

Comune di Orta Nova,
Provincia di Foggia, Regione Puglia

ARNG SOLAR I S.R.L.


Viale Giorgio Ribotta, 21 Eurosky Tower - Interno 0B3

ROMA (RM), 00144

PEC: arngsolar@pec.it

Impianto Agrivoltaico "ORTA NOVA 36.5"

ON-36.5_23 – RELAZIONE IDROLOGICA

IL TECNICO	IL PROPONENTE
INGEGNERE	<p>ARNG SOLAR I S.R.L. Sede legale: Viale Giorgio Ribotta, 21 Eurosky Tower - Interno 0B3 ROMA (RM), 00144 PEC: arngsolar@pec.it Numero REA RM - 1673665 P.IVA 02328180688</p>
<p>Luca GIANANTONIO Ordine Ingegneri della Provincia di Taranto - n. 2703 lucagiana74@gmail.com</p>	
RESPONSABILE TECNICO BELL FIX PLUS SRL	
<p>Cosimo TOTARO Ordine Ingegneri della Prov di Brindisi - n. 1718 elettrico@bellfixplus.it</p> 	SETTEMBRE 2022

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. DATI DI PROGETTO	7
3. INQUADRAMENTO IDRO-GEO-MORFOLOGICO	9
4. INQUADRAMENTO CLIMATICO	15
5. CURVA DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA	21

1. PREMESSA

Il sottoscritto Ing. Luca GIANANTONIO, iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Taranto al numero 2703, ha ricevuto l'incarico per la redazione delle relazioni idrologica e idraulica in riferimento al Progetto per l'impianto agrivoltaico denominato "ORTA NOVA 36.5" della potenza di 47.880,00 kWp, in agro di Orta Nova nella Provincia di Foggia, realizzato con moduli fotovoltaici in silicio monocristallino, con una potenza di picco di 600Wp.

La Società Proponente intende realizzare tale impianto "agrivoltaico", ponendosi come obiettivo la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile coerentemente agli indirizzi stabiliti in ambito nazionale e internazionale volti alla riduzione delle emissioni dei gas serra ed alla promozione di un maggior contributo delle fonti energetiche rinnovabili alla produzione di elettricità nel relativo mercato italiano e comunitario.

La vendita dell'energia prodotta dall'impianto agrivoltaico sarà regolata da criteri di "market parity", ossia avrà gli stessi costi, se non più bassi, dell'energia prodotta dalle fonti tradizionali (petrolio, gas, carbone).

Ai sensi dell'art. 12 del D.Lgs. n. 387/2003 l'opera, rientrante negli "impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili", autorizzata tramite procedimento unico regionale, è dichiarata di pubblica utilità, indifferibile ed urgente.

Gli impianti "agrivoltaici" sono sostanzialmente degli impianti fotovoltaici che consentono di preservare la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale sul sito di installazione, garantendo, al contempo, una buona produzione energetica da fonti rinnovabili.

L'obiettivo della società Proponente è quello di rendere fattibile e realistico il binomio tra energia rinnovabile e produzione agricola e quindi di valorizzazione del terreno individuato.

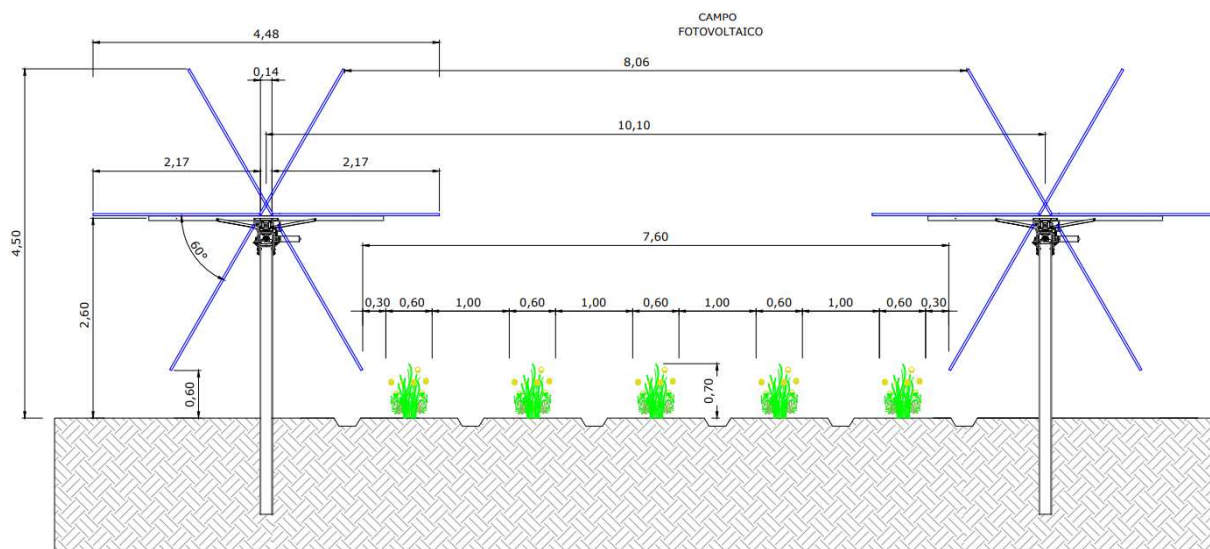
I punti focali del progetto "agrivoltaico" sono:

- 1) Mitigazione dell'impianto con una fascia perimetrale produttiva (oliveto intensivo).
- 2) Piantumazione di filari di lavanda o di lavandino tra i trackers.
- 3) Apicoltura.

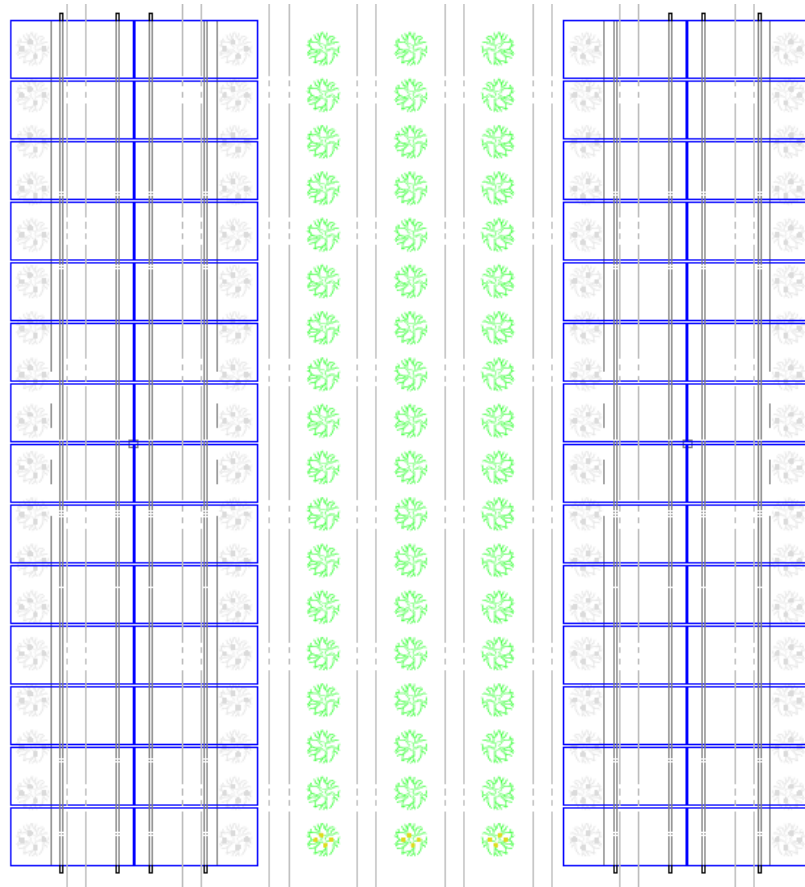
Di seguito vengono riportate le immagini esemplificative di tali proposte:



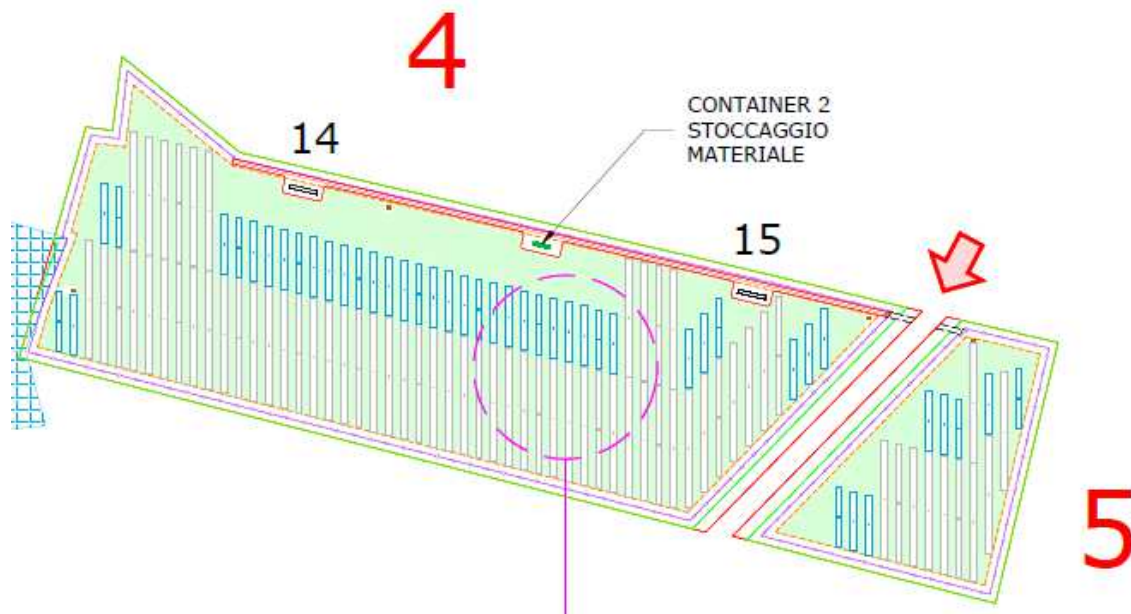
Mitigazione dell'impianto FV con oliveto intensivo (favolosa)



Piantumazione tra le file di tracker (vista frontale)



Piantumazione tra le file di tracker (vista dall'alto)



Esempio di "area di impianto" agrivoltaico



Immagini di apicoltura nell'area di impianto

La presente relazione ha per obiettivo la definizione delle caratteristiche idrologiche del territorio in cui si inserisce il sito di intervento. Nella Relazione Idraulica, invece, si descrive la analisi del sistema idraulico che caratterizza il territorio stesso; il fine della indagine è di valutare le interferenze tra opere in progetto e deflussi idrici superficiali di origine meteoriche, per scongiurare alterazioni del sistema idraulico non accettabili.

L'indagine idrologica consiste principalmente nella definizione della curva di probabilità pluviometrica caratteristica del bacino in cui si inserisce il sito di intervento, valutata al fine di determinare le portate di massima piena prevedibili per prefissati tempi di ritorno, ed è articolata nelle fasi seguenti:

- Definizione e caratterizzazione del bacino idrografico mediante l'individuazione dei principali parametri morfologici;
- Determinazione degli afflussi meteorici mediante analisi regionale delle piogge intense;
- Caratterizzazione del bacino dal punto di vista litologico, di copertura e permeabilità;

L'indagine idraulica tenderà, quindi, a valutare le potenziali aree interessate da deflusso idrico concentrato in occasione di eventi meteorici critici per i quali si è provveduto al calcolo delle portate massime di piena in relazione ai canonici tempi di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni.

2. DATI DI PROGETTO

SITO

Ubicazione	Orta Nova (FG)
Uso	Terreno agricolo
Dati catastali	Part. 13-14-20-21-23-24-77-80-81-82-218-220 Fg.60 Part. 72-86-200 Fg.61
Inclinazione superficie	Orizzontale
Fenomeni di ombreggiamento	Assenza di ombreggiamenti rilevanti
Altitudine	160 m slm
Latitudine – Longitudine	Latitudine Nord: 41°16'40.4" Longitudine Est: 15°38'51.4"
Dati relativi al vento	Circolare 4/7/1996;
Carico neve	Circolare 4/7/1996;
Condizioni ambientali speciali	NO
Tipo di intervento richiesto:	
- Nuovo impianto	SI
- Trasformazione	NO
- Ampliamento	NO

DATI TECNICI GENERALI SUPERFICI

Dati generali

Superficie particelle catastali (disponibilità superficie)	89,1 ettari
Superficie totale sito (area recinzione)	67,9 ettari
Superficie occupata parco FV	27,7 ettari
Viabilità interna al campo:	15.800 mq
Moduli FV (superficie netta al suolo):	238.334 mq
Cabinati:	1.036 mq
Basamenti (pali ill., videosorveglianza):	32 mq
Drenaggi:	4.438 mq
Superficie mitigazione produttiva perimetrale (oliveto intensivo):	~17.569 mq

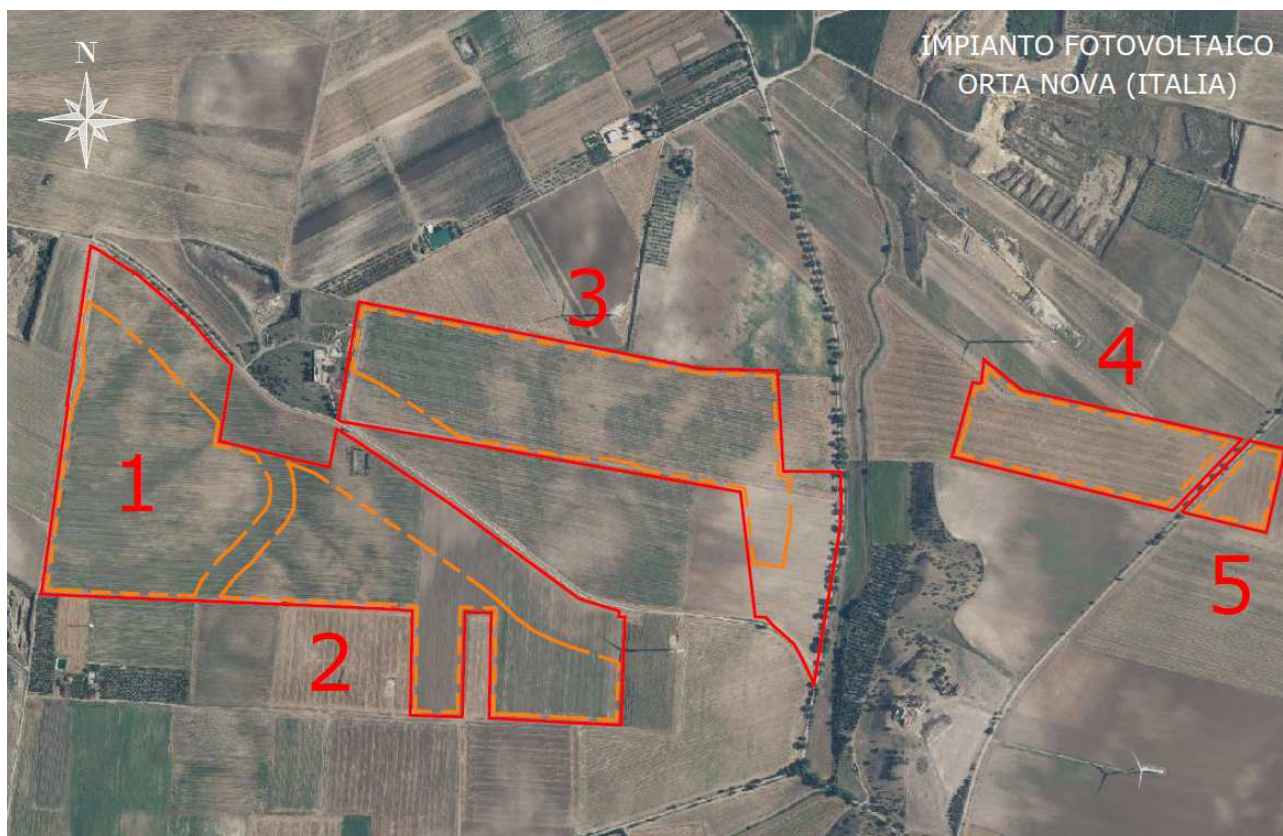
Parametri sistema agrovoltaico

Superficie destinata all'attività agricola (Sagri):	69,4 ettari
Superficie totale del sistema agrivoltaico (Stot):	88,8 ettari
Rapporto conformità criterio A1 (Sagri/Stot)	78,0%
Percentuali di superficie complessiva coperta dai moduli (LAOR):	25,0%
Rapporto conformità criterio B2 (producibilità elettrica):	89,9%

SITO DI INSTALLAZIONE

L'impianto agrivoltaico ricopre una superficie di circa 67,9 ettari ed è diviso su cinque siti di installazione localizzati nei pressi della medesima area avente raggio di circa 1.300 metri; i campi agrivoltaici risultano accessibili dalla viabilità locale, costituita da strade statali, comunali ed interpoderali che sono connesse alle Strade Provinciali SP86 ed SP92.

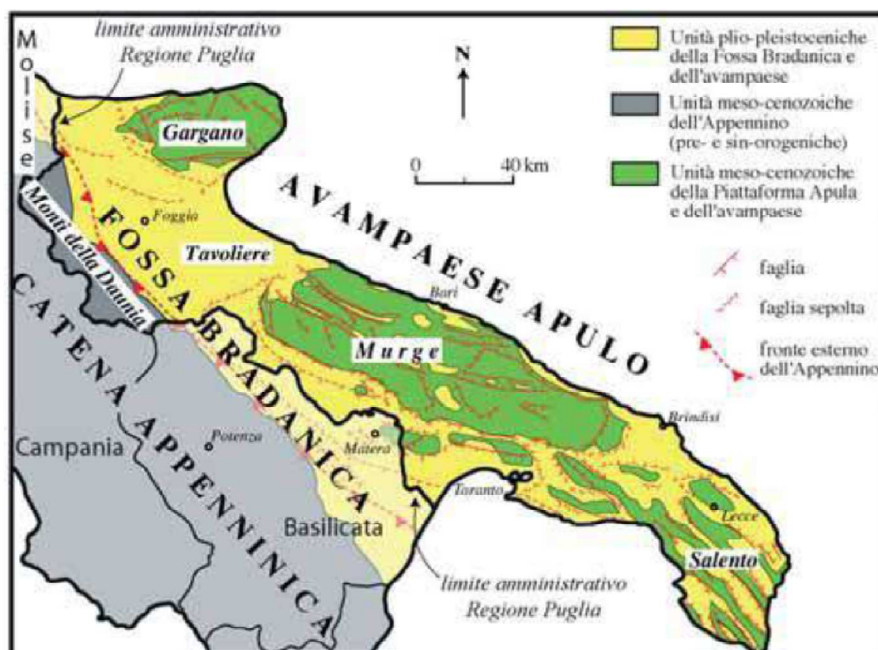
I siti ricadono nel territorio comunale di Orta Nova, in direzione Sud-Ovest rispetto al centro abitato (il più vicino dista circa 5,8 km), in una zona occupata da terreni agricoli.



Individuazione dell'area di intervento su foto satellitare

3. INQUADRAMENTO IDRO-GEO-MORFOLOGICO

Le principali tappe della storia geologica della Puglia possono essere inquadrati nel contesto dei complessi e differenziati processi geologici che, secondo la teoria della tettonica a zolle, hanno contraddistinto l'evoluzione dell'area mediterranea riguardo alla genesi della Penisola italiana. In tale contesto evolutivo, il settore crostale, sul cui tratto meridionale è geologicamente edificato il territorio pugliese, costituiva in origine una propaggine del margine settentrionale del Paleocontinente africano. Durante il Triassico, a seguito della frammentazione del Pangea e della apertura dell'Oceano ligure-piemontese, subentrato al Mare della Tetide, tale settore crostale subì una progressiva sommersione controllata da una tettonica estensionale. Per tutto il Trias superiore, nelle aree in subsidenza la sedimentazione terrigena fu bruscamente soppiantata da depositi evaporitici, anidritico gessosi e carbonatici di ambiente epicontinentale. La successione evaporitica supratriassica è stata riconosciuta nel sottosuolo della regione pugliese mediante perforazioni (aree garganica e murgiana) nonché prospezioni geofisiche regionali. In affioramento, corrispondono probabilmente a un esiguo lembo localizzato presso la Punta delle Pietre Nere (Marina di Lesina) nell'area garganica settentrionale. Successivamente, durante il Giurassico e il Cretacico, il margine settentrionale della Zolla africana si scompose probabilmente in più frammenti in conseguenza di una tettonica disgiuntiva, attivata da differenti tipi di faglie. Uno di questi frammenti individuò il Promontorio africano, all'epoca corrispondente a un altoripido allungato dapprima nel Mare della Tetide, già interposto tra i margini delle zolle Africana ed Eurasiatica e successivamente nell'Oceano ligure - piemontese di neoformazione. Sul Promontorio africano e sugli altri frammenti continentali si impiantarono estese piattaforme carbonatiche con interposti bacini pelagici, caratterizzati da attiva sedimentazione.



Nel territorio pugliese, le successioni carbonatiche sia di piattaforma (Piattaforma carbonatica apula) sia di bacino marginale (Bacino est - garganico) del Giura superiore e del Cretaceo sono ben esposte nel massiccio del Gargano; invece, le successioni affioranti nell'altopiano murgiano e nelle Serre salentine hanno età cretacea e presentano essenzialmente facies di piattaforma interna.

Successivamente, durante il Paleogene, la Zolla africana entrò in collisione con il Paleocontinente europeo. A questo intenso e arealmente esteso processo deformativo va collegata una fondamentale variazione del panorama paleogeografico dell'area afro - eurasiatica. Durante questa fase compressiva al seguito del sollevamento di estesi tratti del Promontorio africano, la Piattaforma carbonatica apula, evolse progressivamente in una vasta terra emersa, bordata da estese piattaforme continentali, interessate da ripetute trasgressioni del mare durante il Paleogene. In particolare, le fasi geodinamiche eoceniche furono caratterizzate da importanti manifestazioni vulcaniche. In corrispondenza del "segmento pugliese" del Promontorio africano, i relativi effetti tettonici e sedimentari sono rispettivamente evidenziati dalle strutture plicative con ampio raggio di curvatura e da alcuni allineamenti di faglia, entrambi con direzione E-O, che interessano le successioni cretacee, nonché dai lembi di depositi paleocenico - eocenici e oligocenici presenti lungo le fasce costiere del Gargano e della Penisola salentina. In seguito, durante il Neogene in aree poste più ad occidente della piattaforma apula, si produsse un progressivo sovrascorrimento di corpi sedimentari, sia preesistenti sia di neoformazione, che dette origine ad un sistema orogenico con formazione della Catena appenninica.

L'avampaese apulo si individua a partire dall'inizio del Miocene, durante l'orogenesi dei sistemi appenninico - maghrebide e dinarico - ellenico rappresentato in affioramento da un'estesa area autoctona mesozoica carbonatica (unità stratigrafico - strutturale Apulo-Garganica) e dalla sua prosecuzione in mare ("dorsale pugliese" o "dorsale apula sommersa"). La parte emersa dell'avampaese, corrispondente sostanzialmente all'intera area pugliese (Gargano, Murge e Salento). In base a numerosi dati di superficie e di profondità, nell'avampaese apulo sono stati distinti dal basso verso l'alto i seguenti elementi stratigrafici: un basamento cristallino precambriaco; una copertura permio - triassica di origine fluviodeltizia, spessa almeno 1000 m (Pozzo AGIP Puglia 1); una successione evaporitico - carbonatica mesozoico - paleogenica di piattaforma carbonatica, spessa fino a 5000 m; coperture, a dominante carbonatica, neogenico - pleistoceniche.

Dal punto di vista strutturale la successione mesozoica, pur essendo stata interessata da blandi piegamenti e successivamente da faglie dirette, presenta un assetto monoclinale, con immersione a SSW; i depositi terziari e quaternari, su di essa trasgressivi, poggiano in assetto orizzontale.

L'unità stratigrafico-strutturale Apulo-Garganica di avampaese, ribassata verso SW da sistemi di faglie dirette, costituisce anche il substrato della Fossa bradanica. Si tratta quindi dell'unità tettonica geometricamente più bassa della struttura dell'Appennino meridionale.

In base a recenti dati di sottosuolo risulta che, sotto la catena, la successione carbonatica dell'unità Apulo-Garganica è deformata; viene perciò distinto un settore dell'avampaese coinvolto nella compressione (Catena Apula) da un altro (avampaese apulo s.s.), dove è prevalente un regime distensivo. La Fossa bradanica, definita per la prima volta da Migliorini (1937), è un bacino di sedimentazione terrigena, di età plio-pleistocenica, compreso fra la catena appenninica meridionale e l'avampaese apulo; si estende da NW a SE dal F. Fortore al Golfo di Taranto. In tempi più recenti (1975) viene introdotto il termine di "avanfossa appenninica" (o "adriatica") per indicare il bacino formatosi lungo il margine esterno della catena appenninica, esteso dalle Marche allo Ionio, e quindi comprensivo anche della Fossa bradanica s.s.

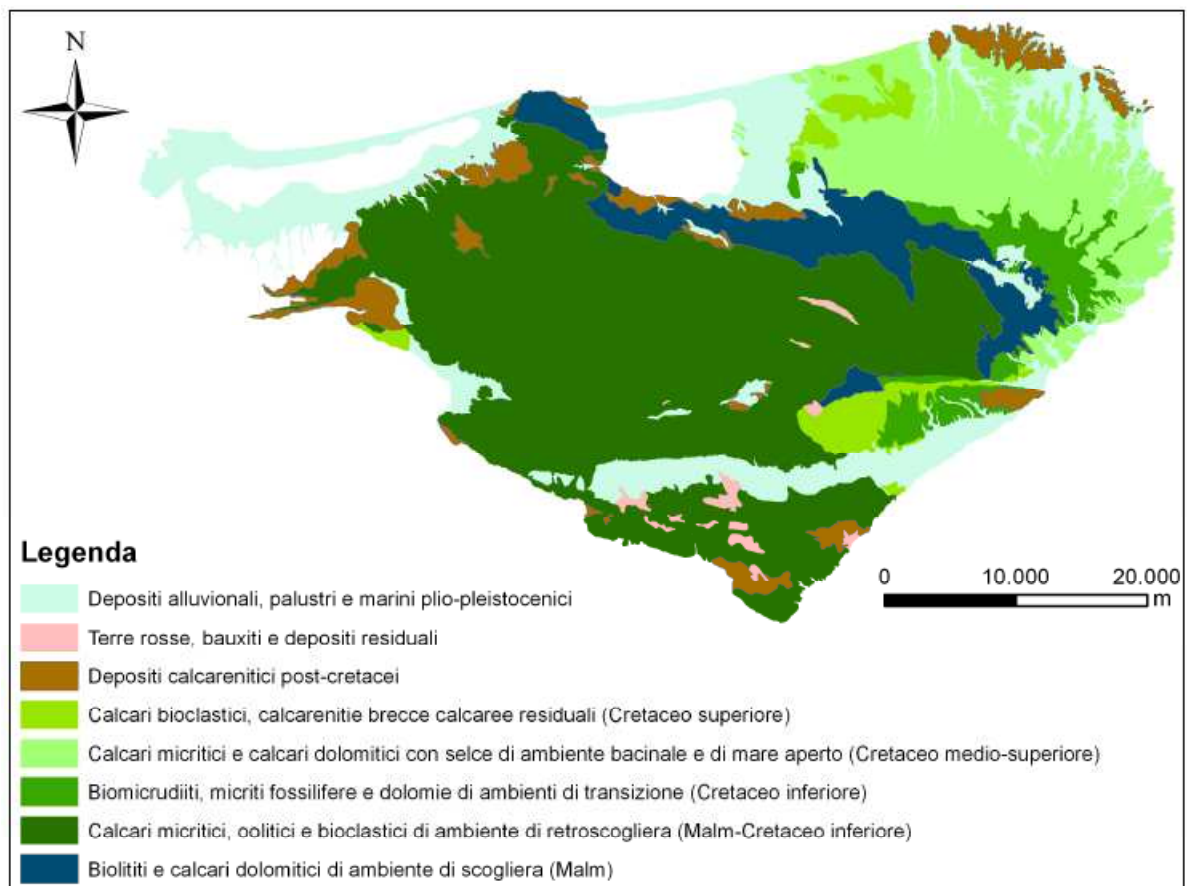
In base a dati di profondità, derivanti da ricerche per idrocarburi, e ai lavori di aggiornamento della Carta Geologica d'Italia, a partire dagli anni '60 si definiscono i caratteri stratigrafici e strutturali della Fossa bradanica. La conoscenza dei depositi sepolti della Fossa bradanica è strettamente legata alla ricerca petrolifera, che ha consentito significative scoperte di idrocarburi. I reservoirs sono rappresentati da alti strutturali del substrato carbonatico cretaceo e dagli spessi livelli sabbiosi (torbiditici) intercalati nei depositi argillosi plio-pleistocenici.

La storia sedimentaria della Fossa bradanica si conclude con un generale ma graduale sollevamento a partire dal Siciliano (500.000 anni fa), dovuto ad aggiustamenti isostatici e agli effetti smorzati dell'orogenesi appenninica; ciò porta alla sedimentazione della parte regressiva del ciclo bradanico e a quella dei depositi marini terrazzati; questi ultimi, dal più antico al più recente, si ritrovano a quote decrescenti verso l'attuale costa ionica lucana.

La catena appenninica è rappresentata da una struttura a falde costituita da unità tettoniche adriatico-vergenti; nel suo settore meridionale il fronte della catena è sovrapposto a successioni terrigene plio-pleistoceniche della Fossa bradanica, che a loro volta poggiano in trasgressione sulle unità meso - cenozoiche dell'avampaese apulo. Risulta, dagli studi effettuati da diversi autori negli anni settanta e ottanta, che il quadro paleogeografico preorogenico era composto da domini di piattaforma carbonatica alternati a bacini profondi. Pressoché contemporaneamente, nel Neogene, anche sul lato opposto (adriatico-ionico) prendeva analogamente corpo la Catena dinarico-ellenica e l'apertura del Mar Egeo. Pertanto, questo tratto crostale ha svolto, e in parte svolge tuttora, un ruolo di avampaese anche nei confronti della opposta Catena dinarico-ellenica, subendone i convergenti effetti cinematici. La convergente traslazione delle falde e/o accavallamenti sugli opposti margini appenninico e dinarico - ellenico nonché il carico esercitato dai relativi prismi di accrezione avrebbero prodotto sia una progressiva flessione della crosta continentale, con conseguente inarcamento nel settore interposto tra gli opposti fronti delle falde, sia una serie di segmentazioni trasversali. Le conseguenze tettoniche di queste deformazioni crostali subite dal dominio di avampaese possono essere messe in evidenza dal peculiare assetto morfostrutturale assunto dalla spessa copertura carbonatica mesozoica corrispondente, nella sua conformazione generale, a un pilastro tettonico asimmetrico, scomposto trasversalmente in blocchi variamente dislocati ed estesi. I blocchi sollevati costituiscono il massiccio del Gargano,

l'altopiano murgiano e le Serre salentine; quelli ribassati corrispondono ai territori del Tavoliere delle Puglie, della Fossa bradanica e del Tavoliere di Lecce. Al passaggio tra il Cenozoico e il Neozoico, in corrispondenza degli opposti fronti delle coltri in avanzamento (appenninica e dinarico-ellenica), si produssero estesi ed ampi bacini di avanfossa, in rapida subsidenza e forte sedimentazione. Le conseguenze paleogeografiche connesse con questi eventi tettonici furono localmente contrassegnate da ripetute variazioni del livello marino: dal Miocene al Pleistocene inferiore, infatti, aree progressivamente più estese del territorio in esame furono a mano a mano sommerse, ad eccezione delle parti più elevate del Gargano e delle Murge.

Le caratteristiche geologiche del settore settentrionale della regione pugliese si inquadra in un contesto geodinamico più ampio che comprende i Monti della Daunia, rappresentativi del settore di Catena appenninica, il Gargano, riguardante il settore di Avampaese apulo e il Tavoliere delle Puglie che costituisce il settore di Avanfossa bradanica. Il modello strutturale relativo (Balduzzi et al., 1982; Mostardini & Merlini, 1986, Sella et al., 1988) procedendo da ovest verso est vede una sequenza di domini costituita da Catena, Avanfossa e Avampaese. Le coltri alloctone del margine appenninico sovrascorse e intercalate all'interno dei termini inferiori della successione plio-pleistocenica della avanfossa appenninica.



A Ovest del promontorio garganico, il substrato pre-pliocenico risulta ribassato verso l'avanfossa appenninica da faglie appartenenti al sistema orientato NW-SE, a sua volta dislocato dai sistemi secondari a direzione ENE-WSW e E-W.

L'avanfossa appenninica costituisce un bacino sedimentario allungato in direzione NW-SE esteso dal Molise al Mar Ionio, attraverso tutta la regione pugliese e la parte nord-occidentale della Basilicata. Dal punto di vista strutturale, costituisce una depressione tettonica colmata da una successione clastica formante un completo ciclo sedimentario di età plio-pleistocenica (Ciaranfi & al., 1979).

In particolare, nell'area del Tavoliere, il plio-pleistocene è costituito da una potente successione di argille, argille marnose e sabbie (Balduzzi & al., 1982).

La chiusura di tale successione è a luoghi rappresentata da depositi alluvionali di età quaternaria, prevalentemente sabbioso-ghiaiosi, delimitati verso l'alto da superfici piatte (terrazzi).

Il Tavoliere di Puglia costituisce la più estesa pianura dell'Italia meridionale; si sviluppa in direzione NW-SE ed è compreso tra il F. Fortore a nord, i Monti della Daunia ad ovest, il Gargano e il mare Adriatico ad est, e il F. Ofanto a sud. Il Tavoliere è l'unica area della Puglia ad essere dotata di una rete idrografica ben definita, costituita da corsi d'acqua a regime prevalentemente torrentizio che incidono i depositi quaternari. Morfologicamente il Tavoliere è una pianura lievemente ondulata caratterizzata da vaste spianate che digradano debolmente verso mare a partire dalle quote più alte del margine appenninico.

L'idrografia superficiale dell'intero territorio, è collegata ai due fiumi principali, il Fortore e l'Ofanto, che scorrono alle due estremità del Tavoliere e nascono dall'Appennino, sfociando entrambi nel Mare Adriatico; gli altri corsi d'acqua maggiori, il Candelaro, il Cervaro ed il Carapelle, scendono pure dall'Appennino e attraversano il Tavoliere, ma con regimi tipicamente torrentizi e deflussi stagionali; sono caratterizzati da alvei poco profondi e generalmente regolarizzati con opere di regimazione.

È possibile distinguere da ovest verso est ben cinque distretti morfologici (Bonzi, 1983): un'area collinare, una zona a ripiani, una vasta piana alluvionale antica, una piana costiera ed una zona litorale. La prima zona, che borda il margine orientale appenninico, è rappresentata da rilievi collinari, posti a 300-400 m di quota. I ripiani corrispondono a terrazzi marini, che digradano verso l'Adriatico e sono, a luoghi, delimitati verso est da scarpate poco elevate, corrispondenti a ripe di abrasione. La piana alluvionale si estende con continuità dalla zona dei terrazzi più antichi fino alla piana costiera che corrisponde, per gran parte, ad antiche aree lagunari (Lago di Salpi e Lago Salso) successivamente colmate per fatti naturali ed antropici.

L'insieme delle formazioni carbonatiche mesozoiche del Gargano e del substrato prepliocenico del Tavoliere costituiscono un vasto serbatoio idrico sotterraneo, caratterizzato da una permeabilità secondaria dovuta a fessurazione e carsismo.

La circolazione idrica all'interno del substrato prepliocenico dell'avanfossa appenninica è testimoniata dalla presenza di numerosi pozzi per acqua, che si attestano nei calcari mesozoici, situati nella zona del Tavoliere ai piedi del promontorio garganico.

Dati derivanti dalla ricerca petrolifera, inoltre, indicano che calcari porosi e permeabili sono presenti anche più a ovest, a maggiori profondità, in tutto il substrato pre-pliocenico.

La situazione stratigrafica e strutturale del Tavoliere porta a riconoscere tre unità acquifere principali (Maggiore et al., 1996):

ACQUIFERO FESSURATO CARSICO PROFONDO

Situato in corrispondenza del substrato carbonatico prepliocenico del Tavoliere, esso costituisce l'unità acquifera più profonda. Le masse carbonatiche sepolte ospitano un esteso corpo idrico, localizzato a diverse profondità e collegato lateralmente alle falde idriche del Gargano e delle Murge. L'interesse per questo acquifero è, tuttavia, limitato alle zone dove il substrato si trova a profondità inferiori a qualche centinaio di metri, vale a dire in prossimità della fascia pedegarganica del Tavoliere e lungo il bordo ofantino delle Murge. La circolazione idrica sotterranea è fortemente condizionata dai caratteri strutturali ed in particolare dalla presenza delle numerose faglie che determinano direttrici di flusso preferenziali, nonché dalle caratteristiche idrauliche dell'acquifero che variano da zona a zona in funzione dello stato di fratturazione e carsismo della roccia. Lungo la fascia pedegarganica, diversi Autori (Cotecchia & Magri, 1996; Mongelli & Ricchetti, 1970; Maggiore & Mongelli, 1991; Grassi & Tadolini, 1992) hanno riscontrato per le acque sotterranee valori piuttosto elevati delle temperature spiegabili attraverso un fenomeno di mixing tra acque connate profonde e acque di falda di origine meteorica.

ACQUIFERO POROSO PROFONDO

È costituito dai diversi livelli sabbiosi intercalati nella formazione pliopleistocenica delle "Argille grigio-azzurre". I livelli acquiferi sono costituiti da corpi discontinui di forma lenticolare, localizzati a profondità variabili tra i 150 m e i 3000 m dal piano campagna, il cui spessore non supera le poche decine di metri. Nelle lenti più profonde, si rinvencono acque connate, associate a idrocarburi, che si caratterizzano per i valori piuttosto elevati della temperatura (22-26°C) e per la ricorrente presenza di H₂S (Cotecchia et al., 1995; Maggiore et al., 1996).

La falda è ovunque in pressione e presenta quasi sempre caratteri di artesianità. La produttività dei livelli idrici, pur essendo variabile da luogo a luogo, risulta sempre molto bassa con portate di pochi litri al secondo.

ACQUIFERO POROSO SUPERFICIALE

Corrisponde agli interstrati sabbioso-ghiaiosi dei depositi marini e continentali di età Pleistocene superiore-Olocene che ricoprono con notevole continuità laterale le sottostanti argille. Più dettagliatamente, le stratigrafie dei numerosi pozzi per acqua realizzati in zona, evidenziano l'esistenza di una successione di terreni sabbioso-ghiaioso-ciottolosi, permeabili ed acquiferi, intercalati da livelli limo-argillosi a minore permeabilità. Questi, tuttavia, non costituiscono

orizzonti separati ma idraulicamente interconnessi e danno luogo ad un unico sistema acquifero. In linea generale, si può affermare che i sedimenti più permeabili prevalgono nella zona di monte mentre, procedendo verso la costa, si fanno più frequenti ed aumentano di spessore le intercalazioni limoso-sabbiose che svolgono il ruolo di acquitardo.

Essendo le modalità di deflusso della falda fortemente influenzate da tali caratteristiche, risulta che l'acqua circola in condizioni freatiche nella fascia pedemontana ed in pressione nella zona medio-bassa, assumendo localmente il carattere di artesianità (Cotecchia, 1956).

Nell'alimentazione della falda superficiale, un contributo importante, oltre che dalle precipitazioni, proviene dai corsi d'acqua che solcano il Tavoliere (Colacicco, 1953; Cotecchia, 1956; Maggiore et al., 1996, De Girolamo et al., 2002). Per quanto riguarda la produttività dell'acquifero poroso superficiale, si è ormai ben lontani dalla condizione di acque freatiche segnalata da Colacicco (1951) con portate emungibili dell'ordine di 40-50 l/s. Attualmente, infatti, le portate di emungimento sono spesso così esigue (1-3 l/s) da rendere necessario l'utilizzo di vasche di accumulo. Lo stato attuale della falda risulta, pertanto, di gran lunga differente rispetto a cinquanta anni fa. L'introduzione in Capitanata di colture fortemente idroesigenti, intensificatasi agli inizi degli anni settanta, ha portato alla perforazione di un gran numero di pozzi (circa 3000 nel solo territorio comunale di Cerignola) che attingono alla falda idrica sotterranea. I volumi di acqua erogati per mezzo di fonti superficiali (invasi di Occhito, Marana-Capaciotti ed Osento) dal Consorzio per la bonifica della Capitanata, sono infatti insufficienti a soddisfare il fabbisogno irriguo (De Girolamo et al., 2002). Il massiccio attingimento ha comportato un progressivo esaurimento della falda ed innescato, contestualmente, un processo di degrado qualitativo per le acque sotterranee.

4. INQUADRAMENTO CLIMATICO

Il clima della regione pugliese varia in relazione alla posizione geografica e alle quote sul livello medio marino delle sue zone. Nel complesso si tratta di un clima mediterraneo caratterizzato da estati abbastanza calde e poco piovose ed inverni non eccessivamente freddi e mediamente piovosi, con abbondanza di precipitazioni durante la stagione autunnale. Le temperature medie sono di circa 15°C-16°C, con valori medi più elevati nell'area ionico-salentina e più basse nel Sub-Appennino dauno e Gargano. Le estati sono abbastanza calde, con temperature medie estive comprese fra i 25°C ed i 30°C e punte di oltre 40°C nelle giornate più calde.

Sul versante ionico, durante il periodo estivo, si possono raggiungere temperature particolarmente elevate, anche superiori a 30°C-35°C per lungo tempo. Gli inverni sono relativamente temperati e la temperatura scende di rado sotto lo 0°C, tranne alle quote più alte del Sub-Appennino dauno e del Gargano. Nella maggior parte della regione la temperatura media

invernale non è inferiore a 5°C. Anche la neve, ad eccezione delle aree di alta quota del Gargano e del Sub-Appennino, è rara.

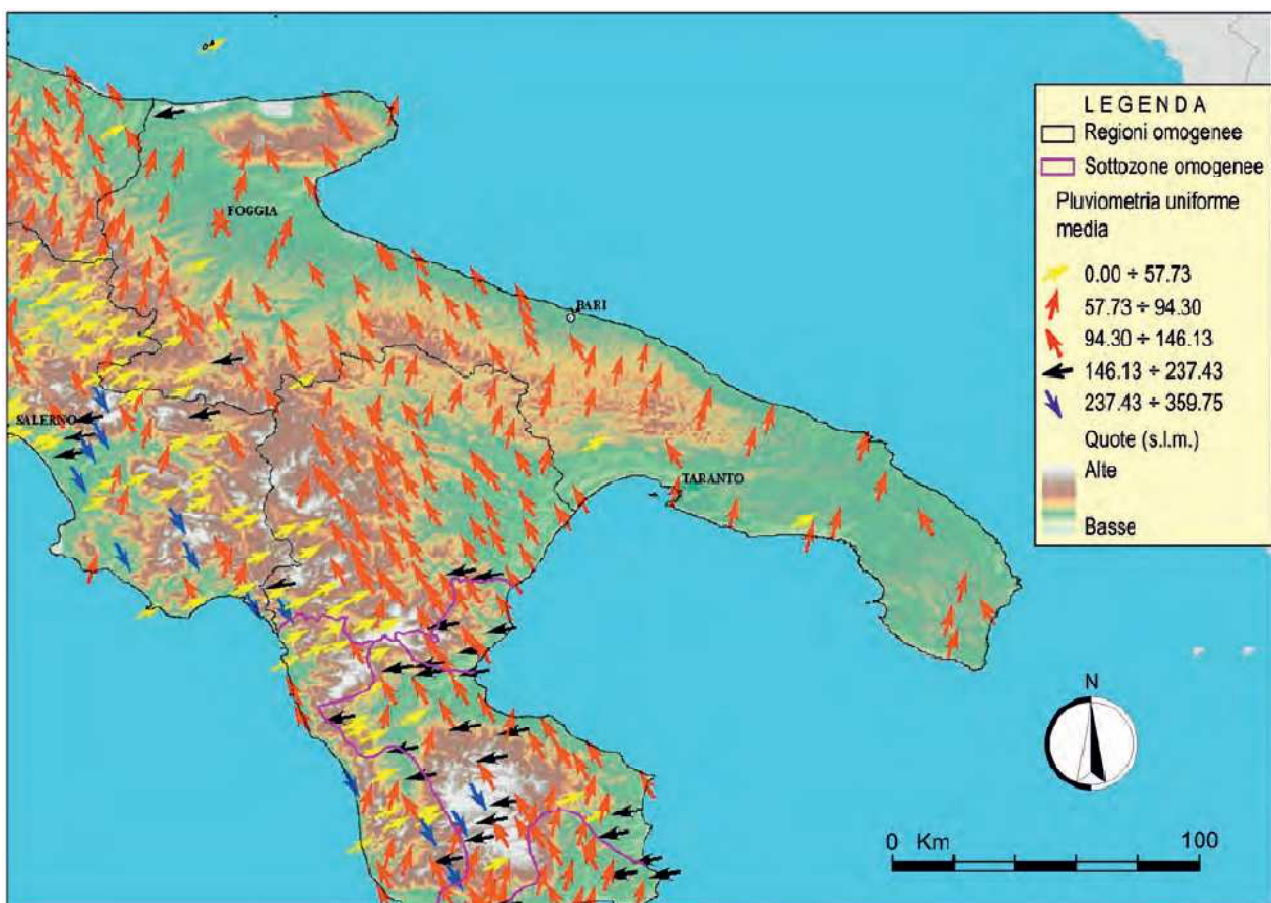
Il valore medio annuo delle precipitazioni è estremamente variabile. Le aree più piovose sono il Gargano, il Sub-Appennino dauno e il Salento sud orientale, ove i valori medi di precipitazione sono superiori a 800 mm/anno. Valori di precipitazione annua in media inferiori a 500 mm/anno si registrano nell'area tarantina e nel Tavoliere. Nella restante porzione del territorio le precipitazioni medie annue sono generalmente comprese fra 500 e 700 mm anno.

Ad una forte variabilità spaziale delle precipitazioni legata alle diverse aree della regione, si associa, in ogni singola area, una forte variabilità del totale annuo registrato per le singole stazioni, come spesso accade nei climi mediterranei. Le variazioni del totale annuo delle precipitazioni da un anno all'altro possono così superare anche il 100% del valore medio. Le precipitazioni sono in gran parte concentrate nel periodo autunnale (novembre–dicembre) e invernale, mentre le estati sono relativamente secche, con precipitazioni nulle anche per lunghi intervalli di tempo o venti di pioggia intensa molto concentrati, ma di breve durata, specialmente nell'area salentina. Questo clima fa sì che alla ricarica degli acquiferi contribuiscano significativamente solo le precipitazioni del tardo periodo autunnale e quelle invernali. Le precipitazioni del primo autunno e quelle estive, infatti, contribuiscono a ricostituire il contenuto d'acqua negli strati più superficiali. Le piogge estive, inoltre, vanno perse in modo significativo anche per evapotraspirazione. Le precipitazioni che interessano la regione sono legate in prevalenza a perturbazioni di origine adriatica, provenienti da nord e dall'area balcanica, che interessano soprattutto il territorio centro settentrionale. Il versante ionico e salentino risente fortemente delle perturbazioni meridionali, che danno luogo ad eventi di pioggia abbondanti, ma concentrati, con precipitazione di breve durata e notevolissima intensità. Le caratteristiche delle precipitazioni possono influire in maniera rilevante sui meccanismi di infiltrazione e sulla disponibilità di risorse idriche sotterranee.

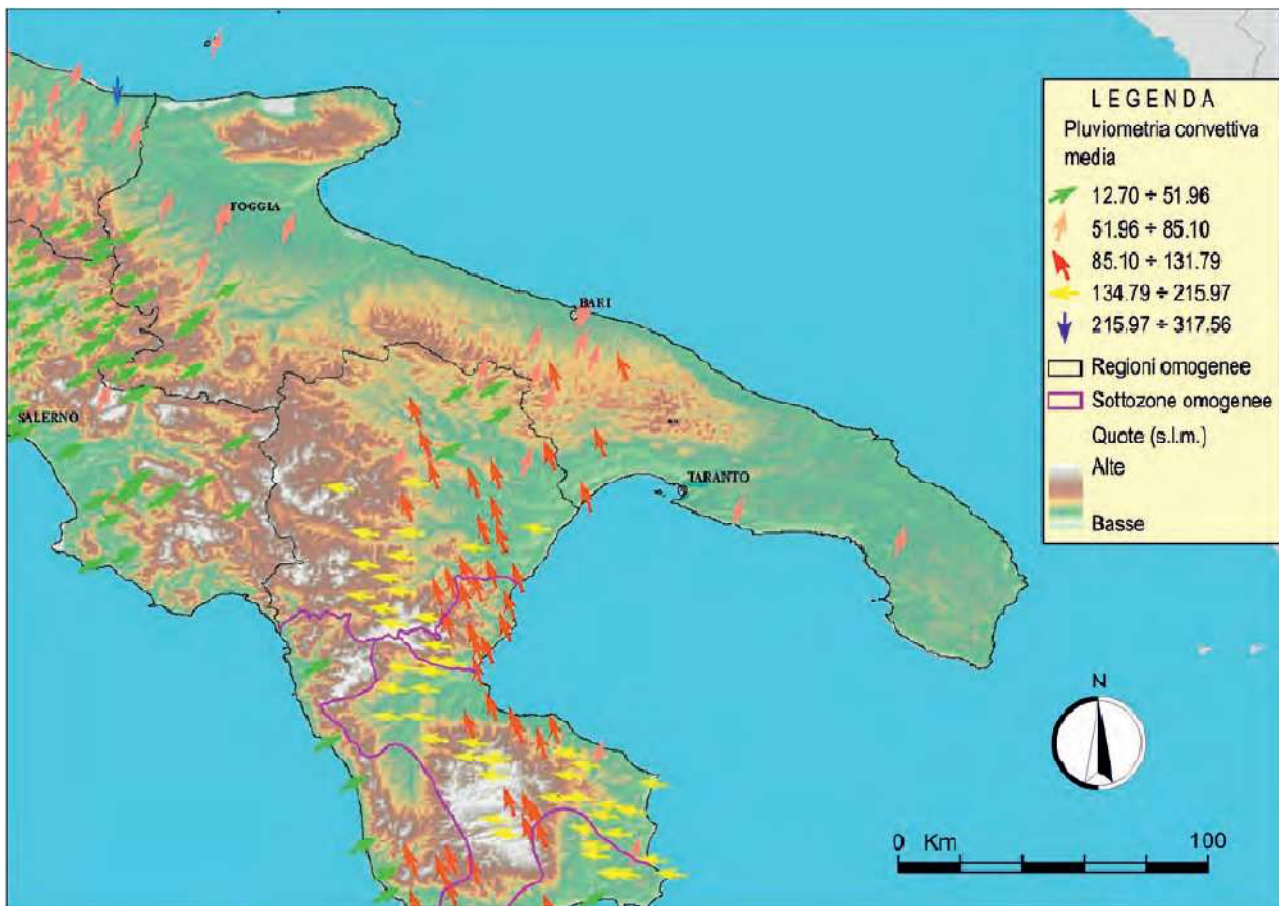
In generale è possibile dividere le precipitazioni in due macroclassi: precipitazioni stratiformi e precipitazioni convettive. Le piogge stratiformi, dette anche dinamiche, sono prodotte dagli stratocumuli (SAVIC-jOVCIC & STEVENs, 2008; KOGAN et alii, 1995) e sono il risultato di moti ascensionali lenti (~1 m/s) e piuttosto estesi aerealmente, come quelli associati ai fronti. Le intensità di precipitazione non sono in genere elevate, ma la scala temporale di durata della perturbazione è dell'ordine di qualche giorno, di modo che la pioggia cumulata può anche essere significativa. Le piogge convettive, invece, sono prodotte da nubi a forte sviluppo verticale come i cumulonembi, caratterizzati al loro interno da alte velocità ascensionali (~1-10 m/s), che occupano scale spaziali di dimensioni minori; da qualche km a qualche centinaio di km per i Sistemi e i Complessi Convettivi a mesoscala (mCS e mCC). I cumulonembi ben sviluppati si estendono, torreggiando, sino alla stratosfera, dove il moto ascensionale si blocca a causa dell'inversione termica e la sommità della nube è spazzata dai forti venti, formando una caratteristica struttura a

pennacchio detta anvil. Le precipitazioni convettive, generalmente più intense di quelle stratiformi (LEARY & HOUZE, 1979), sono caratterizzate da una forte variabilità spaziale e temporale, oltre che da una minore durata, essendo la scala temporale dell'ordine dell'ora.

Precipitazioni a carattere stratiforme e convettivo possono coesistere (HOUZE, 1997; HOUGHTON, 1968; HALVERSON et alii, 1999): ad esempio, ha caratteristiche stratiformi la precipitazione che può svilupparsi dall'anvil di un cumulonembo, così come un cluster di cumulonembi può svilupparsi lungo la linea di un fronte. Le proprietà delle precipitazioni, in termini d'intensità e pioggia cumulata al suolo, dipendono, oltre che dalle modalità di salita della massa d'aria e dalla termodinamica e microfisica associata, anche dalla disponibilità di umidità che alimenta il processo di formazione dell'idrometeora. Essendo l'ammontare di vapor d'acqua in una colonna d'aria (acqua precipitabile) intorno a 25 mm alle medie latitudini (TRENBERTH & GUILLEMOT 1994, 1998), ed essendo l'efficienza dei meccanismi di produzione della pioggia non molto alta, intorno al 30% (FANKHAUSER, 1988; FERRIER et alii, 1996), è evidente che, in caso di piogge consistenti, deve esserci un meccanismo dinamico di trasporto dell'umidità.



direzioni prevalenti delle perturbazioni a carattere stratiforme.



direzioni prevalenti delle perturbazioni a carattere convettivo

La direzione di provenienza delle perturbazioni che danno origine a piogge massime annuali di tipo stratiforme è prevalentemente il Sud, con rotazioni che vanno da Sud-Est a Sud-Ovest. In particolare, nella Penisola Salentina, sino alle murge a nord di Taranto, ove il rilievo è trascurabile e l'esposizione al mare Ionio diretta, la direzione prevalente è Sud-Ovest. Pertanto l'origine delle perturbazioni che interessano il Salento è sicuramente da attribuire ad eventi meteo di natura atlantica che, in presenza di basse pressioni sul Tirreno, si invorticano con rotazione antioraria e attraversano tutta la penisola senza incontrare alcun ostacolo orografico. La presenza delle murge sembra ostacolare parzialmente i flussi da Sud-Ovest, con le aree sottovento interessate da flussi provenienti da nord-Est. La stessa direzione dei flussi si riscontra nella parte meridionale del promontorio del Gargano. Per quanto riguarda invece il Tavoliere e il Sub-Appennino dauno, anche se la direzione di provenienza delle perturbazioni è da Sud, la presenza di un'orografia articolata rende disomogenee le direzioni di provenienza.

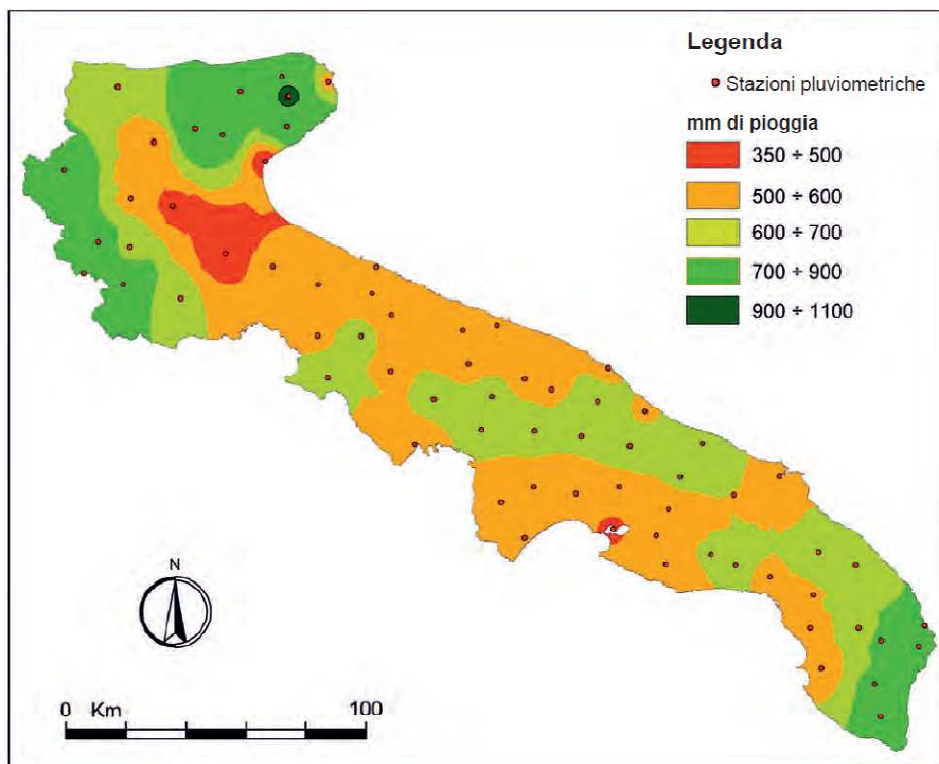
In definitiva, nella zona nord-Ovest, in corrispondenza di Daunia, Tavoliere e Gargano e della parte settentrionale della murgia, prevalgono precipitazioni di tipo stratiforme, mentre nella zona Sud-

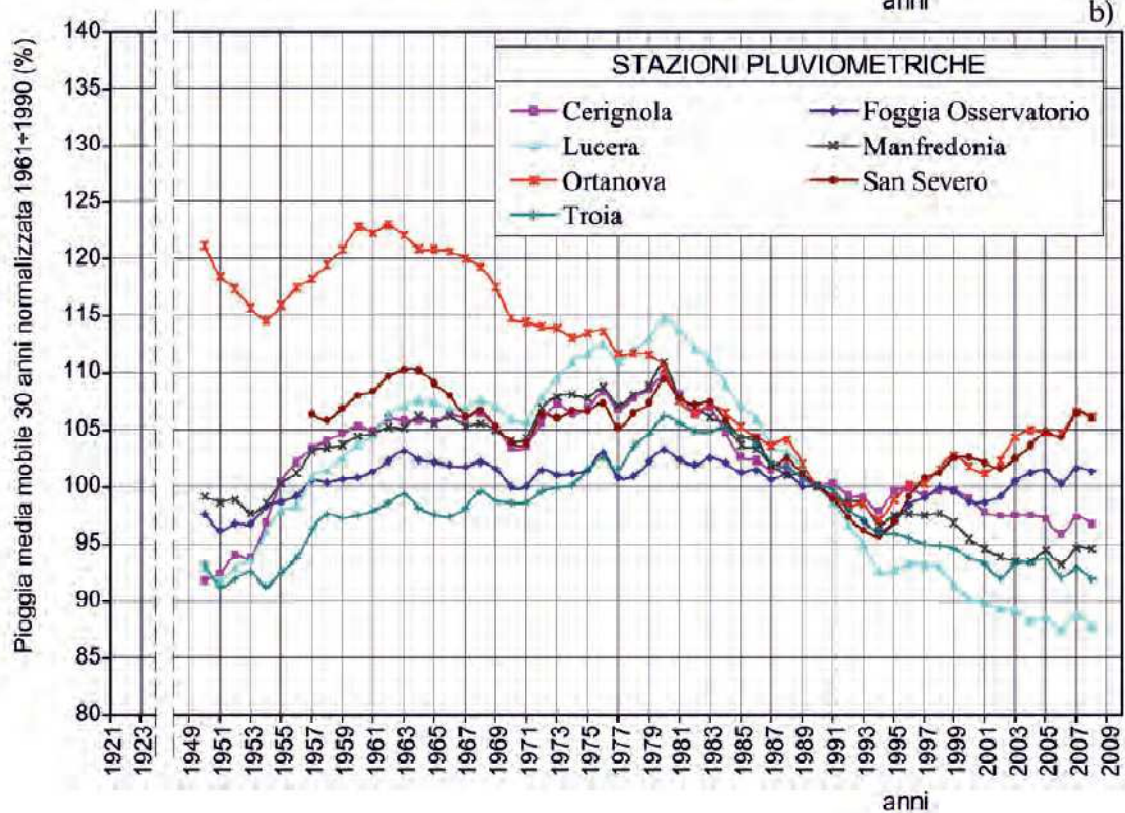
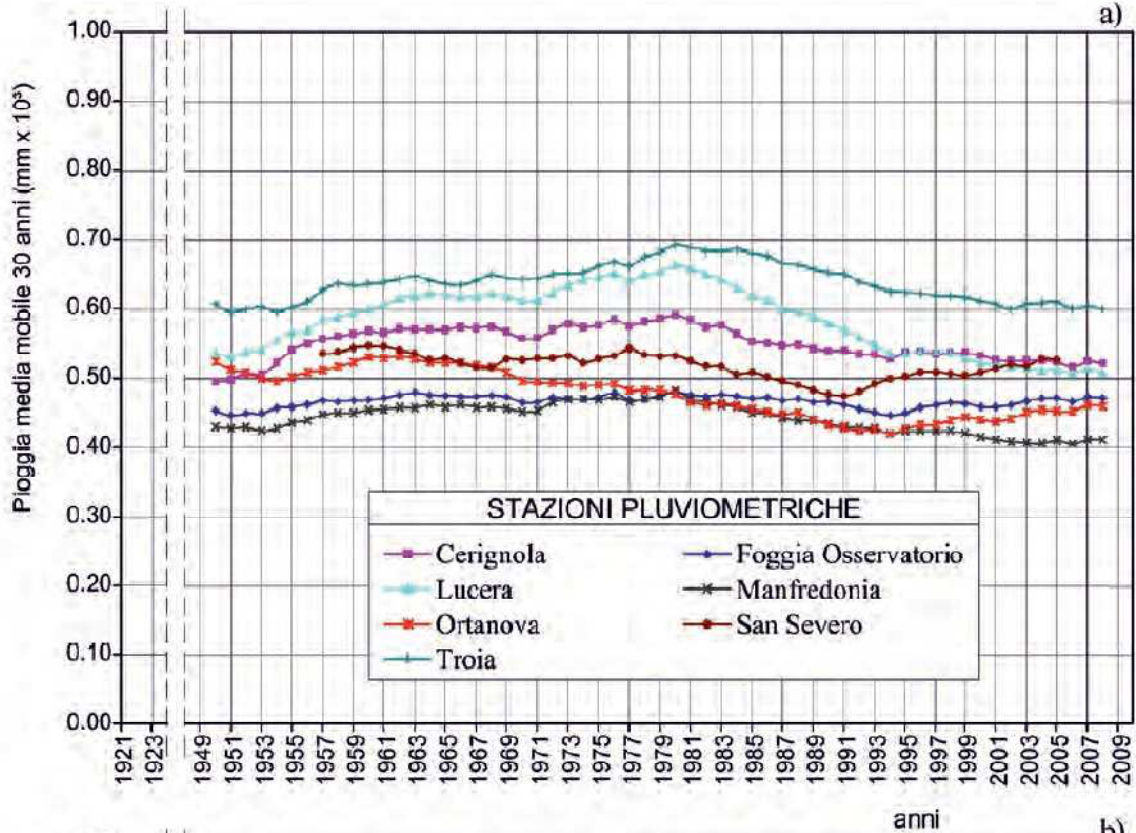
Est, in corrispondenza della murgia meridionale e della Penisola Salentina, prevalgono le precipitazioni convettive.

Da diversi anni è in corso un ampio dibattito a proposito delle variazioni climatiche che interessano la Puglia e più in generale l'Italia meridionale (SImEOnE, 2001; COTECCHIA *et alii*, 2003; RACIOPPI& SImEOnE, 2003; POLEMI& CASARANO, 2008; CHERUBINI *et alii*, 2008; CALOIERO *et alii*, 2011; DOGLIONI, 2011). In particolare, gli studi condotti hanno evidenziato, in tutta l'Italia meridionale, una diminuzione delle precipitazioni concentrata soprattutto durante il periodo invernale, con modesti incrementi nel periodo estivo.

Le stazioni pluviometriche ubicate nel Tavoliere di Foggia hanno registrato un andamento pressoché omogeneo delle precipitazioni. Si registrano piccole oscillazioni, con alternanza di periodi di crescita e decrescita della media mobile, tale che il valore delle precipitazioni misurato nel 2008 è, in media, dello stesso ordine di quello determinato per il primo anno di calcolo (1921÷1950). In particolare, si rileva un lieve incremento delle precipitazioni che si protrae sino all'inizio degli anni Ottanta, seguito da un periodo di decrescita sino all'inizio degli anni Novanta, quindi una stabilizzazione che dura sino ad oggi.

Dall'analisi delle medie mobili trentennali normalizzate rispetto al periodo di riferimento 1961÷1990 si rileva che la riduzione delle precipitazioni avuta sino all'inizio degli anni '80 è dell'ordine del 10% rispetto all'anno idrologico internazionale, con punte del 25%. Solo per la stazione di Ortanova si ha una decrescita pressoché continua del 25%.





5. Curva di probabilità pluviometrica

La analisi idrologica ha solitamente lo scopo di consentire la valutazione delle punte di portata idrica di origine meteorica per determinati eventi piovosi e per fissate sezioni che sottendono un bacino idrografico. Nella presente indagine ci si limiterà ad analizzare il regime meteorico caratteristico del territorio ed i conseguenti fenomeni potenziali di allagamento.

Il DPCM 29 settembre 1998, ai fini della perimetrazione e valutazione dei livelli di rischio, "ove possibile, consiglia che gli esecutori traggano i valori di riferimento della portata al colmo di piena con assegnato tempo di ritorno dai rapporti tecnici del progetto VAPI (VALutazione Plene), messo a disposizione dal GNDCI-CNR". Si è fatto quindi ricorso ai risultati del progetto VAPI per la determinazione delle altezze critiche di precipitazione e delle curve di possibilità pluviometrica; si tratta di una procedura regionale inerente l'elaborazione statistica di dati spaziali.

Questi ultimi tendono a definire modelli matematici finalizzati ad una interpretazione delle modalità con cui variano nello spazio le diverse grandezze idrologiche.

L'analisi regionale degli estremi idrologici massimi, può essere condotta suddividendo l'area di studio in zone geografiche omogenee nei confronti dei parametri statistici che si è deciso di adottare.

Il modello statistico utilizzato fa riferimento alla distribuzione TCEV (Rossi et al. 1984) con regionalizzazione di tipo gerarchico (Fiorentino et al. 1987). In questa distribuzione i parametri fondamentali, che rappresentano il parametro di scala ed il numero medio di osservazioni della variabile casuale, provengono dalla componente ordinaria e dalla componente secondaria.

La procedura di regionalizzazione comporta che al primo livello si ricerchino zone pluviometriche omogenee, entro le quali si possano considerare costanti i valori dei parametri; questi ultimi devono essere stimati da un elevato numero di dati; tutto ciò comporta l'assunzione di una regione omogenea molto ampia. Le sottozone omogenee, sono individuate nel secondo grado di regionalizzazione; anche in questo livello si ipotizza che l'area indagata costituisca una zona omogenea. Si considerano solo le serie più numerose, in quanto la stima dei parametri suddetti è condizionata dalla presenza di dati di pioggia straordinari che hanno probabilità molto bassa di verificarsi in un periodo molto breve.

L'analisi di terzo livello basata sull'analisi di regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota, ha portato alla individuazione di sei zone e delle rispettive curve di possibilità climatica.

Nel terzo livello di analisi regionale viene analizzata la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda, mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali.

Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica, per ogni sito è possibile legare il valore medio $\mu(X_t)$ dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata "t" alle durate stesse, attraverso la relazione:

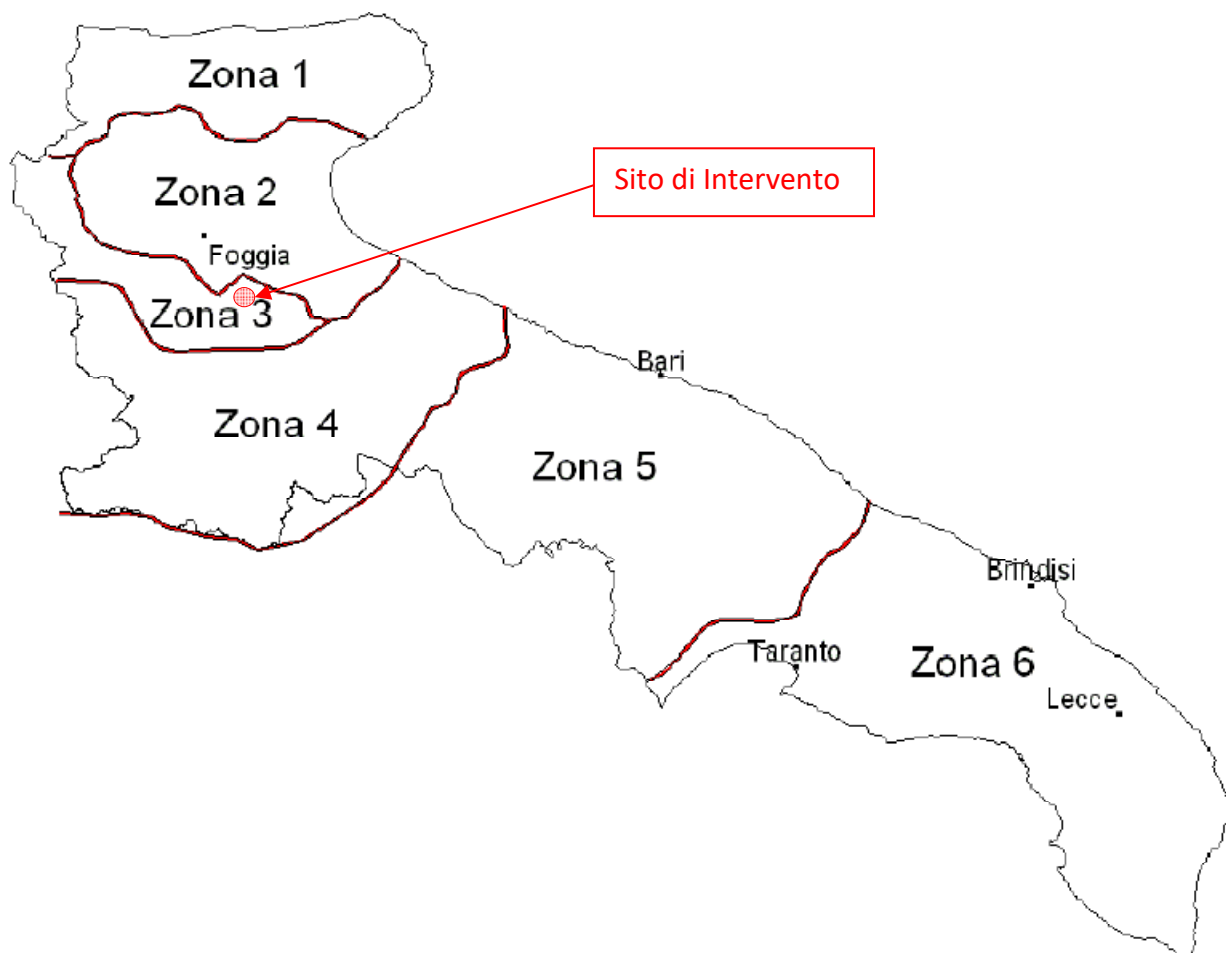
$$\mu(X_t) = a t^n$$

essendo "a" ed "n" due parametri variabili da sito a sito. Ad essa si dà il nome di curva di probabilità pluviometrica.

La relazione che lega l'altezza media di precipitazione alla durata ed alla quota del sito viene generalizzata nella forma:

$$\mu(X_t) = at^{(Ch+D+\log a - \log a)/\log 24}$$

in cui α è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di $\mu(X_1)$ relativi alle serie ricadenti in ciascuna zona omogenea; $\alpha = x_g/x_{24}$ è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e di durata 24 ore per serie storiche di pari numerosità. Per la Puglia il valore del coefficiente α è praticamente costante sull'intera regione e pari a 0.89; C e D sono i coefficienti della regressione lineare fra il valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota sul livello del mare.



L'area in cui è prevista la installazione degli impianti in progetto si inquadra, nell'ambito delle aree pluviometriche omogenee individuate nel territorio regionale, in zona 3; pertanto, l'equazione da applicare è la seguente:

$$\text{Zona 3: } x(t,z) = 25.325 t^{(0.0596+0.00531 z)/3.178}$$

Tale equazione consente di valutare le altezze critiche per i differenti intervalli di precipitazione e per i vari tempi di ritorno prescelti, in funzione del solo parametro della quota assoluta sul livello del mare. Ai valori così ottenuti vanno applicati coefficienti moltiplicativi relativamente al fattore di crescita K_T (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni), ed al fattore di riduzione areale K_A (funzione della superficie del bacino espressa in Km^2 , e della durata dell'evento di progetto, espressa in ore).

I valori ottenuti nel presente caso di studio per i parametri a ed n delle Curve di Possibilità Pluviometriche, hanno condotto alla individuazione delle seguenti espressioni matematiche riferite ai tre tempi di ritorno critici considerati in questa sede (30, 200 e 500 anni):

$$T_{30} \rightarrow h_{30}(T,x) = 48.62 T^{0.456} \quad \text{mm}$$

$$T_{200} \rightarrow h_{200}(T,x) = 73.44 T^{0.456} \quad \text{mm}$$

$$T_{500} \rightarrow h_{500}(T,x) = 85.35 T^{0.456} \quad \text{mm}$$

Taranto, li 30/09/2022

Il Tecnico

Ing. Luca GIANANTONIO