

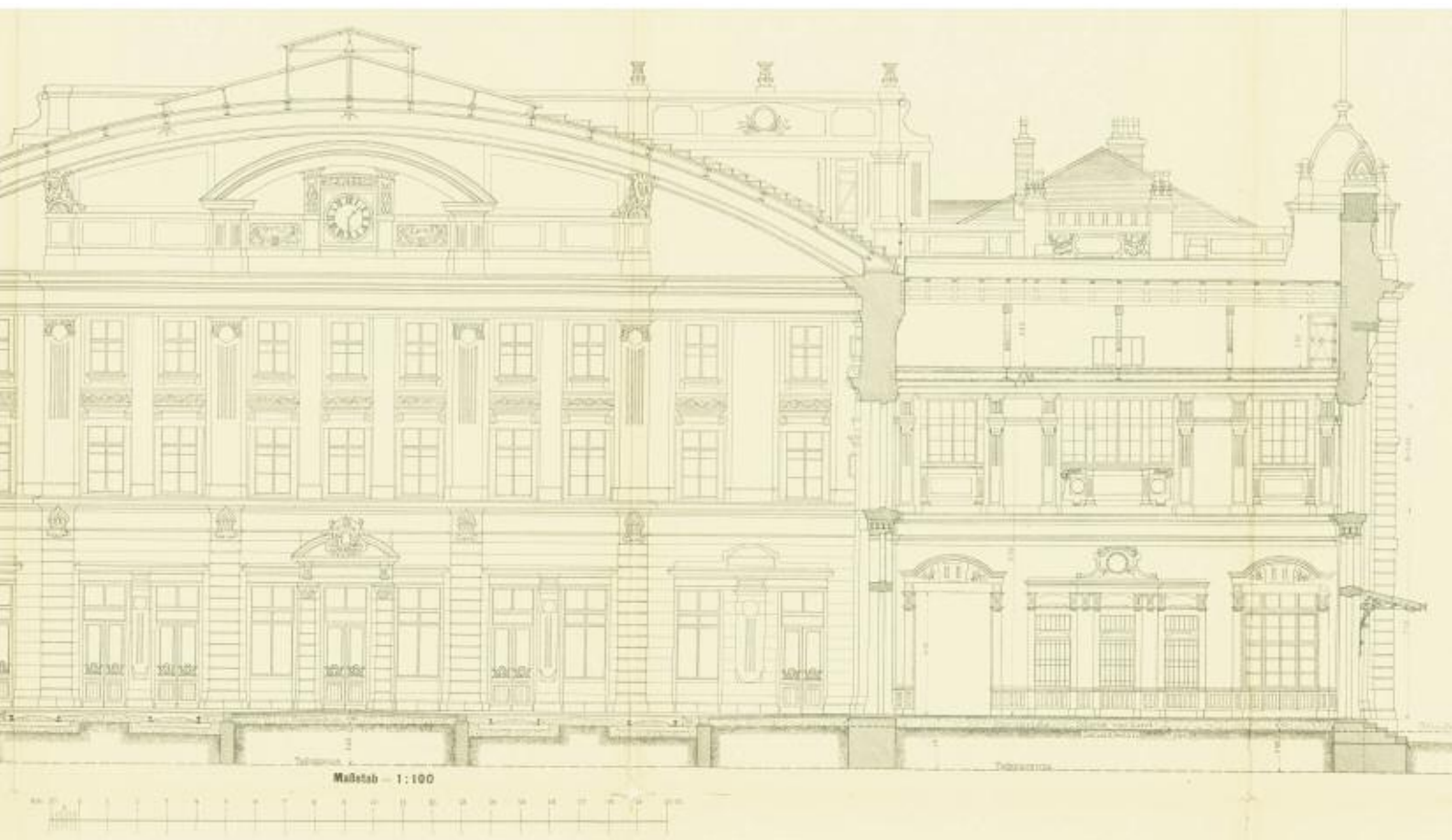
L'IU

L'INGEGNERE UMBRO



PERIODICO DELL'ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PERUGIA

Unilab Sperimentazione S.r.l. nasce nel 2012 ed è un laboratorio di derivazione universitaria specializzato nella *Diagnostica Strutturale* di opere Monumentali, Edifici Pubblici e Privati, Residenziali e Industriali. Da Luglio 2018 è anche un *Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti ad eseguire prove su materiali da costruzione ex art. 59 DPR 380/01 e art. 20 L. 1086/71 – Settore A.*



DIAGNOSTICA

Prove su elementi in cemento armato
Prove su murature
Prove di carico su strutture
Prove su elementi prefabbricati
Prove su legno e acciaio
Monitoraggi strutturali statici e dinamici
Diagnosi sullo sfondellamento dei solai

LABORATORIO

Calcestruzzi
Acciai
Malte e cementi
Aggregati
Bitumi
FRC
FRP - FRCM - CRM

www.unilabsperimentazione.pg.it

Unilab Sperimentazione S.r.l.

Via Giacomo Leopardi 27, 06073 Corciano (PG)

Tel e fax 075 6978960

SOMMARIO



In copertina:

Castelluccio di Norcia - Febbraio 2022

(Fotografia: Michele Castellani)

4 EDITORIALE

Resoconto delle principali attività in corso.

Gianluca Fagotti

6 RAGGUAGLIO AREALE DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE IN UMBRIA

Compiuto l'ultimo passo per il calcolo di una pioggia di progetto.

Renato Morbidelli, Alessia Flammini, Carla Saltalippi, Jacopo Dari

11 LO SPORTONE DI MADERNO

Urbanizzazione del territorio e adeguamento di un'antica ed importante opera di bonifica idraulica.

Vincenzo Giovannini

16 LA DECARBONIZZAZIONE IN FORTE ACCELERAZIONE E CON ESSA UN IMPOVERIMENTO GENERALE?

Energie rinnovabili e decarbonizzazione.

Giovanni Paparelli

19 I CANTIERI DELLA RICOSTRUZIONE A NORCIA

Resoconto della Visita Tecnica organizzata dalla Commissione Pianificazione, Architettura e Paesaggio e dalla Commissione Strutture e Geotecnica ai cantieri della ricostruzione di Norcia.

Massimo Palombo

L'INGEGNERE UMBRO - n° 123 - anno XXXI - Marzo 2023

Direttore Responsabile: Giovanni Paparelli

Redattore Capo: Alessio Lutazi

Collaboratori: Francesco Asdrubali, Paolo Belardi, Simone Bori, Michele Castellani, Guido De Angelis, Lamberto Fornari, Pietro Gallina, Antonello Giovannelli, Renato Morbidelli, Massimo Pera, Enrico Maria Pero, Alessandro Rocconi, Carla Saltalippi, Gianluca Spoletini.

Hanno collaborato inoltre a questo numero: Jacopo Dari, Vincenzo Giovannini, Alessia Flammini, Massimo Palombo.

Grafica e impaginazione: Le Mani di Mary S.r.l. - Perugia

Stampa e Pubblicità: Unione Tipografica Folignate - Foligno

Questo numero è stato stampato in 6000 copie.

La Rivista viene inviata in abbonamento gratuito a chiunque ne fa richiesta. L'Editore garantisce la massima riservatezza dei dati forniti dagli abbonati e la possibilità di richiederne gratuitamente la rettifica o la cancellazione. Le informazioni custodite verranno utilizzate al solo scopo di inviare agli abbonati la Rivista e gli allegati (legge 196/03 - tutela dei dati personali). Tutti i diritti sono riservati. È vietata la riproduzione anche parziale, eseguita con qualsiasi mezzo, di ogni contenuto della Rivista, senza autorizzazione scritta. Sono consentite brevi citazioni con l'obbligo di menzionare la fonte. Testi, foto e disegni inviati non saranno restituiti.

EDITORIALE



Care e cari colleghi,
a partire dagli ultimi mesi dello scorso anno è stato possibile riprendere le molteplici attività ordinistiche e condividere importanti momenti di confronto e dialogo nella nostra categoria. In particolare, nel suggestivo scenario delle cantine Tabarrini a Montefalco (PG), lo scorso 16 dicembre si è svolta la “Cena degli auguri”, il tradizionale appuntamento di fine anno, tornato a svolgersi dopo due anni di interruzione a causa della pandemia da covid 19. Il momento conviviale, che rappresenta una importante occasione per condividere tra colleghi idee e progettualità da portare avanti nell’interesse della categoria professionale, ha visto la partecipazione di oltre 300 iscritti.

Alla serata hanno partecipato numerosi rappresentanti di Istituzioni ed Università, tra cui il dott. Nicola Alemanno – Sindaco di Norcia, l’ing. Massimo Mariani – Presidente Centro Studi Sisto Mastrodicasa e già Consigliere CNI, l’ing. Stefano Nodessi Proietti – Direttore Governo del territorio, Ambiente, Protezione civile della Regione Umbria, l’Ing. Stefania Tibaldi - Servizio Protezione civile ed Emergenze della Regione Umbria e l’ing. Maurizio Rotondi – Responsabile ricostruzione privata del Comune di Norcia, l’ing. Vincenzo Pane, l’ing. Manuela Cecconi, l’ing. Ilaria Venanzi – Docenti Università degli Studi di Perugia. Significativa è stata inoltre la partecipazione da parte degli altri Ordini professionali, tra cui l’ing. Massimo Conti e l’ing. Stefano Laganà – Presidente e Segretario della Federazione regionale degli ingegneri delle Marche, l’ing. Maurizio Paulini – Presidente Ordine degli ingegneri provincia di Macerata, l’Ing. Renato Morsiani – Presidente Ordine ingegneri provincia di Pesaro-Urbino, l’ing. Stefano Capannelli – Presidente Ordine ingegneri provincia di Ancona, l’ing. Marco Sperandei e l’ing. Agnese Fabbretti – VicePresidente e Segretario Ordine ingegneri provincia di Terni, l’ing. Cristian Buconi, l’ing. Federica Perugini e l’ing. Piergiorgio Imperi – Consiglieri Ordine ingegneri provincia di Terni, l’arch. Alessandro Bruni – Presidente INU Umbria, l’arch. Marco Petrini Elce e l’arch. Giulia De Leo – Presidente e Consigliere Ordine architetti provincia di Perugia. Una presenza che testimonia la stretta sinergia e collaborazione tra le nostre professioni. Nel corso della serata, il collega Anderlini ha illustrato l’ultimo volume della collana “I Quaderni della Fondazione” – l’opera di Luigi Pera “Tecnica dell’architettura - Tipologia strutturale”, indicando le ragioni del progetto con ricordi di vita universitaria.

Negli ultimi mesi dello scorso anno si è dato corso al rinnovo dei membri del Consiglio di disciplina per il quadriennio 2022-2026 e alla riattivazione delle Commissioni tecniche, che rappresentano una diretta partecipazione degli iscritti alla vita dell’Ordine, oltre che un prezioso supporto alle attività del Consiglio e una grande opportunità di confronto e crescita professionale. Di grande interesse anche i tanti seminari e corsi svolti in questi mesi e le due visite tecniche, organizzate dalla Commissione Pianificazione, Architettura e Paesaggio e dalla Commissione Strutture e Geotecnica





ai cantieri della ricostruzione di Norcia lo scorso dicembre e alle stazioni ferroviarie e metropolitane di Napoli ad inizio marzo.

Le visite tecniche si confermano occasioni importanti di approfondimento tecnico e professionale oltre che opportunità per vedere e studiare dal vivo cantieri, opere e realizzazioni tecniche.

L'impegno di tutto il Consiglio continuerà ad essere orientato alla valorizzazione e alla tutela della professione dell'ingegnere, sempre con spirito collaborativo e costruttivo.

Gianluca Fagotti
*Presidente Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Perugia*



RAGGUAGLIO AREALE DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE IN UMBRIA



Compiuto l'ultimo passo
per il calcolo di una pioggia
di progetto

di Renato Morbidelli
Alessia Flammini
Carla Saltalippi
Jacopo Dari

Premesse

Durante un recente evento di formazione professionale organizzato dall'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Perugia è stata presentata, a cura del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA) con la collaborazione della Regione Umbria e del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), la relazione matematica che descrive il ragguaglio areale delle precipitazioni intense in Umbria, con la quale si è potuta completare un'analisi finalizzata al calcolo delle piogge di progetto. Pertanto oggi, il progettista di un'opera idraulica, oltre che usufruire delle curve di probabilità pluviometrica per numerose località distribuite sul territorio umbro (Morbidelli et al., 2016), unitamente ad una procedura di regionalizzazione che consente di valutare le piogge estreme in qualunque punto ricadente all'interno dei confini regionali (Saltalippi et al., 2020), può anche effettuare la trasformazione di un dato di progetto da puntuale ad areale (Flammini et al., 2022). Questi tre risultati, frutto della collaborazione dei ricercatori del DICA con i colleghi dell'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica del CNR e con alcuni rappresentanti del "Servizio Idrografico" della Regione Umbria, sono stati pubblicati su altrettanti volumi, editi da Morlacchi Editore University Press (Figura 1), che sono anche disponibili in formato digitale, scaricabili gratuitamente (<https://servizioidrografico.regione.umbria.it/pubblicazioni/>).

In questa memoria, vengono presentate le principali metodologie di stima reperibili nella letteratura scientifica per la determinazione del fattore di riduzione areale della pioggia, dopo averne ricordato sinteticamente la definizione e l'importanza da un punto di vista pratico. Successivamente, viene descritto il processo adottato per la definizione della relazione valida per l'Umbria.

Fattore di riduzione areale della pioggia

Per la progettazione e la verifica di un'infrastruttura idraulica in una determinata sezione di un corso d'acqua è necessario definire la portata di progetto per un fissato tempo di ritorno. Quest'ultima dipende dalla precipitazione che si verifica sul bacino idrografico sotteso dalla sezione d'interesse, in termini sia di durata dell'evento meteorologico che di spessore di pioggia ad esso associato. La precipitazione presenta una variabilità temporale e spaziale e, in particolare, si osserva che gli eventi pluviometrici mostrano zone di intensa attività meteorica denominate centri di scroscio ed è ben noto che allontanandosi da questi ultimi la precipitazione tende a diminuire.

Le procedure tradizionali di calcolo della portata massima ipotizzano spesso una precipitazione uniforme nello spazio. Ciò è dovuto alla maggiore complicazione legata all'uso dei modelli a più ingressi, alle difficoltà connesse alla rappresentazione della

*Le piogge di progetto locali
devono essere estese
(ragguagliate) all'area
di interesse*

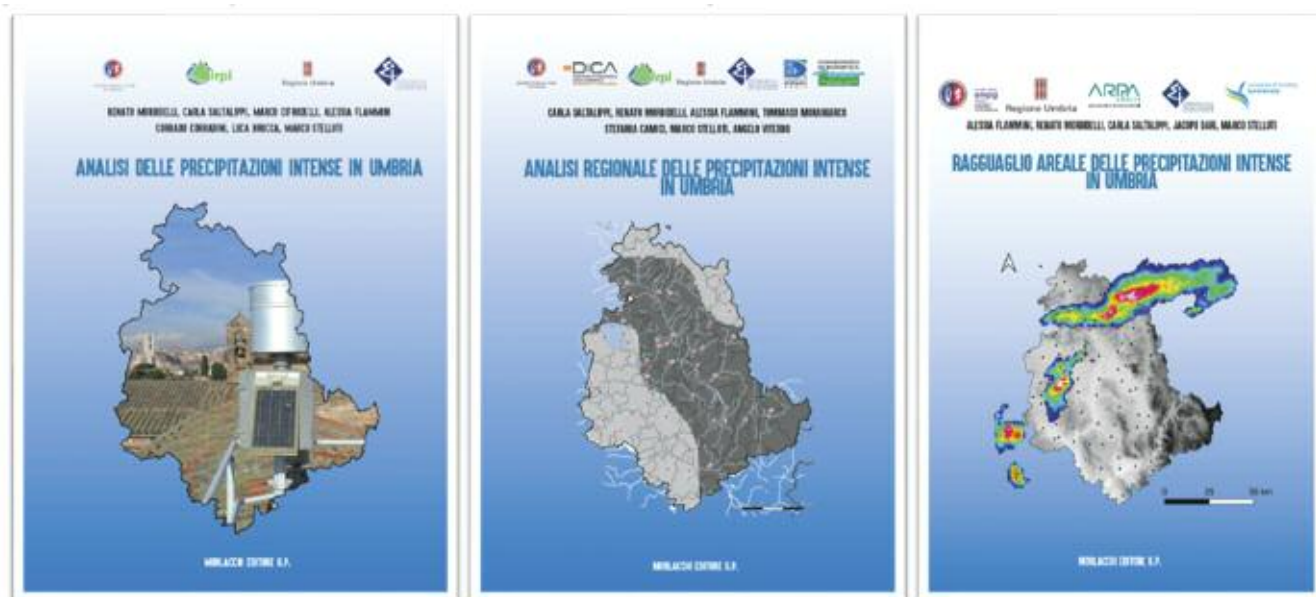


Figura 1: Da sinistra verso destra, le copertine dei volumi contenenti il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica (Morbidelli et al., 2016), la regionalizzazione delle piogge (Saltalippi et al., 2020) e il ragguaglio areale delle precipitazioni intense (Flammini et al., 2022).

variabilità spazio-temporale della precipitazione in termini probabilistici ed anche alla carenza di dati pluviometrici necessari per una schematizzazione più complessa. Tuttavia, per tenere conto della variabilità spaziale della precipitazione sul bacino idrografico di interesse, può essere introdotto un fattore di riduzione o ragguaglio all'area, comunemente denominato ARF (acronimo dei termini inglesi Areal Reduction Factor).

L'intensità di precipitazione areale si può quindi ottenere moltiplicando l'intensità di pioggia puntuale per questo fattore di riduzione (minore o uguale ad 1), che è principalmente funzione della dimensione del bacino considerato (area) e delle caratteristiche della precipitazione (intensità e durata).

Metodi di stima dei fattori di riduzione areale della pioggia

I metodi di stima dei fattori di riduzione areale possono essere suddivisi in analitici, se si adottano ipotesi sulla dinamica spazio-temporale del processo pluviometrico, o empirici, se si effettuano analisi deterministiche di dati osservati. Da un altro punto di vista, i metodi per la stima degli ARF possono essere suddivisi in approcci

"Storm-Centered" o "Fixed-Area", in base al tipo di area considerata (Svensson e Jones, 2010). Nei metodi "Storm-Centered" si suppone che l'area coinvolta sia quella in cui cade la pioggia, che varia con ogni evento pluviometrico. Per un determinato evento viene individuato un punto caratterizzato da un valore massimo di precipitazione, denominato "centro di scroscio". In questo caso l'ARF è definito come il rapporto tra l'altezza della precipitazione areale riferita ad un'area definita da un'isoietta al cui interno si trova il centro di scroscio e il valore massimo di precipitazione che è relativo al centro dello scroscio. L'area coinvolta, il centro di scroscio e la durata cambiano al variare dell'evento meteorologico e solo la media degli ARF su molti eventi può essere considerata rappresentativa per una regione specifica. La definizione di "Storm-Centered" implica una valutazione simultanea delle precipitazioni su scala locale e areale e ciò rende questo approccio inappropriato per l'analisi della frequenza delle precipitazioni areali basata sulle precipitazioni locali. In effetti, è improbabile che le precipitazioni locali e areali estreme siano prodotte dallo stesso temporale.

Ad esempio, le precipitazioni convettive possono produrre precipitazioni critiche locali, ma possono essere associate a spessori di pioggia areali irrilevanti (Svensson e Jones, 2010). Per questo motivo, gli approcci "Storm-Centered" producono ARF non cautelativi, tendenzialmente inferiori a quelli ottenuti con metodi "Fixed-Area" (Sivapalan e Blöschl, 1998). Gli approcci "Fixed-Area" sono particolarmente diffusi per stimare le precipitazioni critiche su un'area specifica (ad esempio, un bacino idrografico) per scopi di progettazione ingegneristica. In questo caso, gli ARF derivano dalle statistiche delle precipitazioni e non sono correlati a nessun evento specifico registrato. Tipicamente, tali approcci si basano su serie di massimi annuali di precipitazioni locali e areali per durate specifiche (US Weather Bureau 1957-1958; Natural Environment Research Council, 1975) e possono anche comportare analisi di frequenza delle precipitazioni sia locali che areali (Bell, 1976; Myers e Zehr, 1980).

I metodi empirici, che sono basati su rilevanti quantità di dati e richiedono pertanto onerose analisi computazionali, sono spesso del tipo "Fixed-Area" e di solito forniscono stime

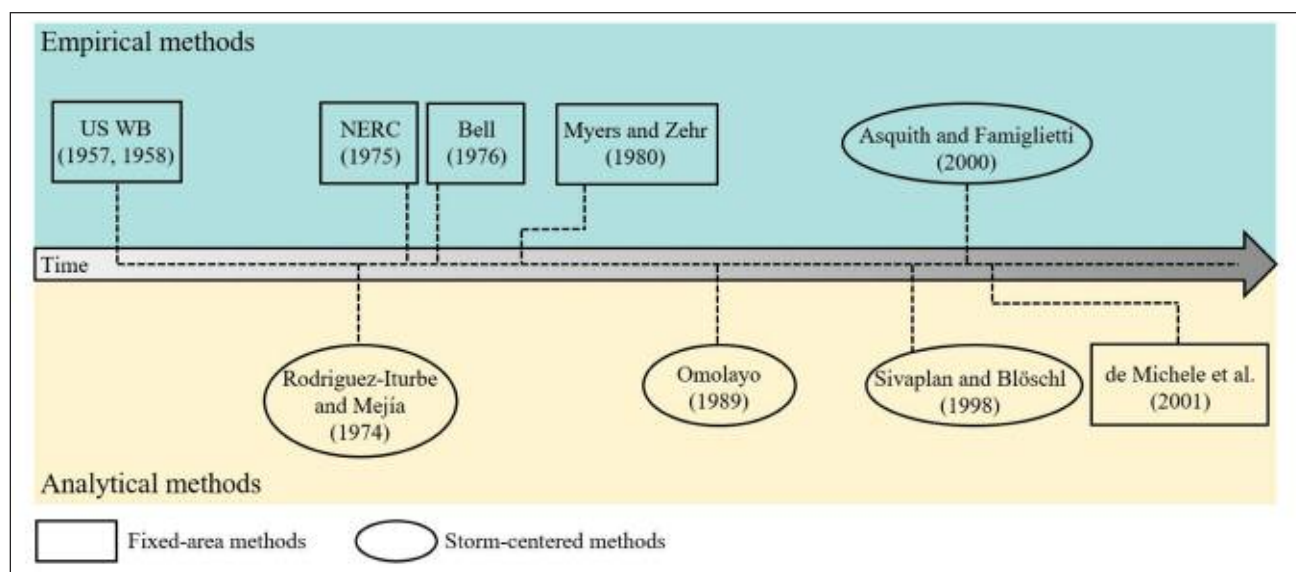


Figura 2: Principali metodi empirici e analitici per la stima degli ARF disponibili nella letteratura scientifica (Flammini et al., 2022).

probabilistiche corrette degli ARF. I metodi analitici invece sono più frequentemente “Storm-Centered”, poiché sono legati a ipotesi sulla struttura spaziale e temporale delle precipitazioni (Sivapalan e Blöschl, 1998) e, per questo motivo, di solito necessitano di una limitata quantità di dati relativi alle precipitazioni osservate. Tuttavia, esistono anche metodi empirici “Storm-Centered”, come ad esempio quello proposto da Asquith e Famiglietti

(2000), così come approcci analitici “Fixed-Area” come quello sviluppato da De Michele et al. (2001). Nella Figura 2 è riportata l'evoluzione temporale degli approcci più diffusi e adottati nella letteratura scientifica per la stima degli ARF, mentre nella Figura 3, a solo titolo esemplificativo e relativamente alla durata della pioggia di 60 minuti, è riportato un confronto tra alcune delle più note formulazioni empiriche, dal quale si evince che l'uso di metodolo-

gie sviluppate in una determinata zona geografica e utilizzate altrove può portare a errori sostanziali nella stima degli eventi pluviometrici di progetto.

Fattore di riduzione areale della pioggia proposto per l'Umbria

Dopo accurata valutazione dei dati pluviometrici disponibili in Umbria e dopo aver effettuato alcune analisi preliminari sugli approcci presenti nella letteratura scientifica, è stata

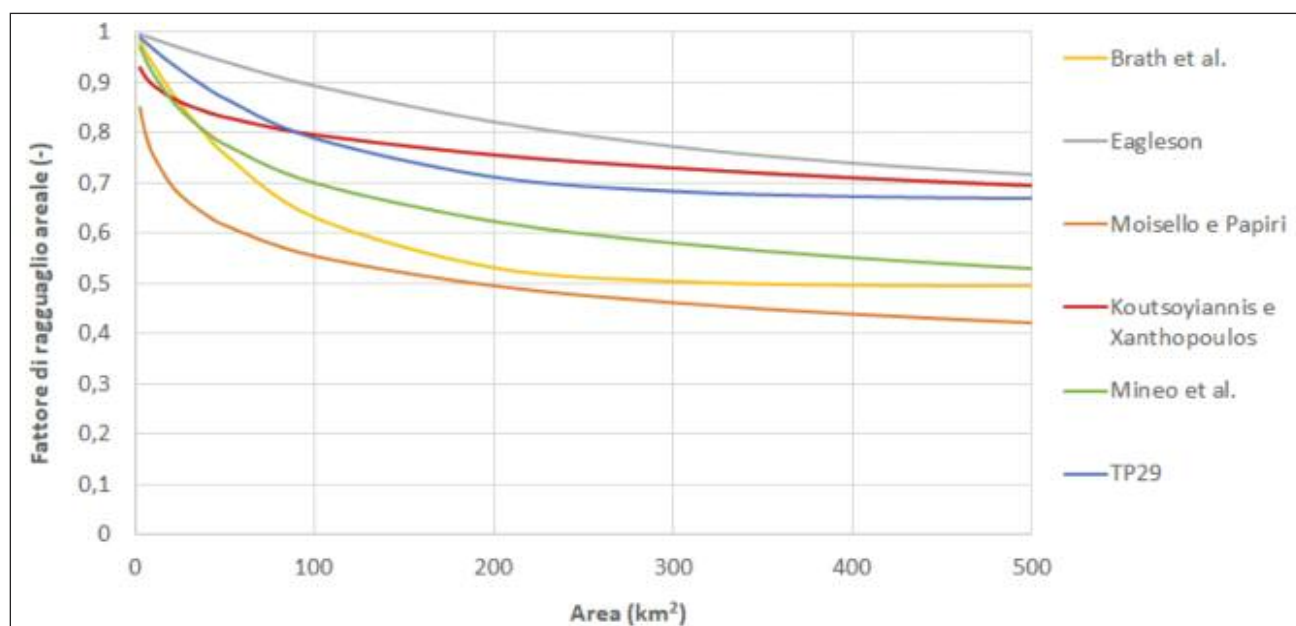


Figura 3: Valori assunti dall'ARF in funzione dell'area del bacino al variare della formulazione proposta dai diversi autori a parità di durata, $D=60$ minuti (Flammini et al., 2022).

scelta una metodologia empirica per la determinazione dei fattori di riduzione areale delle precipitazioni che fosse valida per l'intero territorio regionale e per durate comprese tra 5 minuti e 48 ore.

A causa dell'indisponibilità di un numero sufficiente di dati sub-orari caratterizzati da adeguata qualità e riferiti ad un cospicuo numero di stazioni, è stata accantonata l'ipotesi di determinare una legge dipendente anche dal tempo di ritorno. La tipologia di relazione prescelta, per ciascuna durata D di interesse e per ogni area di studio considerata, è risultata la seguente:

$$ARF = \frac{1}{n \cdot k} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n C_h$$

dove i termini $C_h = \frac{R_i}{\bar{R}_i}$ costituiscono tutte le possibili combinazioni con $i=1, \dots, n$ e $j=1, \dots, k$, essendo n il numero di anni con dati disponibili e k il numero di stazioni incluse nell'area di studio considerata; $\bar{R}_i$ esprime il massimo annuale di durata D della pioggia media areale nell' i -esimo anno, mentre R_{ij} rappresenta il mas-

simo annuale di durata D per la stazione j -esima e l'anno i -esimo. I dati pluviometrici relativi al periodo compreso tra il 1 Gennaio 2014 e il 31 Dicembre 2020 sono stati ritenuti sufficienti per rappresentare adeguatamente il legame esistente tra le piogge estreme locali ed areali. In particolare, sono stati preventivamente controllati, in termini di qualità ed affidabilità, tutti i dati di pioggia con aggregazione temporale pari ad 1 minuto osservati nelle stazioni selezionate.

Successivamente, sempre in relazione alle stazioni e agli anni prescelti, sono stati determinati gli spessori massimi annuali per le durate di 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 180, 360, 720, 1440, 2160 e 2880 minuti. La determinazione degli stessi massimi annuali relativi alle precipitazioni medie areali, per 34 aree di studio selezionate, ha infine consentito di calcolare i fattori empirici di ragguaglio per le varie aree e durate. Ad esempio, nella Figura 4 sono riportati i rapporti C_h , determinati per la durata di 60 minuti, relativi alle aree di studio selezionate (di estensione compresa

nell'intervallo 58,4 – 6115,3 km²) e agli anni prescelti (2014-2020). Pertanto, in riferimento agli andamenti degli ARF, l'espressione analitica ottimale della funzione interpolante, relativa alle varie durate di interesse, è risultata la seguente (rappresentata in Figura 5):

$$ARF_{UM} = \frac{4,449D^{0,528}}{4,449D^{0,528} + A^{0,5}}$$

nella quale la durata D deve essere espressa in minuti e la superficie A in km².

Conclusioni

Il principale obiettivo della ricerca sinteticamente descritta in questa memoria era quello di determinare una legge empirica di ragguaglio areale della pioggia, specifica per il territorio regionale umbro, che fosse valida per tutte le durate e per tutte le estensioni potenzialmente di interesse per un progettista di opere idrauliche da realizzare in Umbria.

A tal fine è stata innanzitutto individuata la tipologia di relazione ritenuta maggiormente adeguata e sono state in seguito selezionate 34 aree di studio

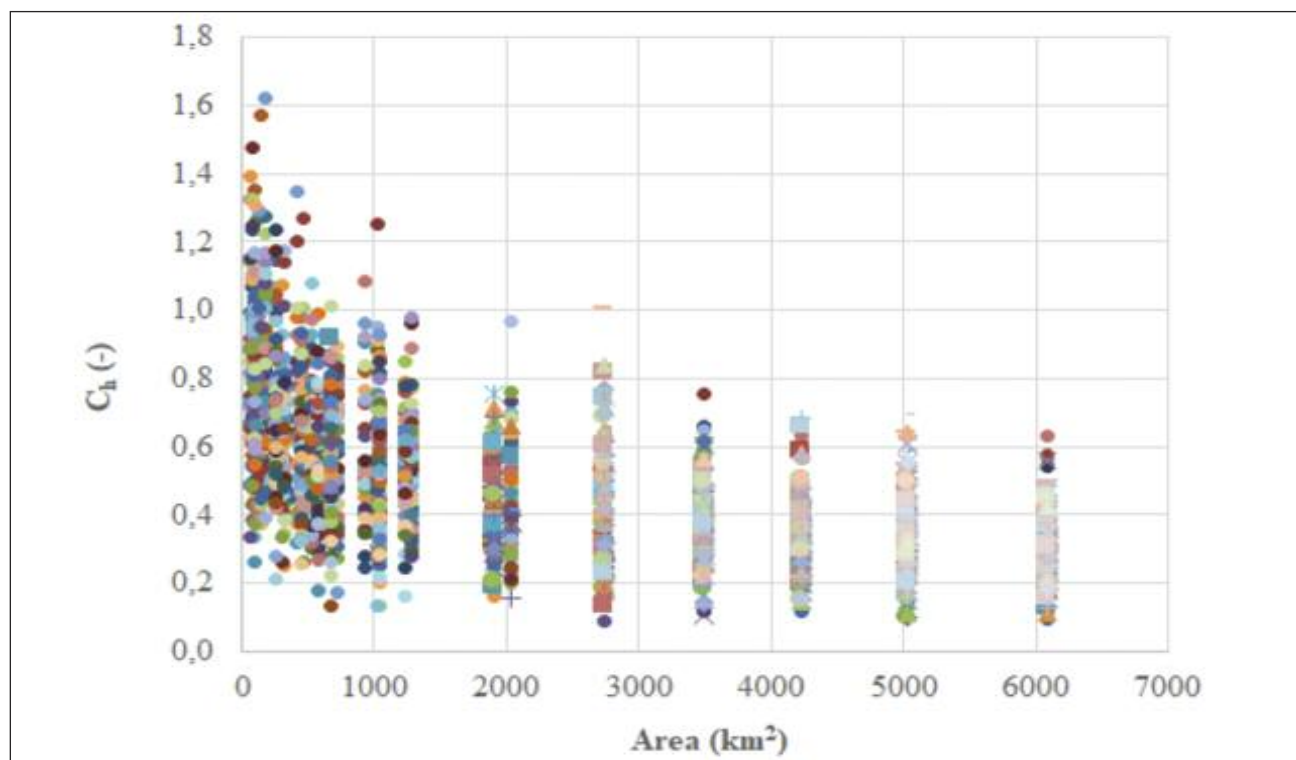


Figura 4: Rapporti C_h relativi ad eventi pluviometrici di durata 60 minuti, per tutte le aree di studio (Flammini et al., 2022).

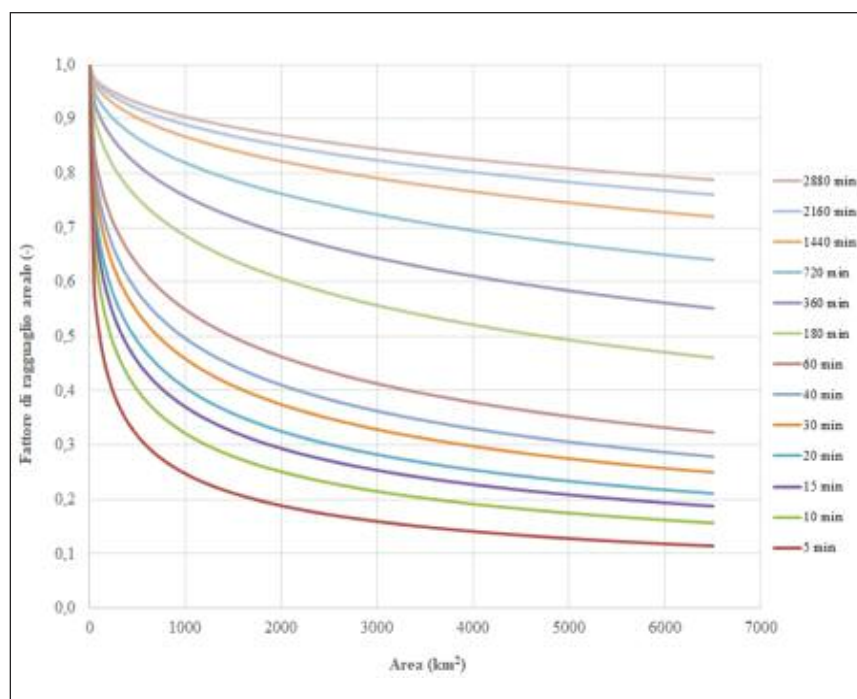


Figura 5: Andamento dei fattori di ragguaglio areale, per varie durate di interesse, specifici per la regione Umbria (Flammini et al., 2022).

di estensione compresa nell'intervallo 58,4 – 6115,3 km^2 , insieme ai 76 pluviometri in esse contenuti. L'analisi è stata condotta a partire da un numero esiguo di anni di dati pluviometrici, pari a 2, che è stato aumentato fino all'intervallo temporale utilizzato (01 Gennaio 2014 - 31 Dicembre 2020), quando i risultati ottenuti si sono stabilizzati. A partire da dati di pioggia con aggregazione temporale pari ad 1 minuto osservati nelle stazioni selezionate e negli anni prescelti, sono stati determinati gli spessori massimi annuali per le durate di 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 180, 360, 720, 1440, 2160 e 2880 minuti, nonché quelli relativi alle precipitazioni medie areali per tutte le 34 aree di studio scelte. Infine, dal calcolo dei fattori empirici di ragguaglio è stato possibile giungere ad una relazione parametrica per il fattore di ragguaglio areale utilizzabile in Umbria, valida per ogni area (A) e per ogni durata (D) di interesse.

Bibliografia

- Asquith WH, Famiglietti JS: Precipitation areal-reduction factor estimation using an annual-maxima centred approach, *J Hydrol* 230(1-2): 55- 69, 2000.
- Bell FC: The areal reduction factor in rainfall frequency estimation, Institute of Hydrology Report No 35, Natural Environment Research Council, UK, 1976.
- De Michele C, Kottegoda NT, Rosso R: The derivation of areal reduction factor of storm rainfall from its scaling properties, *Water Resour Res* 37(12): 3247- 3252, 2001.
- Flammini A, Morbidelli R, Saltalippi C, Dari J, Stelluti M: Ragguaglio areale delle precipitazioni intense in Umbria, Morlacchi Editore U.P., Perugia, 1-87, ISBN: 9788893923842, 2022.
- Morbidelli R, Saltalippi C, Cifrodelli M, Flammini A, Corradini C, Brocca L, Stelluti M: Analisi delle precipitazioni intense in Umbria, Morlacchi Editore U.P., Perugia, 1-472, ISBN: 9788860748058, 2016.
- Myers VA, Zehr RM: A methodology for point-to-area rainfall frequency ratios, NOAA Technical Report NWS 24, US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, Washington DC, USA, 1980.
- Natural Environment Research Council (NERC): Flood Studies Report, Natl. Environ. Res. Counc., London, 1975.
- Omelayo AS: Relationships between point and areal rainfall for flood and drought assessments, PhD Thesis, University of New South Wales, Australia, 1989.
- Rodriguez-Iturbe I, Mejía JM: On the transformation of point rainfall to areal rainfall, *Water Resour Res* 10(4): 729- 735, 1974.
- Saltalippi C, Morbidelli R, Flammini A, Moramarco T, Camici S, Stelluti M, Viterbo A: Analisi regionale delle precipitazioni intense in Umbria, Morlacchi Editore U.P., Perugia, 1-153, ISBN: 9788893921947, 2020.
- Sivapalan M, Blöschl G: Transformation of point rainfall to areal rainfall: intensity-duration-frequency curves, *J Hydrol* 204(1-4): 150- 167, 1998.
- Svensson C, Jones DA: Review of methods for deriving areal reduction factors, *J Flood Risk Manag* 3(3): 232-245, 2010.
- US Weather Bureau: Rainfall intensity-frequency regime Parts 1 and 2, Technical Paper No. 29. U.S. Department of Commerce, Washington DC, USA, 1957-1958.

LO SPORTONE DI MADERNO



Urbanizzazione del territorio
e adeguamento di un'antica
ed importante opera
di bonifica idraulica

di Vincenzo Giovannini*

Lo Sportone di Maderno, fu realizzato dall'Arch. Maderno tra il 1600 e il 1635. Nel corso del tempo ha subito vari rimaneggiamenti fino al XX secolo. È costituito da un ponte in muratura a cavallo dell'apertura formata obliquamente all'argine destro del Fiume Timia, finalizzata allo scarico di una parte delle acque del Meandro. Permette lo scolo delle "acque basse" del bacino Clitunno Alveolo, in quelle "alte" del bacino Marroggia Teverone Timia e nello stesso tempo alimenta due mulini ad acqua siti nel comune di Bevagna. L'immissione avviene tramite una soglia di sfioro situata 4.28 m sotto la sommità dell'argine ed a 2.72 m sopra il letto del fiume. Nella soglia di sfioro è collocata una sportella mobile che in posizione di chiusura presenta il bordo superiore al piano preciso della soglia stessa.

La sportella veniva sollevata a mezzo di un meccanismo di dubbio funzionamento, che scorreva su due putrelle di ferro, in manutenzione al Comune di Bevagna, assicurate alle spalle del Regolatore a 0,70 m di altezza dalla soglia. In base ad un vecchio regolamento la paratoia mobile solo la Domenica poteva essere sollevata per far scaricare liberamente la rete, ma sempre in modo limitato. L'area interessata dallo scolo delle acque basse, ricade nei Comuni di Campello, Trevi, Foligno e Bevagna ed interessa il bacino del fiume Clitunno e dei suoi affluenti per una superficie di 2.800 ha. Una sua parte, quella racchiusa tra la ferrovia Roma Ancona, il collettore principale Teverone e la Forma Vec-

chia, probabile sede del Lago Clitorius, risulta in uno stato di particolare soggezione idraulica, in relazione alla bassa giacitura dei piani di campagna rispetto alle quote di fondo della rete scolante. Il lago "Clitorius" si estendeva a Sud della linea Bevagna Foligno, e forse più che un lago doveva essere un insieme di paludi discontinue formate dalle acque del Marroggia, del Clitunno e del Teverone. L'invaso occupava la linea di Beroide, Cannaiola, Case Vecchie e Picciche. Per vedere eliminate le vaste aree paludose, occorre arrivare ai grandi lavori sistematici eseguiti tra il secolo XV ed il secolo XVI. Nella Galleria delle carte Geografiche dei Musei Vaticani si può osservare una bella rappresentazione della Valle Umbra dipinta da Ignazio Danti, tra il 1580 e il 1585, dove viene rappresentata l'immissione delle acque basse (*Alveolo-Meandro*) in quelle alte (*Marroggia Teverone Timia*). Agli inizi del XVI secolo esistevano ancora le paludi di Spello, di Case Vecchie e Casco dell'Acqua. Le prime opere di bonifica all'inizio furono solo lavori individuali per difendere le singole proprietà, ma ben presto si formarono rudimentali consorzi per cui nella prima metà del XVI secolo il Marroggia era già arginato. In particolare dal 1560 al 1575 un ingegnere idraulico, in realtà era un notaio, Francesco Jacobilli portava a compimento la bonifica delle paludi di una vasta area (*Tenuta grande de' Paduli e tenuta Case Vecchie*). Fino a pochi anni prima del 1600 il Topino, giunto in località Cantagalli, si divi-



Figura 1: Ignoto: Antica planimetria Teverone Timia - Clitunno Meandro



Figura 2a-2b: Immagine vista da valle vecchia immissione e particolare

deva in due parti, una delle quali andava a Bevagna, mentre l'altra col nome di Fossa Renosa, si perdeva nelle paludi di Assisi. Per ricordare il completamento della bonifica, la famiglia Jacobilli celebrò l'avvenimento in un affresco nella sua villa Clio a Cappello. La glorificazione fa riferimento a travestimenti mitologici. Vengono scomodati gli dei che scendono dall'Olimpo o emergono dagli inferi per approdare sullo scenario della pianura Folignate. Si rappresenta la vittoria di Giove, dio benefico, su i due malefici, Nettuno, delle acque stagnanti e Plu-

tone, dell'aria pestilenziale e quindi il ripristinato dominio sulle terre risanate. I mulini di Bevagna, erano azionati prima del 1580 dalle acque del Topino, che venivano derivate a mezzo di un canale che insisteva sul suo antico letto, quando il fiume scorreva nei pressi dell'abitato di Bevagna. Allora il Meandro, canale formato dal Clitunno e dall'Alveolo, immetteva l'intero volume delle sue acque nel Fiume Timia, nel punto in cui fu costruito poi lo Sportone di Maderno. Nell'anno 1580 una piena eccezionale provocò la disalveazione del Topino e quindi l'interruzione dell'alimentazione dei mulini. Mancando una rappresentazione dell'evento si è riportata la ricostruzione disponibile di uno analogo e successivo (*Alluvione del fiume Topino nell'anno 1836*). Gli abitanti di Bevagna, non potendo più alimentare i propri mulini pensarono di utilizzare per questo scopo le acque del Meandro. Costruirono pertanto uno sbarramento nel letto del fiume Timia, in corrispondenza del punto di scarico del Meandro stesso, facendo così peggiorare sensibilmente il regime di scolo della zona. Questo era il panorama storico quando Maderno progettò l'opera omonima. La soluzione proposta dal Maderno con la presentazione del progetto dello Sportone portò ad una disputa tra le comunità di Foligno, Montefalco e Trevi da una parte e quella di Bevagna dall'altra che si tra-

duisse in vertenza giudiziaria e quindi in una sentenza del Cardinale Bevilacqua emessa il 18 Novembre del 1600. Con tale provvedimento fu stabilito che a carico del Comune di Foligno fosse costruito un manufatto regolatore in corrispondenza dell'antico scarico del Meandro nel Timia con l'obbligo della sua perpetua manutenzione a carico del Comune di Bevagna. Sempre a carico dello stesso fu imposta la escavazione del canale detto "*Forma Speciale*" destinato a condurre le acque del Meandro sino ai mulini di Bevagna. Tutto questo fu realizzato sulla base del parere dell'Arch. Carlo Maderno emesso in data 23 Dicembre 1600, da qui il nome Sportone di Maderno. Il manufatto realizzato consentì una mediazione tra esigenze contrapposte: quella del Comune di Bevagna, interessato ad avere un maggior afflusso di acque per l'approvvigionamento dei suoi mulini e quella dei Comuni di Foligno e Trevi interessati invece allo scolo della loro piana (*soluzione che, comunque, non soddisfaceva a pieno né l'una né l'altra parte*). Dopo il 1970 i mutati e continui assetti urbanistici di Trevi e di Foligno causano in occasione di eventi meteorici intensi, maggior allagamenti dell'area prima indicata che si protraggono per giorni e conseguentemente provocano nei terreni gravi fenomeni di ristagno delle acque. L'attivazione nell'anno 1983 del depu-

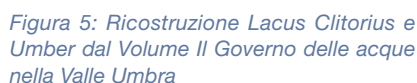


Figura 3: Planimetria schematica area interessata



lica del 1600 che regolava lo scolo delle acque della valle), ha sentito la necessità di verificare le proprie proposte progettuali attraverso studi e prove su modello. L'importo delle opere previste nell'anno 1985 ammontava a 9 Miliardi di lire. Il 1° lotto dell'opera è stata finanziato dalla Regione dell'Umbria per un importo di 3 Miliardi e 300 Milioni, circa 1,65 Milioni di Euro. La soluzione realizzata ha permesso di mantenere separate le acque del Clitunno e dell'Alveolo dall'attuale punto di riunione, in modo da rendere libero quest'ultimo dalle acque perenni del Clitunno (*portata 1.5 - 1.8 mc/sec*) e migliorare così sia

il deflusso delle acque di scolo che il franco di coltivazione dei terreni della zona in predicato. A tal fine la confluenza nel Timia, del nuovo collettore di scolo è stata spostata di circa 600 m. più a valle, rispetto all'attuale confluenza, Sportone di Maderno, in modo da guadagnare la maggior quota possibile, anche in relazione all'esistenza nel Timia di tre piccoli salti di fondo di altezza complessiva pari a 1.50 m. L'opera è stata completata nel mese di Giugno del 1996. Tra le varie difficoltà, basti pensare che il by pass di collegamento Alveolo Meandro ha una pendenza di circa 20 cm al Km. A seguito di intense piogge il 16



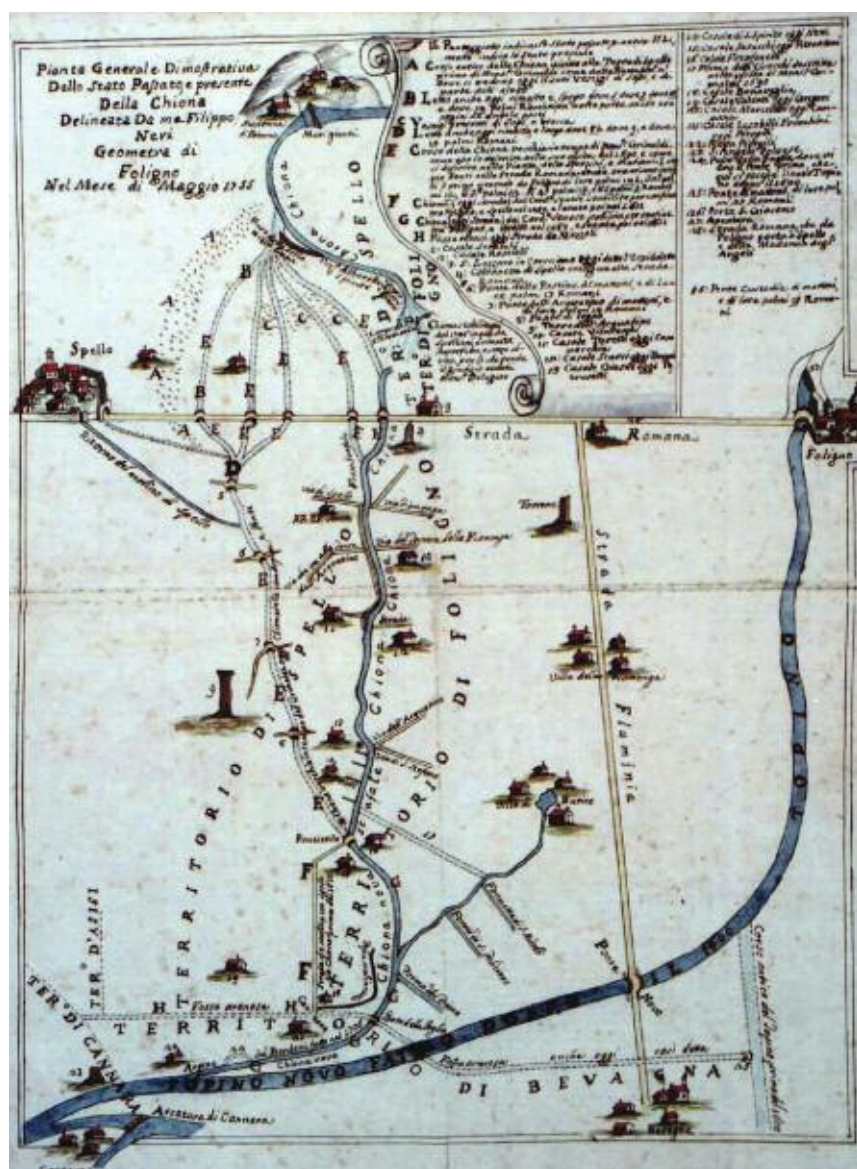


Figura 7: Filippo Neri, Pianta generale della Chiona, 1755



Figura 8: Bevagna molini lavatoio dell'Accolta – Ramo destro Clitunno

Novembre del 1996, si verificò un'onda di piena che sottopose l'opera ad un collaudo reale. La nuova immissione ebbe un comportamento rispondente a quanto previsto ed assolse contemporaneamente tanto alla funzione di scolo della valle che di laminazione della piena delle acque, provenienti dal torrente Timia (circa mezzo milione di mc d'acqua). Con tale realizzazione la città di Bevagna vede garantita l'alimentazione dei due mulini con la massima portata possibile e migliorata notevolmente la qualità dell'acqua del ramo destro Clitunno (*non confluisce più quella dell'Alveolo che recepisce scarichi fognari*). Le città di Foligno e Trevi invece, vedono finalmente esaudite le proprie richieste di avere un efficace sistema di drenaggio, con abbassamento di circa 1.50 m della soglia e con eliminazione di qualsiasi regolazione, ottenendo così un migliore drenaggio della valle. La vecchia opera idraulica "Sportone di Maderno" è stata posta in disuso e conservata come testimonianza storica al pari della Torre di Montefalco (*nel passato aveva funzione di controllo delle opere di bonifica*). Si ricorda che con la costruzione della nuova immissione non saranno eliminate del tutto le possibilità di inondazione della zona (*il rischio idraulico non è eliminabile in assoluto*). Si è però conseguito il risultato che in caso di allagamento si avrà un rapido deflusso delle acque (24 - 48 ore), al contrario di quanto accadeva precedentemente, quando l'area si trasformava in un lago che permaneva anche dei mesi. Il 30/5/1998, in Convegno, fu presentata a Foligno l'opera realizzata. È bene sottolineare come sia indispensabile che l'obiettivo di chi pianifica debba essere quello di ottenere uno sviluppo compatibile con l'ambiente e fare in modo che le diverse esigenze nell'ambito del rispetto della natura, una e non rinnovabile, possano coesistere.

* Dott. Ing. Libero Professionista, ex Direttore del Consorzio Bonificazione



Figura 9: Inaugurazione dei lavori di aggiornamento della vecchia opera di immissione



Figura 10: Vista da collina Montefalco area Marroggia

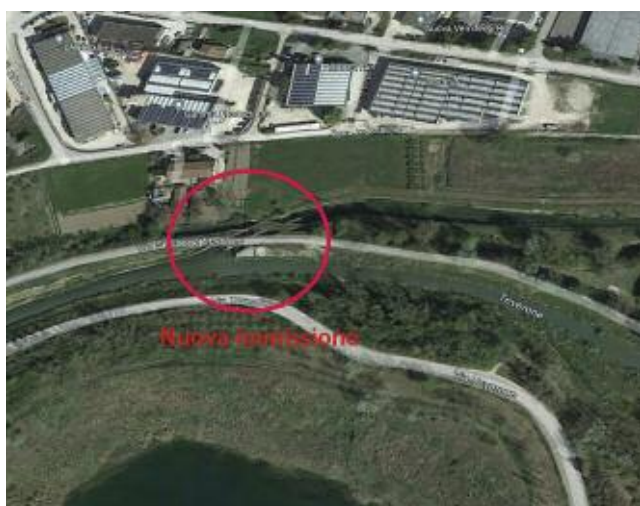


Figura 11: Google Earth ubicazione nuovo e vecchio Sportone



Figura 12: Nuova opera di immissione: Piena anno 1996

Carlo Maderno

Giova ricordare chi era l'Arch. Carlo Maderno (tratto da una sua bibliografia di Axel Christoph Gampp). Nacque a Melide nel 1556 e morì a Roma nel 1629. Tra le opere più importanti basti citare la "Facciata di S. Pietro a Roma. Fino ad oggi ben poco è stato scoperto sulla carriera del Maderno, che lo portò ad essere per ben 25 anni il più importante architetto ed ingegnere di Roma.

La riproduzione delle antiche mappe è stata tratta da "La valle Umbra – Disegni e piante dalla visita ai fiumi alla bonifica" Catalogo della mostra a cura di Paolo Buonora – Edito da Consorzio della Bonificazione Umbra – Spoleto Anno 1994.

Il testo dell'articolo, aggiornato ad oggi, è stato tratto dal Volume "Il Governo delle Acque nella Valle Umbra" pubblicato dal Consorzio della Bonificazione Umbra nel 1993, *si articola in sei parti, Cenni storici, Aspetti Giuridici della Bonifica, Fenomenologia del Comprensorio, Difesa del Suolo, Opere idrauliche e Gestione delle Acque e prende in rassegna le diverse problematiche idrauliche della Valle Umbra*. Già nel trattato dell'Ing. Antonio Viappiani, "L'idraulica fluviale, pratica con esempi" della Hoepli pubblicato nel 1919, nel capitolo VII "Sistemazione della valle Spoletina" si trova la descrizione dettagliata del sistema idraulico della Valle Umbra, con l'indicazione dello Sportone di Maderno e della sua funzione.

LA DECARBONIZZAZIONE IN FORTE ACCELERAZIONE E CON ESSA UN IMPOVERIMENTO GENERALE?



di Giovanni Paparelli

La pandemia prima, la guerra in Ucraina poi, hanno dato una profonda scossa ai programmi europei in materia energetica. Ora il tempo stringe e dalla programmazione bisogna passare all'attuazione di quelle strategie europee in tema di decarbonizzazione, necessarie per dare una significativa svolta al problema connesso col surriscaldamento del pianeta terra.

La fase attuativa presenta peraltro un insieme di difficoltà perché i tempi attuativi stringenti sono capaci di mettere in difficoltà intere nazioni ancora impreparate tra le quali ne fa certamente parte l'Italia. Il timore maggiore è che la decarbonizzazione possa essere accompagnata da un impoverimento generale o, nell'ipotesi migliore, in un insieme di disagi e disservizi la

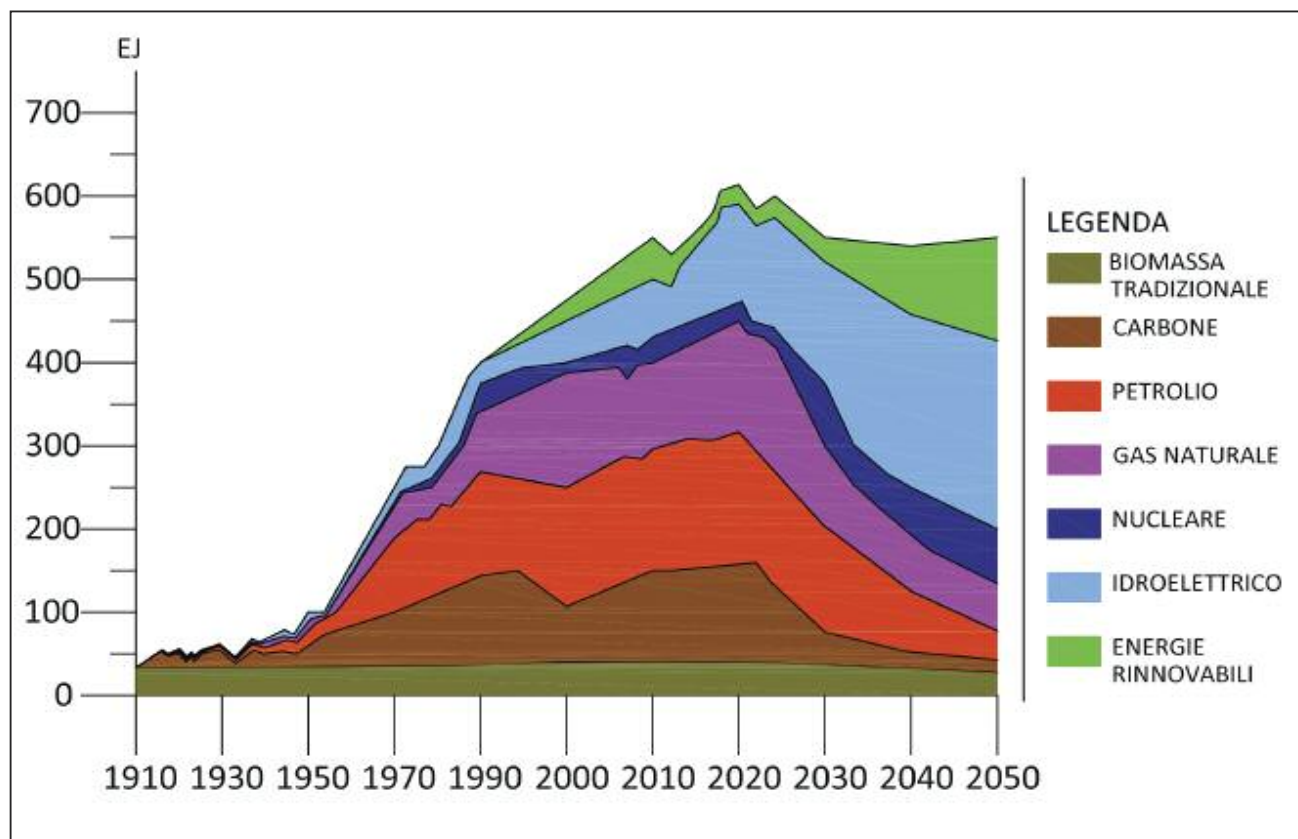


Figura 1: Previsioni per la decarbonizzazione entro il 2050

cui portata non è ancora stata ben definita. Il grafico di figura 1 illustra gli obiettivi che l'Europa si prefigge da oggi fino al 2050 per perseguire una efficace decarbonizzazione. In esso, in ascisse sono riportati gli anni e in ordinate i consumi espressi in EJ, ricordando che 1 Exajoule è pari a 0,0239 Gtep con tep = tonnellata equivalente di petrolio.

Il Piano Energetico Nazionale in materia di clima ed energia prevede i seguenti punti essenziali:

- 1) Riduzione delle emissioni in atmosfera del 40% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990;
- 2) Incremento del 27% entro il 2030 della quota di copertura energetica attraverso l'impiego di fonti rinnovabili;
- 3) Incremento dell'efficienza energetica del 27% entro il 2030. Tutte le case europee dovranno essere in classe energetica E entro il 2030 (consumi $90 \div 120$ kWh/mq); in classe D entro il 2033 (consumi $71/90$ kWh/mq) e nel 2050 tutti gli edifici dovranno essere a zero emissioni, fatta eccezione per quelli storici. Si percepisce immediatamente come il punto 3) costituisca un problema la cui attuazione comporterà sacrifici importanti.

Veniamo al punto 1).

I combustibili fossili riguardano il 78% del consumo energetico in Europa e l'81% nel mondo. La nostra civiltà si articola infatti in 4 materiali essenziali:

- il cemento in quantità pari a 4,5 miliardi di tonnellate /anno;
- il ferro, pari a 1,8 miliardi di t/a;
- la plastica per 370 milioni di t/a;
- l'ammoniaca (NH₃) per 150 milioni di t/a. La presenza di ammoniaca è connessa con la produzione di fertilizzanti azotati che concorrono in modo significativo a nutrire 8 miliardi persone nel mondo. La riduzione delle emissioni nocive dovute ai fossili, può sì essere attuata, ma al loro posto dovranno essere introdotti nuovi combustibili, altrimenti l'impoverimento e le carestie prenderanno il sopravvento. I concimi e i fitofarmaci sono ormai indispensabili. Due secoli fa, infatti, erano neces-

sarie 52 ore di lavoro dell'uomo per produrre un ettaro di cereali, mentre ora ne bastano soltanto due grazie alle macchine, ai concimi e ai fitofarmaci. Ricordiamo le possibili energie rinnovabili a cui possiamo accedere per sostituire i combustibili fossili:

a) l'energia nucleare. Bocciata dagli italiani con referendum nel 1987, dovrebbe essere ora più sicura. Ma i timori in Ucraina per i danni arrecabili alla centrale nucleare di Zaporizzia dimostrano come la sicurezza non è mai assoluta.

Esistono sempre i rischi residui e/o quelli di difficile individuazione. Infatti in quella nazione il rischio non calcolato è stato proprio la guerra;

b) l'idrogeno risulta una buona soluzione per le attività in cui la decarbonizzazione risulta difficile da abbattere (harde to abate). Trattasi di attività in cui l'elettrificazione diretta è difficile da attuare. Trattasi di industrie metallurgiche, settori della ceramica e del vetro, nei macchinari per la lavorazione di terreni, le attività molitorie, nei trasporti con aerei, treni e similari, ecc. Per molte di queste attività può esistere l'alternativa di accumulare i prodotti inquinanti, facendoli poi transitare in filtri in cui un materiale, simile alla sabbia, si lega con la CO₂ trattenendola;

c) le biomasse;

d) l'energia geotermica;

e) l'energia pulita data da eolico e solare. Si segnala comunque come l'eolico e il solare siano caratterizzati da una produzione intermittente che deve essere gestita opportunamente. L'energia eolica, nel 2022, ha avuto una diminuzione del 30% a causa della minore attività dei venti. L'energia elettrica rappresenta inoltre il 25% del consumo totale e quella eolica e solare, essendo intermittenti, devono essere accumulate con sistemi idonei che appaiono validi solo per piccole potenze;

f) gli accumulatori per le auto elettriche. I veicoli elettrici a batterie si stanno diffondendo rapidamente, ma sembra che questa scelta appartenga

più alla politica che non alla tecnica.

Il veicolo elettrico viene descritto come più semplice da costruire rispetto a quello termico, più efficiente energeticamente, ma presenta degli inconvenienti a causa della pianificazione delle ricariche le quali, con la ricarica veloce, non superano mai l'80% di quella teorica. Il costo di fabbricazione del gruppo di accumulatori e del gruppo propulsore hanno un costo medio del 51% del totale del veicolo, mentre in quello termico, il sistema propulsore ha un costo del 18%. Un veicolo elettrico riduce le emissioni di gas ad effetto serra, ma questo è vero solo in Italia, molto meno in Cina o in Germania in cui l'energia elettrica per la ricarica delle batterie è prodotta principalmente col carbone. Il tempo di ricarica costituisce un handicap non da poco. La scarsa diffusione delle colonnine di ricarica è, almeno per ora, un ulteriore problema.

La svalutazione dei veicoli elettrici è maggiore di quella dei motori endotermici. Le batterie si degradano e vanno sostituite almeno ogni 10 anni. Un veicolo elettrico usato è di difficile commercializzazione; non è inoltre idoneo per gli inverni freddi che ne determinano una minore efficienza.

Tutto questo lascia presagire che i veicoli elettrici facciano parte di una tecnologia di transizione. Allorché la transizione energetica sarà stata attuata, gli accumulatori al litio saranno sostituiti dall'idrogeno.

Per ora i veicoli a idrogeno in Italia sono pochissimi sia perché hanno un costo eccessivo rispetto agli omologhi elettrici, sia perché le stazioni di rifornimento sono quasi assenti (l'unica stazione di rifornimento di idrogeno si trova a Bolzano).

Nell'attesa dei nuovi combustibili sopra descritti, una considerazione particolare merita la mobilità sostenibile nelle città italiane con popolazione superiore ai 100.000 abitanti. Si intuisce come i veicoli dovranno essere non inquinanti o con bassa carica inquinante; dovrà essere privilegiato il

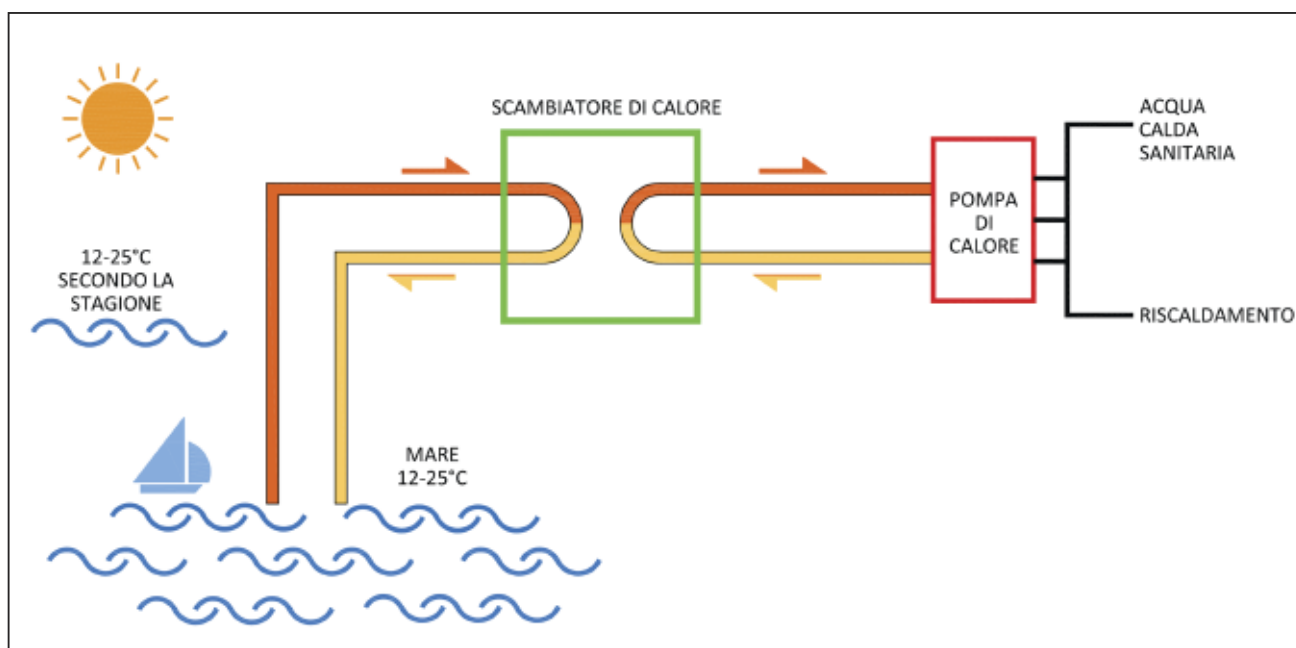


Figura 2: Schema funzionale di pompa di calore utilizzando l'energia talassotermica

mezzo di trasporto pubblico rispetto a quello privato. Tutte cose giuste sulla carta, ma per il modo con cui vengono proposte al cittadino, appaiono una punizione piuttosto che una miglioria finalizzata ad un mondo migliore.

La mobilità sostenibile non si può quindi realizzare contro o a dispetto della popolazione. La gradualità appare d'obbligo. Un esempio esemplare di mobilità sostenibile è fornito dal Principato di Monaco.

Lo scenario in esso programmato prevede entro l'anno 2030 l'uso di mezzi elettrici, spostamenti a piedi con diffuso utilizzo di marciapiedi mobili, incremento di parcheggi fino ad arrivare ad una capienza di 50.000 veicoli, uso di navette a idrogeno, funicolari interrate, teleferiche e una metropolitana interrata che unirà la stazione di Nizza con quella di Monaco.

La popolazione, si presume, non potrà che essere soddisfatta. Indicare Monaco come un esempio da seguire appare peraltro sin troppo facile perché quella minuscola città da 2 kmq di superficie, con 38.000 abitanti ca) soffre di carenza di terreno per espandersi, ma non è certamente carente di risorse economiche.

L'uso della talassotermia (pompe di calore con prelievo di energia dal mare) saranno, insieme agli impianti fotovoltaici ed eolici realizzati su terreno francese in concessione, l'unica fonte di energia termica.

Il Principato di Monaco rappresenta quindi un esempio di decarbonizzazione indolore per i suoi cittadini. L'immagine di figura 2 illustra uno schema di un impianto simile alla talassotermia già in uso nel piccolo Principato, che sarà implementata nei prossimi anni. Per cercare di dare una risposta al quesito posto dal titolo del presente articolo, si cita l'economista inglese **William Stanley Jevons** (1835 – 1882) il quale rilevò come l'avvento della macchina a vapore, con la sua energia più efficace e con consumi inferiori rispetto alle energie precedentemente utilizzate dall'uomo, avesse determinato un imprevisto aumento dei consumi.

Questa affermazione diventò famosa come il paradosso di Stanley Jevons che, attualizzato ai giorni nostri, si concretizza nella seguente affermazione: *"L'uso delle lampade a led a basso consumo, per il numero eccessivo di queste ultime rispetto a quelle*

ad incandescenza, fa lievitare i consumi di elettricità". La decarbonizzazione non implicherà quindi una riduzione dell'uso dell'energia, ma un suo incremento, perché la società si evolve con l'energia quando questa ha un costo ragionevole, compatibile con il proprio stile di vita economico. Nel caso italiano, in cui si pretende che il cittadino rinunci al proprio automobile perché inquinante, ma che non dispone ancora di un servizio pubblico adeguato che gli consenta di condurre la stessa vita di prima, ci sarà una fase transitoria con difficoltà e disagi che modificheranno significativamente la sua vita.

Altrettanto può dirsi per la riqualificazione energetica degli edifici che, per l'eccessivo e quasi vessatorio impatto sulla vita del cittadino, sarà probabilmente prorogata e magari supportata da incentivi e agevolazioni tali da renderla ragionevole e sopportabile.

In ultima analisi, la decarbonizzazione potrà essere quasi indolore se sarà imitato, almeno parzialmente, l'esempio del Principato di Monaco; sarà invece fonte di disagi se essa non sarà preceduta, in tempo utile, dagli interventi sostitutivi necessari.

I CANTIERI DELLA RICOSTRUZIONE A NORCIA



Resoconto della Visita Tecnica
organizzata dalla
Commissione Pianificazione,
Architettura e Paesaggio
e dalla Commissione Strutture
e Geotecnica ai cantieri della
ricostruzione di Norcia

di Massimo Palombo

Finalmente, dopo il lungo stop causato dal Covid-19, che, oltre ai danni alla salute, ha generato vari effetti sulla società, tra i quali una riduzione degli spostamenti e degli assembramenti, è stato possibile tornare ad effettuare anche le visite tecniche, momento di estrema importanza per la vita dell'Ordine, in cui, all'occasione di vedere e studiare dal vivo cantieri, opere e realizzazioni tecniche, si aggiunge la possibilità di incontrare colleghi, scambiarsi idee ed opinioni, confrontarsi su temi tecnici e non, in sintesi di poter conoscere l'uomo dietro all'ingegnere.

A tal proposito, la Commissione Strutture e Geotecnica e la Commissione

Architettura, Pianificazione e Paesaggio dell'Ordine degli Ingegneri di Perugia, hanno pensato di coniugare al grande tema della ripartenza dopo la pandemia la grande sfida a cui sono chiamati gli abitanti ed i territori del cratere del Sisma del 2016, ovvero il ritorno ad una vita "normale".

Il 1° dicembre 2022, in collaborazione con la Fondazione dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Perugia, è stata effettuata una Visita tecnica a due dei cantieri della ricostruzione, ovvero il Cantiere del **Monastero di San Benedetto in Monte**, appena fuori Norcia, ed il cantiere della **Basilica di San Benedetto**, la cui immagine danneggiata è diventata uno dei simboli del catastrofico evento del 2016.

A guidare il gruppo nella prima tappa di questo itinerario è stato l'ingegner Michele Pelliccia che, insieme all'Architetto Chiara Menghini, hanno curato il progetto e la direzione lavori per Oikos Progetti. L'attuale **Monastero di San Benedetto in Monte** è in realtà l'ex convento Cappuccino di Santa Maria della Misericordia, un'antica chiesa del XVI secolo poco distante dall'abitato di Norcia che, grazie alla sua posizione sopraelevata, si affaccia sulla Piana di Santa Scolastica. Come raccontato dal Padre Priore, che ha accolto il gruppo di ingegneri, questa chiesa andata in rovina è stata scelta come luogo dove trasferire la comunità di monaci benedettini che fino a pochi anni fa risiedeva entro la città murata, avendo



Figura 1: Il gruppo di ingegneri in ingresso al Cantiere di San Benedetto in Monte (Fotografia di Massimo Palombo)

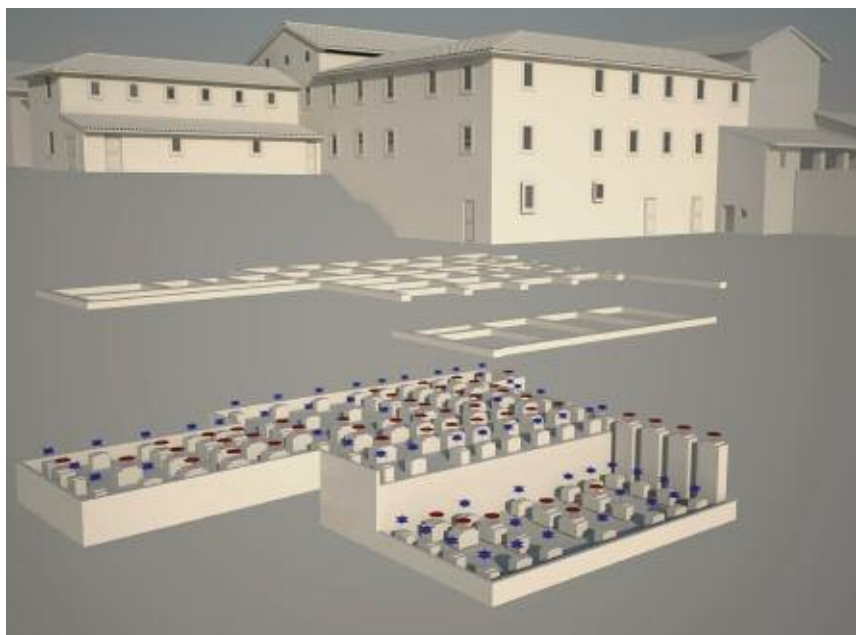


Figura 2: Esploso assometrico del progetto del monastero e del sistema fondale. In blu i 57 isolatori sismici elastomerici e 50 appoggi scorrevoli (Immagine di ing. Michele Pelliccia)

individuato in questo luogo appartato alle pendici dei Sibillini il punto più adatto per far crescere una comunità che segue tuttora l'antica Regola monastica di San Benedetto.

Entrando nello specifico, l'oggetto del progetto è il restauro e risanamento conservativo dell'ex convento e della chiesa. L'attività progettuale è iniziata nel 2009, tuttavia i lavori si sono dovuti interrompere nel 2016 a causa del sisma. Per fortuna il primo stralcio funzionale dell'intervento ha riguardato il volume della **chiesa** ed il sisma del 2016 ha trovato gli interventi strutturali quasi completati. Sebbene sia risultata l'unica chiesa di Norcia in cui si è conservata la volta in pietra, i danni riportati sono stati comunque consistenti, tali da giustificare un approfondimento ulteriore dei parametri geofisici dell'area. Ne è emersa una accelerazione sismica locale maggiore del 60% rispetto a quanto previsto dalle NTC. Tale scoperta ha condotto alla scelta di dotare l'edificio di fondazioni profonde (414 micropali) che portassero i carichi della struttura ai sottostanti strati di calcari e marne, riducendo l'influenza dell'irregolarità stratigrafica dell'area.

Il **monastero** che si trovava già in uno stato di collabenza, è stato completamente distrutto dalle scosse dell'ottobre 2016 ed è stato progettato un sistema fondale su 57 isolatori sismici elastomerici e 50 appoggi scorrevoli. La struttura in elevazione è stata scelta di realizzarla in muratura confinata per migliorare il suo comportamento alle scosse di piccola intensità

che non attivano lo scorrimento degli isolatori e per tenere in considerazione la componente verticale del sisma che tanti problemi ha causato agli edifici circostanti.

Il completamento del primo stralcio funzionale contenente la chiesa è avvenuto nel Natale del 2020, mentre il monastero è attualmente in fase di completamento e le aspettative sono quelle di concludere i lavori entro due anni. Il progetto e la direzione dei lavori sono stati curati l'ing. Michele Pelliccia insieme all'arch. Chiara Menghini dello studio Oikos Progetti srl. Ha collaborato nella progettazione strutturale l'ing. Stefano Gasparrini, mentre per il coordinamento della sicurezza l'ing. Paolo Satta. Gli impianti elettrici sono stati progettati dall'ing. Crispoldo Nalli, gli impianti termofluidici sono a firma dell'ing. Andrea Placidi. Il geologo è Filippo Guidobaldi. L'impresa esecutrice è Edilcos di Fraschetti Luciano e Egidio s.r.l.

Seconda tappa di questo itinerario è stata il Cantiere della **Basilica di San Benedetto**. La visita, realizzata in collaborazione con l'Ufficio del Soprintendente Speciale per le aree colpite dal sisma del 24 agosto 2016 del Ministero della Cultura, è stata guidata, per conto di questo ufficio, dall'Arch.



Figura 3: Fase di realizzazione del sistema fondale (Immagine di ing. Michele Pelliccia)

Anna Rutiloni, mentre, per conto di COBAR S.p.A, dal capocantiere, l'ing. Luigi Trincia e dalla restauratrice Dott.ssa Emanuela D'Abbraccio.

L'evento sismico del 30 ottobre 2016, di magnitudo Mw 6.5, con epicentro a Norcia, ha prodotto il crollo di gran parte del campanile, con la cella campanaria precipitata, in grossi blocchi, verso l'interno della chiesa.

Questo evento ha causato la distruzione della copertura lignea a capriate, delle volte del transetto e dell'arco trionfale; all'esterno, il crollo del portico delle misure, sulla parete longitudinale destra. Tale massa di macerie ha comportato anche il coinvolgimento delle strutture di calpestio della Basilica con sfondamento di parte della volta della sottostante cripta. In data 10 aprile 2018 un'ulteriore scossa di magnitudo Mw 4.6, registrata a Muccia (MC), ha causato un ulteriore aggravamento dello stato di danno.

Al sisma sono seguite **due fasi di messa in sicurezza**: La prima fase, iniziata a Novembre 2016 e terminata a Maggio 2017, ha interessato sostanzialmente la messa in sicurezza della facciata con ponteggio in tubo giunto, esterno sul fronte e con parte a sbalzo sul retro-facciata, dimensionato e zavorrato per impedire il ribaltamento



Figura 4: Ingegneri in visita al sistema fondale (Fotografia di ing. Massimo Palombo)

della stessa sia verso l'esterno sia verso l'interno; messa in sicurezza del campanile attraverso una cerchiatura della porzione sommitale e puntellamento della parte bassa con ritegni in legno; messa in sicurezza delle parti residue rimaste, dell'abside e dei transetti. La **seconda fase** in somma urgenza si è resa necessaria in seguito alle ulteriori scosse sismiche di giugno 2018, che hanno aggravato lo stato di conservazione del rosone della fac-

ciata, già compromesso dagli eventi sismici del 2016; questa fase si è conclusa a gennaio 2019. I **lavori di ricostruzione e restauro** della Basilica di San Benedetto, iniziati con la consegna degli stessi all'impresa Cobar il 23 novembre 2021, eseguite tutte le opere necessarie di cantierizzazione, sino alla data della visita hanno in particolar modo riguardato:

1) Parete della Basilica lungo il Portico delle Misure: questa muratura che, con il portico e le misure caratterizzava l'intera piazza, è stata ad oggi ricostruita ricollocando nella posizione esatta, desunta da un attento studio della documentazione fotografica esistente, le pietre recuperate dai crolli, catalogate e conservate presso il Deposito di Santa Scolastica. Nel caso specifico di San Benedetto, infatti, c'è stata la creazione di un Deposito apposito, il Deposito di Santa Scolastica, dove, contemporaneamente ai lavori in Basilica, si è effettuata l'attività di selezione dei materiali da ricollocare, a partire dalla selezione delle macerie, la loro cernita e catalogazione. Il muro è stato ricostruito per la parte interna in mattoni pieni fatti a mano e per la parte esterna tramite la ricollocazione dei blocchi di pietra di recupero collegati con diatoni in malta e fibre di vetro.



Figura 5: Ingegneri in visita al sistema fondale (Fotografia di ing. Massimo Palombo)



Figura 6: a sinistra il portico delle misure. Figura 7: a destra l'ingresso in basilica (Foto Massimo Palombo)



Figura 7: Il gruppo di fronte al cantiere della Basilica di San Benedetto (Foto di M. Palombo)

2) Ricostruzione della cripta: è stata ricomposta la sua copertura voltata, in gran parte distrutta dal crollo del campanile; sono stati riposizionati tre pilastri portanti attraverso un'operazione di anastilosi filologica; è stata ricostruita la piccola abside centrale anch'essa parzialmente distrutta. Sono stati smontati i ponteggi al suo interno ed è stato liberato il pavimento che sarà presto oggetto di lavori di restauro, principalmente volti a sanare gli avvallamenti che si sono formati con l'impatto dei blocchi del campanile crollati. A livello della cripta si stanno conducendo i lavori (anche nel campanile) per le necessarie verifiche fondali.

3) Ricostruzione della parete lungo il convento: la parete era stata a tal punto danneggiata da risultare in gran parte inclinata verso la navata, sono stati effettuati smontaggi e localizzate ricostruzioni in gran parte concluse. In questa parete, a seguito del crollo dell'intonaco, è stata rinvenuta la struttura muraria più antica (probabilmente risalente al tardo medioevo) con resti di affreschi databili alla fase rinascimentale.

Gli affreschi sono stati consolidati e messi in sicurezza in vista delle attività di restauro.

4) Ripristino dell'accesso alla Basilica tramite la facciata principale: in seguito all'avvio della ricostruzione della muratura della navata lungo il portico delle misure è stato definitivamente chiuso il varco murario che ha consentito l'accesso al cantiere ed è stato ripristinato l'ingresso dal portale principale della Basilica

Riferimenti Bibliografici ed Approfondimenti Web

Riferimenti Bibliografici ed Approfondimenti Web:

Monastero di San Benedetto in Monte - Norcia <https://it.nursia.org/>

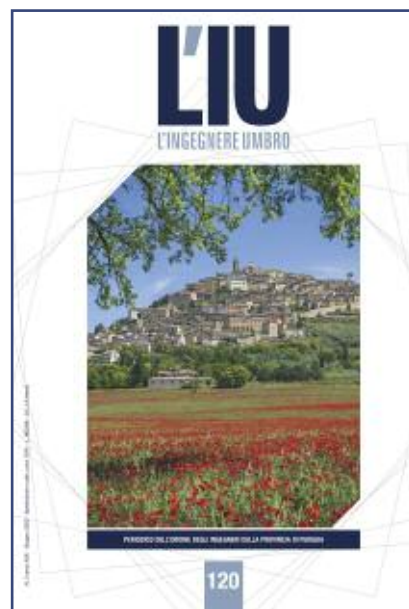
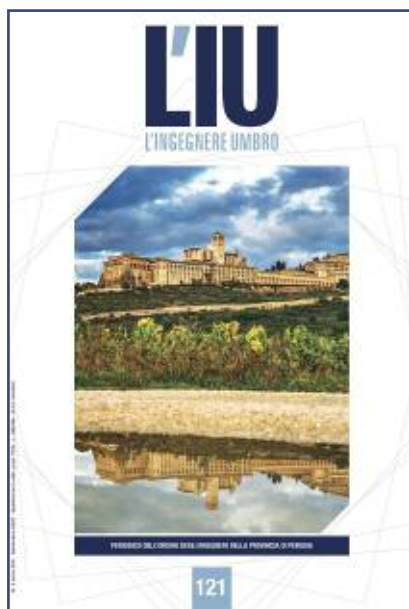
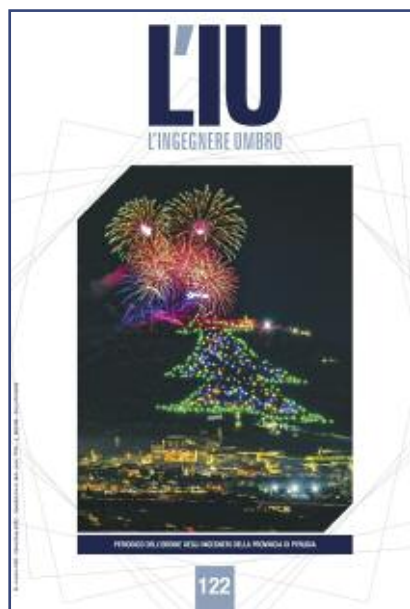
Oikos Progetti <https://www.oikosprogetti.it/>

Ufficio del Soprintendente Speciale per le aree colpite dal sisma del 24 agosto 2016

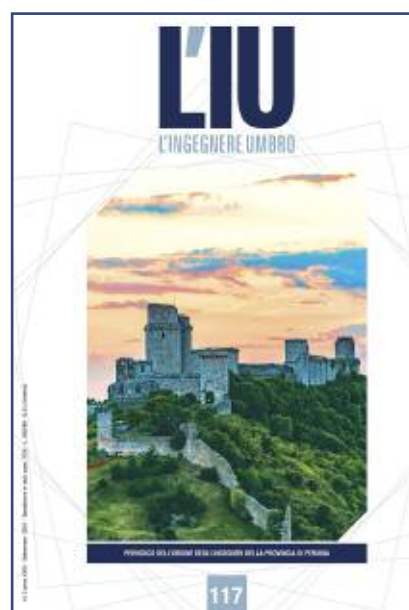
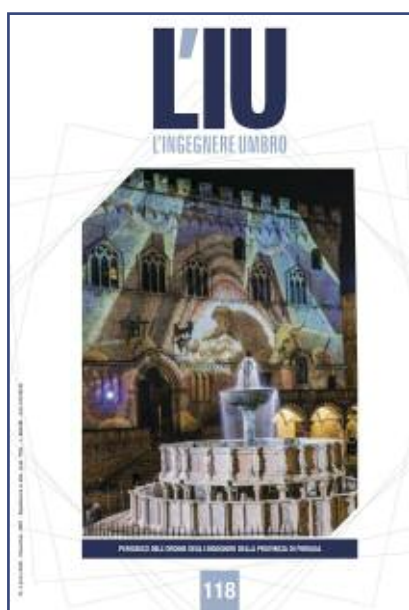
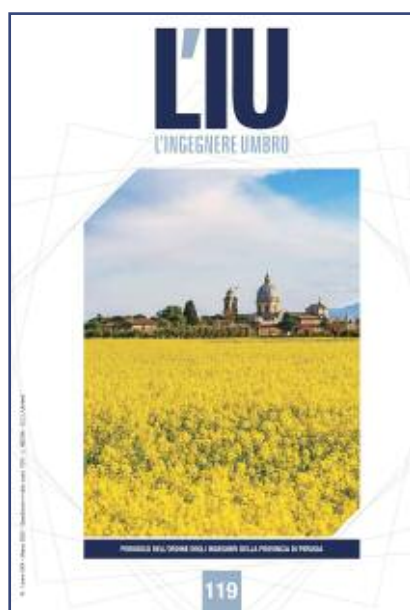
<https://uss-sisma2016.beniculturali.it/ricostruzione-basilica-di-san-benedetto-di-norcia/>

<https://uss-sisma2016.beniculturali.it/interventi-sul-territorio/umbria/basilica-san-benedetto-norcia/>

Cobar S.p.A. <https://cobarspa.it/opere/basilica-di-san-benedetto-di-norcia/>



ORDINE DEGLI
INGEGNERI
PROVINCIA DI PERUGIA





MODELLIAMO LE TUE IDEE

Multiasset Lab s.r.l. è uno spin off dell'Università degli Studi di Perugia nato dalla sinergia tra ricercatori e professionisti con esperienza nel campo delle indagini numeriche e sperimentali per lo studio del comportamento strutturale.

La società si pone al servizio di studi di ingegneria, enti ed aziende per realizzare modelli fisici e numerici o svolgere indagini sperimentali finalizzate allo studio del comportamento di strutture e componenti sotto vari tipi di azioni (azioni statiche, vento, terremoto, incendio, vibrazioni ambientali, fatica).

SERVIZI E PRODOTTI

- Modelli statici e dinamici per prove in galleria del vento e su tavola vibrante.
- Modelli numerici avanzati per analisi di strutture e componenti.
- Modelli per simulazioni di fluido-dinamica computazionale.
- Prove di carico per certificazione di prodotti e sviluppo di brevetti.
- Identificazione dinamica e monitoraggio statico e dinamico di strutture e infrastrutture.
- Modelli fisici e virtuali di architettura (plastici, rendering...).

