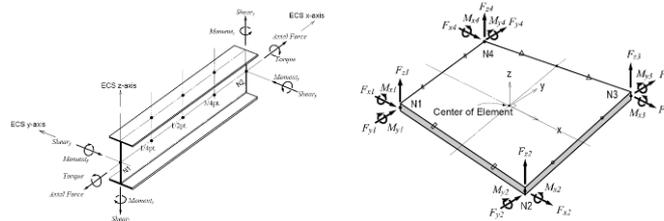


Fig. 24. Caratteristiche elementi finiti/FEM details

Le verifiche di resistenza sulle sezioni in cemento armato sono state condotte utilizzando i classici approcci di verifica tipici della scienza delle costruzioni e sono state processate quindi dal programma di calcolo implementando per il calcestruzzo e per l'acciaio le caratteristiche meccaniche definite nell'Eurocodice e adattate mediante i NAD locali.

Nei modelli ad elementi finiti il peso degli elementi strutturali è stato calcolato in automatico dal programma moltiplicando i volumi geometrici dei singoli elementi per le densità dei materiali con cui gli stessi elementi sono costituiti.

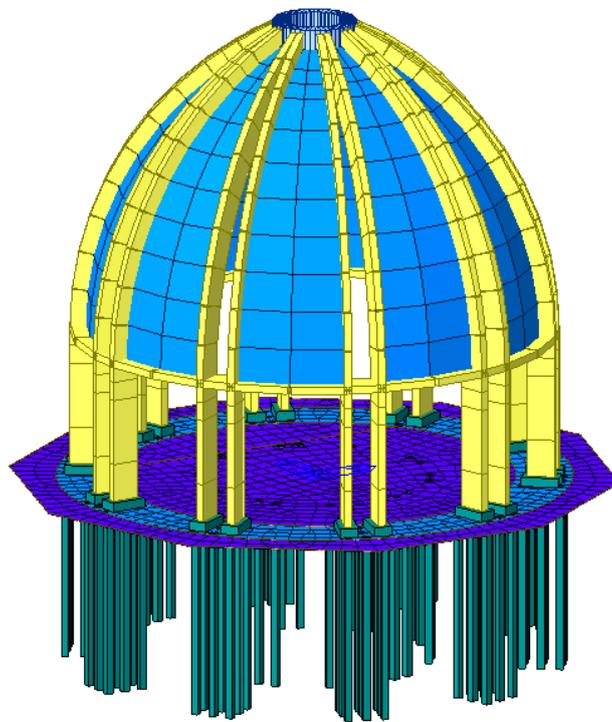


Fig. 24: Immagini modello FEM della cupola/FEM model

#### 4 LE NORME DI CALCOLO UCRAINE

La progettazione strutturale della nuova Chiesa della Divina Provvidenza è stata svolta mediante l'utilizzo degli Eurocodici contemplati dalla legislazione ucraina in merito alla progettazione e alla verifica delle stabilità delle strutture portanti. Infatti, l'Ucraina, come accade per i paesi membri europei, nella prospettiva di entrare nel mercato unico europeo, ha redatto i propri annessi nazionali NAD i quali permettono l'applicazione degli Eurocodici anche in questo paese nel pieno rispetto del quadro giuridico nazionale.

Relativamente all'analisi sismica della struttura, in funzione dei parametri del territorio di Leopoli, della tipologia di terreno e della classe d'uso della costruzione, è stato possibile determinare gli

input sismici di progetto posti alla base dell'analisi modale elastica con spettro di risposta, considerando un fattore di struttura pari a 1,5.

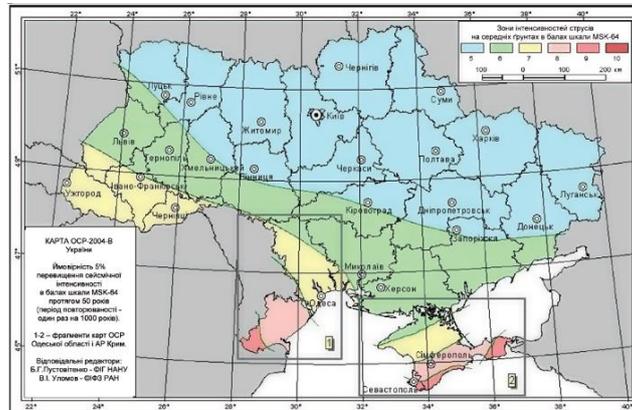


Figura 25 - Zonizzazione sismica Pr = 5%/seismic zone

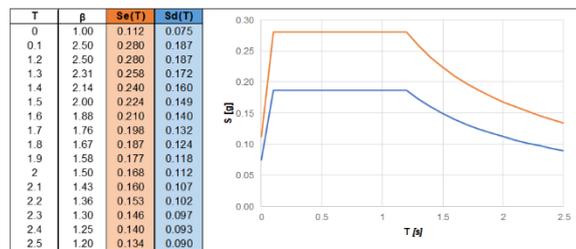


Figura 26 – Spettri di progetto elastico e SLV/seismic data

Mediante l'utilizzo dei NAD ucraini, in analogia all'analisi sismica, si è proceduto alla stima delle azioni eoliche e di quelle riconducibili al carico dovuto alla neve.

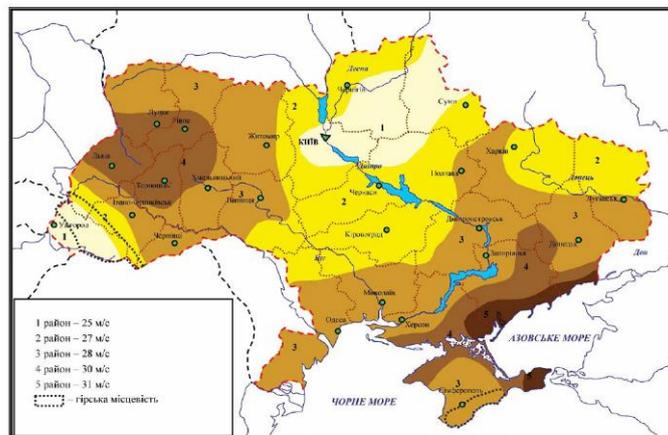


Figura 27 – Zonazione ucraina velocità di riferimento del vento/Ukraine wind zone

Per il vento, essendo Leopoli situata in zona 4, è stata assunta una velocità di riferimento pari a 30 m/sec. La particolare forma a cupola della struttura ha richiesto inoltre una valutazione di dettaglio dei coefficienti di esposizione al fine di meglio caratterizzare l'azione statica equivalente indotta dal vento di progetto.

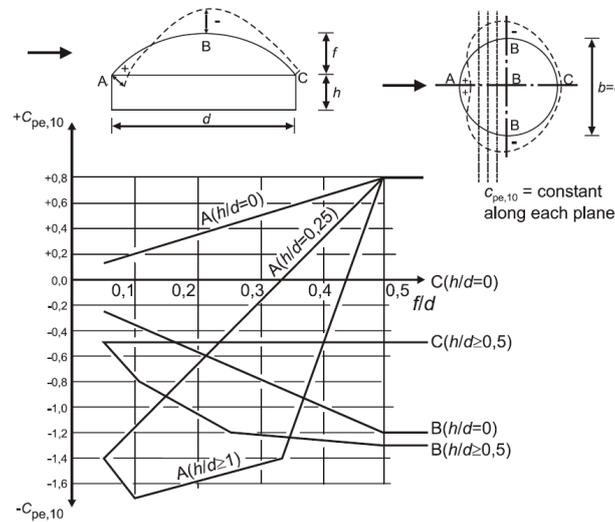


Figura 28 – Coefficienti Cpe per strutture a cupola/wind coefficient

Infine, per la caratterizzazione del carico di neve, sempre attraverso i NAD ucraini, è stato possibile determinare il carico caratteristico da prevedere nel progetto. Nel dettaglio, considerata la geometria della cupola, è stato assunto un carico caratteristico per la neve pari a 1,60 kN/m<sup>2</sup>.

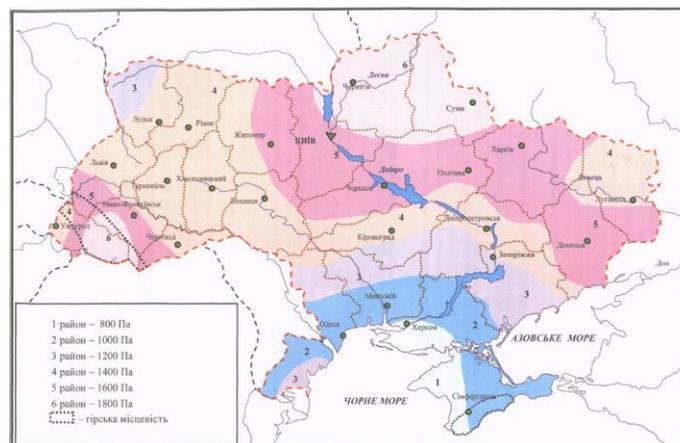


Figura 29 – Zonazione ucraina aree nevose/ Ukraine snow zone

## RINGRAZIAMENTI

La stesura del presente articolo è stata fatta in un momento storico nel quale, non solo l'Ucraina, ma l'intera Europa (anche se in modo differente) è sconvolta dalla brutalità della guerra sul territorio

ucraino. Avendo vissuto tutta la fase di costruzione e di gestione dell'appalto delle opere, oggi il pensiero corre a tutti quei colleghi, alle maestranze e agli amici che con costanza e impegno si sono dedicati alla costruzione di un edificio tecnicamente complesso che-va visto come simbolo di pace.

Uno dei pensieri di maggior vicinanza vuole essere rivolto a Don Egidio Montanari della congregazione del Don Orione che, oltre ad aver avuto la forza morale ed intellettuale di costruire la nuova chiesa e la parrocchia per la quale questo edificio è stato realizzato, ha avuto anche il coraggio di non abbandonare la sua comunità nel momento più buio, quando anche a Leopoli sono suonate le sirene antiaeree e si sono registrati dei bombardamenti nelle vicinanze del cantiere. Nonostante la criticità della situazione e le difficoltà del periodo, Don Egidio e i suoi assistenti, credendo profondamente nel significato religioso di questo edificio, hanno deciso di completare i lavori volti alla posa delle finiture edili per permettere il prima possibile l'entrata in funzione dell'aula liturgica.

Gli autori desiderano ringraziare profondamente Don Egidio, non solo per aver posto la sua fiducia nel conferirci l'incarico di progettazione e direzione lavori, ma per aver fortemente creduto nella costruzione della Nuova Chiesa della Divina Provvidenza a Leopoli che speriamo diventi presto un luogo dove i fedeli si possano recare in pace a pregare.

## BIBLIOGRAFIA

Eurocodice 2, Eurocodice 8, Eurocodice 1