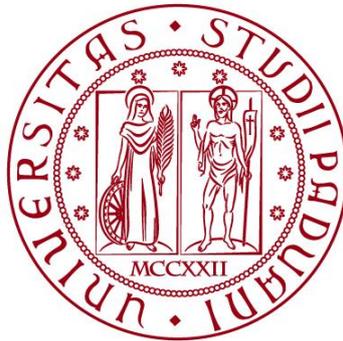


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in INGEGNERIA CIVILE



TESI DI LAUREA

L'approvvigionamento Idrico nei Sassi di Matera
Water supply in Sassi di Matera

Relatore: Chiar.mo PROF. ANDREA DEFINA

Laureando: MATTEO FESTUGATO

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

Indice

1	Introduzione	5
2	Inquadramento storico	7
2.1	Paleolitico	7
2.2	Neolitico	9
2.3	Epoca Medievale	11
2.4	L'evoluzione dei Sassi di Matera dal XV al XVIII secolo	13
2.5	Dall'Ottocento ai nostri giorni	14
3	Analisi idrologica	17
3.1	Contesto idrogeologico	17
3.2	Analisi delle precipitazioni	20
3.3	Captazione, trasporto ed accumulo dell'acqua	24
4	Configurazione della rete	29
4.1	Evoluzione storica del sistema	29
4.2	Cisterne private e tecniche di immagazzinamento	31
4.3	Cisterne del Vicinato	35
4.4	Palombaro Lungo	37
4.5	Fontane e Pozzi	40
5	Conclusioni	41
6	Bibliografia e sitografia	43

1 Introduzione

Questo studio ha lo scopo di descrivere la tecnologia utilizzata nella raccolta e distribuzione dell'acqua in ambito urbano a Matera. L'obiettivo della presente tesi è valutare la gestione delle acque piovane nei Sassi di Matera, in particolare analizzando le capacità del sistema di drenaggio di gestire il flusso d'acqua. Per raggiungere tale obiettivo sono state condotte ricerche e osservazioni sulla topografia del territorio, sull'infrastruttura di drenaggio e sulle tecniche adottate per la distribuzione e immagazzinamento delle acque piovane. Le strutture idrauliche sono risultate strettamente correlate alle caratteristiche idro-geomorfologiche dei luoghi e rappresentano l'esempio di una profonda conoscenza del territorio e della sua gestione.

In riferimento allo scorso secolo, attraverso un'analisi idrologica si sono definite le precipitazioni medie annue e mensili attraverso le quali è stato possibile definire i volumi invasati per le diverse tipologie di serbatoi.

La relazione tra l'approvvigionamento idrico e il paesaggio (studiato da un punto di vista geografico, idrogeologico e litologico) ha permesso una lettura integrata delle forme naturali e antropiche delle antiche reti idriche. Attraverso questo studio, si mira a fornire una comprensione approfondita del sistema idrico di Matera, mettendo in luce le sfide e le soluzioni adottate nel corso della storia per garantire un adeguato approvvigionamento idrico ed evidenziare quello che era un uso consapevole e sostenibile dell'acqua.

A Matera, l'antico sistema di gestione delle acque, composto da cisterne, palombari e pozzi, è ancora oggi visibile e rappresenta una testimonianza tangibile della lunga storia di ingegneria idraulica e della capacità dei suoi abitanti di adattarsi e sfruttare le risorse idriche.

2 Inquadramento storico

2.1 Paleolitico

Il territorio di Matera dal punto di vista preistorico appare uno dei siti più importanti del sud Italia. Situata nella regione italiana della Basilicata (Figura 1), costituisce uno dei luoghi più affascinanti e suggestivi della penisola.

La storia di questa città è antichissima, con evidenze di insediamenti umani che risalgono al Paleolitico, questo rende Matera una delle città abitate più antiche del mondo.

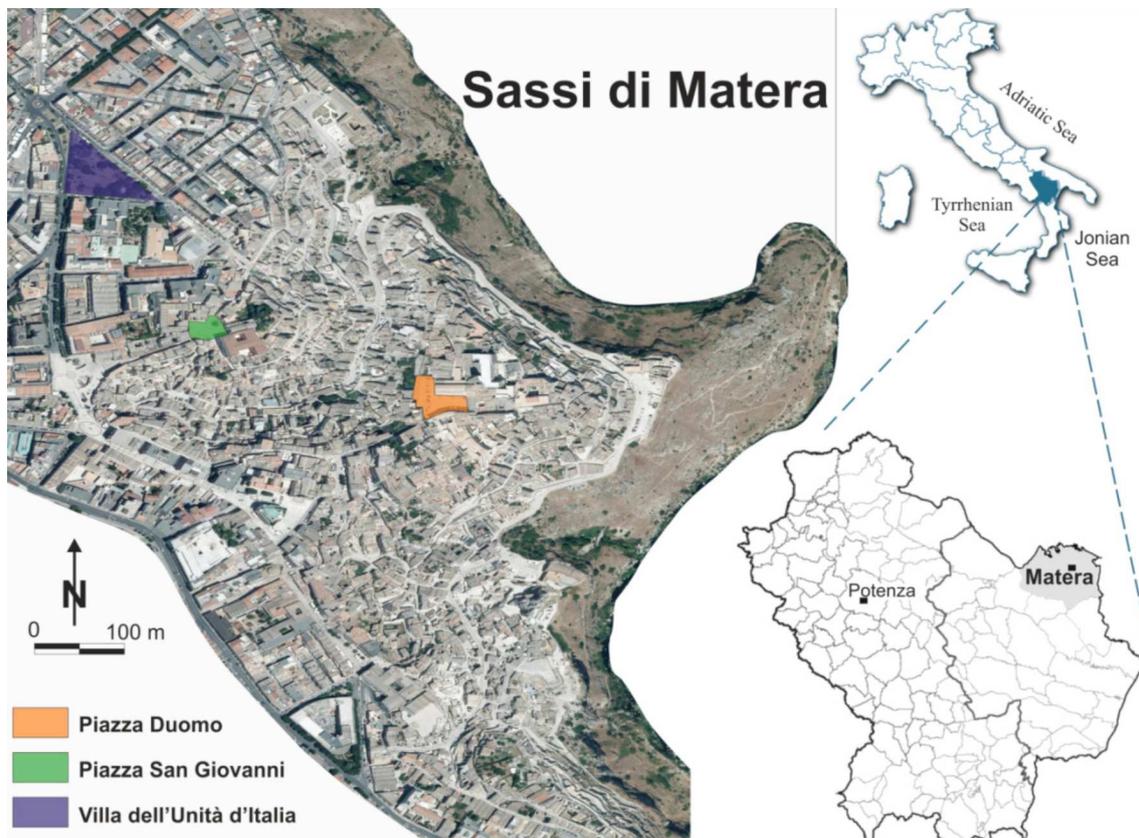


Figura 1: Inquadramento geografico di Matera

Nota per i suoi insediamenti rupestri chiamati “Sassi”¹, in cui le prime comunità si stabilirono, vengono collocate temporalmente al Musteriano² in cui l’uomo era solito lavorare la pietra con la pratica levalloisiana³.

¹Sassi: Grotte naturali e abitazioni scavate nella roccia.

²Musteriano: Periodo preistorico associato all’uomo di Neandertal risalente al Paleolitico medio.

³Levalloisiana: È un metodo di scheggiatura della pietra utilizzato nella industria litica preistorica.

Le tracce di queste antiche comunità umane costituiscono uno dei principali patrimoni storico-archeologici di Matera. Gli insediamenti rupestri, scavati nella roccia dei Sassi, sono esempi straordinari di architettura primitiva e offrono un'immersione unica nella vita e nella cultura dei nostri antenati preistorici. I numerosi reperti rinvenuti lungo le dorsali dell'altopiano testimoniano la considerevole eredità di questo territorio. Gli scavi archeologici rappresentano una fonte inestimabile di informazioni sullo stile di vita e sulle abitudini di queste antiche popolazioni. Attraverso l'analisi dei reperti recuperati dagli scavi, gli archeologi sono stati in grado di ricostruire dettagliatamente il modo di vivere, le pratiche culturali, l'organizzazione sociale e le attività economiche di queste comunità. L'utilizzo di nuove tecniche di lavorazione della pietra, come la levigatura e la scultura, testimoniano l'innovazione e la maestria raggiunte da queste antiche popolazioni.

Matera, grazie alla presenza di giacimenti di pietra facilmente lavorabile distribuiti lungo la Gravina di Matera (Figura 2), alle nuove tecniche di lavorazione introdotte e alla sua posizione strategica rappresentava un importante centro di produzione e scambio di manufatti nel Paleolitico superiore tale per cui la città divenne un punto di riferimento per le comunità umane dell'epoca.



Figura 2: Gravina di Matera

2.2 Neolitico

Intorno al X millennio a.C. Matera conobbe un importante cambiamento nella storia umana. Le comunità locali iniziarono a praticare l'agricoltura e l'allevamento di bestiame, adottando uno stile di vita più sedentario.

I primi insediamenti dell'uomo durante il Neolitico, furono rinvenuti in gran parte sulla Murgia Materana⁴; ciò viene confermato dalla presenza di numerosi siti archeologici, tra i quali il sito di Murgia Timone (Figura 3), che fornisce un'accurata descrizione delle abitudini e delle pratiche di vita di quelle comunità remote.



Figura 3: Sito archeologico - Murgia Timone

A partire dal V millennio a.C. le comunità umane insediate nel territorio di Matera si estendono su una vasta area, affermando uno stile di vita più complesso. Risalgono a questo periodo i 13 villaggi trincerati rinvenuti durante le ricerche condotte a partire dalla fine dell'800 – inizi '900 da Domenico Ridola, archeologo per passione, a cui va riconosciuto il merito di aver riportato alla luce i frammenti della storia e preistoria di Matera.

⁴Murgia Materana: Luogo libero colmo di natura che fuoriesce dalla roccia, situata all'estremità orientale della Basilicata, vicino al confine con la Puglia.

Il medico materano fu il primo a comprendere la vera funzione degli scavi che circondavano i villaggi, riconoscendo che essi erano vere e proprie opere di difesa e non, come erroneamente si credeva, semplici canalizzazioni o antiche vie di comunicazione.

Si presume che all'inizio la presenza umana consistesse in gruppi di persone provenienti dai villaggi agricoli sparsi sull'altopiano delle Murge. Solo successivamente, la Civita⁵, grazie alla sua posizione strategica e all'essere l'unica altura isolata capace di controllare l'intero territorio circostante, divenne sempre più popolata fino a divenire il nucleo attorno al quale sorsero i "Sassi di Matera".

Nascerono successivamente borghi agricoli e pastorali, e di conseguenza un primo agglomerato urbano. I suoi abitanti cominciarono a scavare le proprie case nella roccia di calcarenite⁶ che si distribuisce lungo i declivi del canyon.

Le grotte dei sassi fornivano riparo e protezione, costituendo un ambiente sicuro e adattabile per le comunità che le abitavano. Questi antichi abitanti utilizzavano le grotte non solo come rifugio, ma anche come luogo di lavoro e di produzione.

Gli strumenti di pietra, come punte di freccia, raschiatoi e lame, venivano abilmente realizzati utilizzando le risorse naturali disponibili nella zona. Questi strumenti erano essenziali per la caccia e la sopravvivenza quotidiana, consentendo loro di ottenere cibo, pelli e altri materiali.

Le grotte dei sassi rappresentavano quindi un contesto vitale in cui l'umanità preistorica sviluppava le proprie abilità e strategie per affrontare le sfide dell'ambiente circostante.

⁵Civita: Zona centrale dell'altopiano murgico.

⁶Calcarenite: Tipo di roccia sedimentaria clastica, formata da particelle calcaree delle dimensioni della sabbia comprese tra 0,0625mm e 2 mm di diametro.

2.3 Epoca Medievale

La documentazione che abbiamo dell'epoca greca e romana è piuttosto limitata e non sembra che Matera abbia avuto un ruolo di grande rilievo nella regione, tuttavia, non può essere considerata una località periferica, soprattutto perché era collegata direttamente alle principali vie di comunicazione della zona, inclusi i porti lungo la costa meridionale.

Dopo la caduta dell'impero Romano, Matera diviene teatro di battaglia tra popoli in lotta per il dominio di questi territori, trovò una certa stabilità politica solo dopo l'arrivo dei Normanni. Tuttavia l'epoca normanna fu anche caratterizzata dall'inizio del feudalesimo che determinò una forte distinzione tra classi sociali e l'instaurarsi di una società divisa in territori governati da signori feudali.

Nel periodo dell'alto medioevo, Matera ricopriva sempre di più una veste di roccaforte. Durante quel periodo storico la città dei sassi rappresentava un centro di interscambio tra le culture dell'Oriente e dell'Occidente.

È a partire dal IX secolo che la città inizia ad assumere forme meglio definite, la parte più consistente dell'abitato si sviluppa sulla Civita, mentre nelle due insenature a destra e a sinistra del altopiano iniziarono a delinearsi il Sasso Caveoso e il Sasso Barisano (Figura 4).



Figura 4: Suddivisione del territorio dei Sassi di Matera.

Il nome “Sasso Caveoso” potrebbe avere diverse origini. Una possibilità è che derivi dal latino “cavea”, che significa “cavità” o “grotta”, poiché risulta essere più scavato rispetto al Barisano. In alternativa, il nome potrebbe avere avuto origine dalla sua particolare conformazione ad anfiteatro greco.

L'ultima teoria propone che il nome possa derivare dall'orientamento del rione verso sud, in direzione di Montescaglioso, noto ai tempi come "Mons Caveosus".

Il nome "Sasso Barisano" potrebbe derivare dal fatto che si trova in direzione nord-ovest rispetto alla città di Bari. Un'altra possibile spiegazione potrebbe essere legata alla presenza di un casale abitato in epoca romana dalla famiglia Varisianus da cui poi deriverebbe Barisano.

Sotto il profilo urbanistico già nel XII secolo i due poli (Civita e Sassi) intorno ai quali la città viene a costituirsi, mostrano i primi segni di integrazione.

Nel secolo successivo, sotto la dominazione angioina, la Civita conosce una vera e propria riqualificazione urbana con la costruzione della Cattedrale di Matera (Figura 5a) e del monastero di Sant'Eustachio (Figura 5b).

Nello stesso periodo nei Sassi si registra un certo sviluppo demografico e, di conseguenza, abitativo. Con una maggiore valorizzazione delle "grotte" e l'occupazione dei pianori ai bordi dei Sassi, questo sviluppo della città in un'area più vasta è la premessa per la successiva espansione nel corso dei secoli XIV e XV.



(a) Cattedrale di Matera

(b) Monastero di Sant'Eustachio

Figura 5

2.4 L'evoluzione dei Sassi di Matera dal XV al XVIII secolo

Durante l'epoca Aragonese, nel XV e XVI secolo, Matera sviluppò un sistema difensivo più efficiente. I rioni appaiono ormai ben articolati al loro interno, suddivisi in quartieri strutturati.

L'aumento demografico dovuto all'arrivo dei profughi albanesi giunti dall'Albania occupata dai Turchi Ottomani e dagli Ebrei giunti sul finire del secolo dalla Spagna, allora governata da Ferdinando il Cattolico, determinano un'ulteriore espansione e la conseguente creazione di un nuovo rione, il Casalnuovo.

Durante il XVII secolo inizia a crearsi una frattura in quel rapporto integrato tra la "parte alta" della città ed i Sassi.

Con il trasferimento nel 1663 della Regia Udienza⁷ a Matera, la città che ha sempre oscillato tra la vocazione agricolo-pastorale della Lucania⁸ e la vocazione mercantile delle città pugliesi vede recidere quest'ultima con l'arrivo della nuova classe di funzionari in città. I Sassi di Matera, per quanto non totalmente estranei a questo processo di crescita ed espansione vedono l'inizio di un processo degenerativo, rispetto alla qualità della vita, che si dimostrerà irreversibile.

La successiva affermazione dei Borbone nel XVIII secolo porta, dopo una serie di scontri dagli esiti alterni, alla fine del dominio aragonese nell'Italia meridionale e porta a un maggiore divario tra Sassi e Piano.

Le abitazioni all'interno dei due Rioni si moltiplicano; di conseguenza le condizioni abitative peggiorano notevolmente, conferendo al "vivere in grotta" un carattere di diversità e di alterità. È questo il periodo in cui vengono sconsacrate molte delle chiese rupestri, che iniziano ad essere usate come abitazioni o depositi.

Cresce di pari passo l'importanza delle chiese presenti sul Piano, sorgono nuove abitazioni che si ergono, quasi a voler occultare la vista dei Sassi e a escludere la partecipazione attiva dei loro abitanti alla vita della città.

Da questo momento in poi esisteranno come due città distinte.

⁷Regia Udienza: Antica istituzione giuridica corrispondente all'attuale Corte d'appello

⁸Lucania: regione storica dell'Italia antica che corrisponde all'attuale provincia di Salerno ed entroterra della Calabria in cui vi si stanziarono i Lucani a partire dal V secolo a.C.

2.5 Dall'Ottocento ai nostri giorni

Il 1800 fu un secolo di stallo e di inversione di marcia della storia del paese. La privatizzazione delle terre portò ad una situazione deleteria, soprattutto per quella parte di popolazione agricola. Le terre espropriate alla classe ecclesiastica dovevano risollevarle le classi più povere della popolazione. Il modo in cui fu attuata la confisca dei beni alla Chiesa finì per peggiorare ancora di più la situazione. Fu stabilito che i beni nazionali dovessero essere venduti solo ed esclusivamente ai creditori di stato. Ne conseguì che i possedimenti delle classi clericali finirono nelle mani dei borghesi, dei nobili e dei funzionari statali. Ai poveri cittadini venivano ora soppressi i diritti di assegnazione delle terre demaniali.

La storiografia dell'epoca riporta un'esponenziale crescita demografica nel 1860, la quale non coincide con un adeguato piano urbanistico di inserimento nei territori del piano.

I ceti più deboli sono costretti a ricavare le abitazioni dai più risicati spazi portando sovraffollamento dei rioni di pietra. Si scavava come meglio si poteva, per guadagnare grotte e ambienti in cui vivere, o meglio sopravvivere. Quelle che un tempo erano aree non ancora insediate, venivano presto “modellate” per far posto a nuove abitazioni.

Matera diventa nel 1927 capoluogo di provincia della Basilicata e ciò provoca piccoli cenni di speranza, tuttavia nel dopoguerra la situazione abitativa dei rioni materani è diventata insostenibile, soprattutto dal punto di vista igienico sanitario. Durante il periodo post bellico nei Sassi vivevano quasi 30 mila persone, la metà di quanti abitanti ha Matera oggi.

Per sopperire a tale gravoso e continuato problema l'allora capo del governo italiano Alcide de Gasperi, emette una riforma definita come “La Legge del Risannamento dei Sassi”. Il nuovo decreto definiva lo sfollamento delle grotte di Matera con il conseguente spostamento dei residenti nella città moderna. Lo sfollamento dei Sassi fu solo una pausa durata relativamente poco tempo. Il progetto voluto da Olivetti⁹ non portò i frutti sperati. Egli difatti, desiderava ridare agli abitanti dei Sassi non solo una nuova casa, ma anche nuove terre da coltivare. Nonostante le riforme del frazionamento terriero avessero alimentato l'ottimismo per una nuova era di crescita agricola, i contadini invece abbandonarono tale settore per diventare operai edili, fabbri e artigiani, allontanandosi dalla tradizionale economia agricola. Questa scelta ha compromesso la sperata ripresa della società, incentrata sull'agricoltura.

⁹Olivetti: Illustre imprenditore, ingegnere e politico italiano del Novecento a capo della Commissione per lo studio della città e dell'agro di Matera.

I Sassi furono dichiarati “vergogna d’Italia” da Togliatti e “vergognose tane” da De Gasperi. Fu l’architetto Pietro Laureano ad elaborare il progetto di candidatura all’UNESCO nel 1992, per far conoscere al mondo la storia di questa straordinaria realtà, che combina la bellezza dei luoghi con l’importanza storica e culturale (Figura 6). Laureano, attraverso uno studio approfondito, dimostra che questo popolo non poteva passare inosservato agli occhi della cultura mondiale con le conoscenze avanzatissime in campo idraulico, la loro maestria nell’uso dell’acqua e la capacità di costruire complessi sistemi di irrigazione e canalizzazione i quali sono giudicati ancora oggi un vero miracolo tecnologico.

L’organizzazione delle Nazioni unite per l’educazione la scienza e la cultura inserisce i Sassi nella lista dei patrimoni mondiali da salvaguardare. Matera passa così da vergogna nazionale a patrimonio UNESCO, e in breve la vita dei Sassi si riaccende e rinnova ancora. Le case di quei materani tornano ad essere abitate da tante famiglie. Dal 1993 ad oggi man mano riprendono i lavori di ristrutturazione per riportare alla vita quel filo di memoria lunghissimo che non si è mai spezzato.



Figura 6: Vista su Matera

3 Analisi idrologica

3.1 Contesto idrogeologico

Dal punto di vista idrogeologico, la Murgia è un altopiano calcareo del Mesozoico¹⁰ che presenta una elevata permeabilità alle precipitazioni. Tuttavia, il flusso di acqua in superficie è raro e si verifica solo in seguito a eventi meteorici intensi. Come in tutte le regioni carsiche, l'acqua è assente in superficie poiché si infiltra attraverso le fessure presenti nelle rocce (principalmente carbonatiche), dando inizio a un lento ma costante processo di dissoluzione che porta alla formazione dei caratteristici paesaggi carsici, sia in superficie che nel sottosuolo.

In generale, ad eccezione delle sorgenti, l'acqua in superficie o nei primi metri di profondità può provenire direttamente dalla falda o dalla presenza di materiali a bassa permeabilità che riempiono le depressioni topografiche e ostacolano le vie di infiltrazione.

L'evoluzione storica della composizione del terreno dei Sassi è dovuta a un processo iniziato ben 2,5 milioni di anni fa. Nel corso del quale l'arcipelago venne sommerso gradualmente a causa di una lenta subsidenza portando a quello che viene definito come processo di diagenesi¹¹. Le interazioni tra l'Avampaese Apulo e la Fossa Bradanica hanno influenzato la struttura e la composizione delle rocce presenti nel territorio, contribuendo alla formazione delle caratteristiche distintive di questa zona. (Figura 7).



Figura 7: Evoluzione e composizione geologica dell'Italia Meridionale

Analizzando lo schema geologico dell'Italia meridionale (Figura 8) comprendere la connessione tra queste due aree geologiche è essenziale per definire la formazione del territorio dei Sassi di Matera.

¹⁰Mesozoico: In geologia era la terza delle grandi suddivisioni cronologiche della storia geologica della Terra, all'incirca tra 250 e 65 milioni di anni fa. suddivisa nei tre periodi del Trias (o triassico), del Giura (o giurassico) e del cretaceo (o cretaceo).

¹¹Diagenesi: Un lungo processo chimico-fisico, durato milioni di anni, in cui residui mineralizzati di organismi marini si sono depositati sul fondo e si sono trasformati in rocce coerenti.

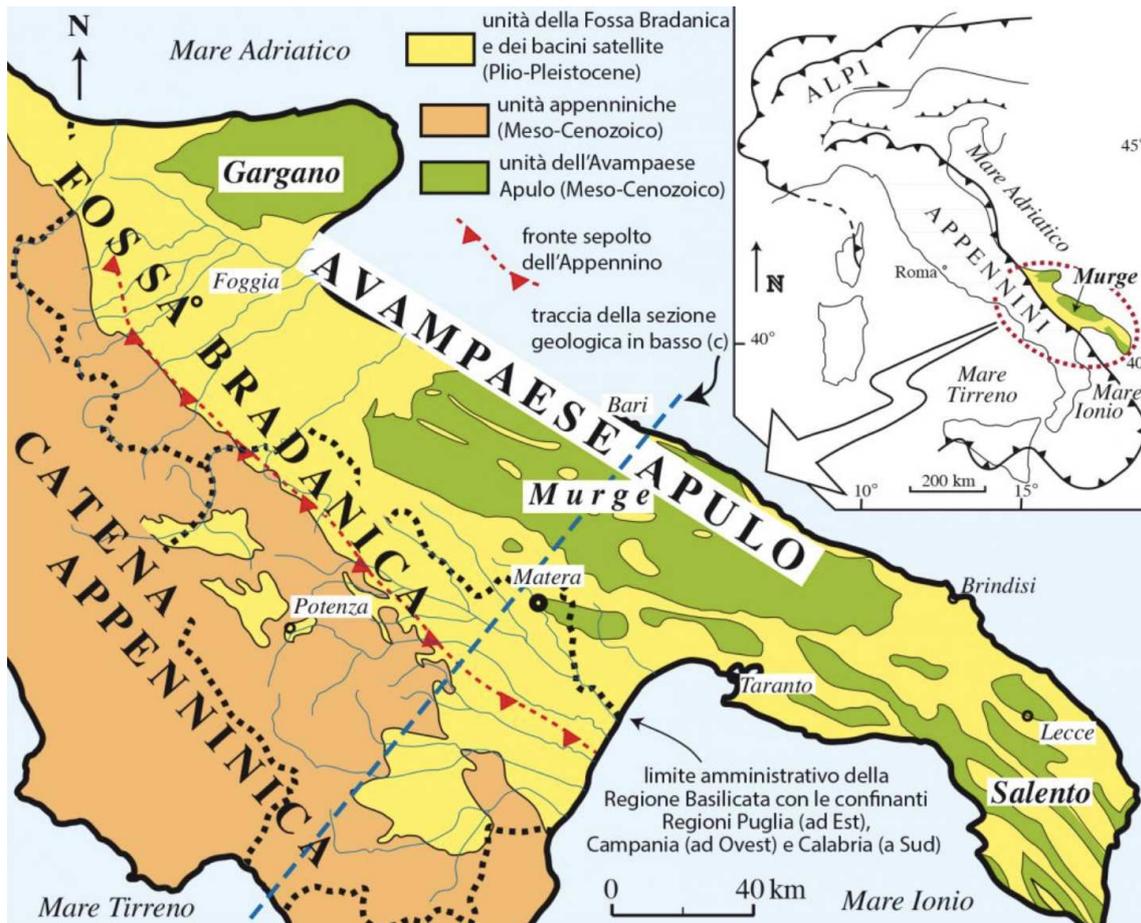


Figura 8: Schema geologico dell'Italia meridionale

La sequenza stratigrafica (Figura 9) è caratterizzata da un substrato di calcari cretacei¹² della piattaforma carbonatica apula, coperti dalla sequenza di depositi quaternari¹³.

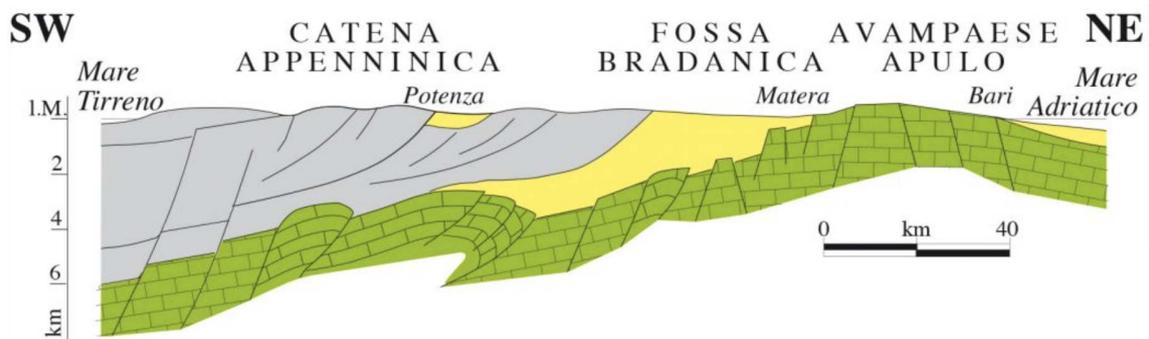


Figura 9: Sezione geologica schematica dell'Italia meridionale

¹²Cretaceo: Periodo geologico, il più recente dell'era mesozoica; della durata di ca. 70 milioni di anni, con inizio ca. 135 milioni di anni fa.

¹³Quaternario: L'era Neozoica o Quaternaria deve il nome alla comparsa e diffusione dell'Uomo e va da 1,8 milioni di anni fa fino ad oggi.

I calcari cretacei del substrato sono attribuibili alla formazione del Calcarea di Altamura. I litotipi del ciclo sedimentario poggiano sul substrato calcareo. Il termine stratigrafico inferiore consiste in calcareniti plio-pleistoceniche, chiamata Calcarenitica di Gravina.

Si tratta di una roccia tenera con un colore variabile dal giallastro al grigio-biancastro, generalmente massiccia, ma significativamente fratturata. È una roccia poco permeabile, che, se non fratturata, si mantiene autoportante durante lo scavo. Grazie a queste caratteristiche, nascono i primi insediamenti rupestri scavati nella roccia e il successivo adattamento ed evoluzione della rete idraulica dei Sassi durante la storia. È stato quindi possibile realizzare opere idrauliche di varia profondità per conservare e utilizzare le risorse idriche raccolte durante i periodi di maggiore necessità. L'adattamento e la modellazione dei sistemi idrici è dovuto in particolar modo alla composizione del terreno, infatti dal punto di vista geologico, l'area di Matera, pur rientrando amministrativamente nella regione Basilicata, è geologicamente affine alle Murge pugliesi.

3.2 Analisi delle precipitazioni

Le precipitazioni rivestono un ruolo cruciale nel definire la gestione dell'acqua piovana da parte della popolazione dei Sassi. Le variazioni delle precipitazioni potevano infatti influenzare la stabilità della vita quotidiana. Con il condurre un'analisi dettagliata delle precipitazioni sui Sassi di Matera, esaminando i dati storici delle piogge, valutando le tendenze temporali delle precipitazioni e identificando eventuali cambiamenti nel regime pluviometrico si riesce a definire la caratterizzazione climatica del territorio. Tale analisi sarà supportata da strumenti e metodologie scientifiche avanzate, tra cui l'utilizzo di dati meteorologici, modelli climatici e tecniche di analisi statistica.

Il territorio di Matera si trova in un'area semi-arida del Mediterraneo, caratterizzato da una varietà di precipitazioni intermittenti. Sebbene la Città dei Sassi sia attraversata dal torrente Gravina di Matera, questo non rappresenta una fonte di approvvigionamento sfruttabile sia per le difficoltà di accesso, essendo il torrente incassato in una gola profonda 200 m, sia perché lo stesso presenta un carattere tipicamente torrentizio con portate limitate e fortemente variabili.

L'obiettivo è quello di fornire una valutazione accurata e approfondita delle caratteristiche idrologiche del bacino idrografico preso in considerazione, consentendo di comprendere i processi idrologici chiave, le variazioni stagionali e gli eventuali impatti ambientali sul regime idrologico.

Al fine di effettuare una completa caratterizzazione della tipologia climatica di Matera e acquisire una comprensione approfondita del suo regime delle precipitazioni, è stata sviluppata un'analisi dettagliata delle precipitazioni storiche. Questo approccio analitico mira a investigare la variabilità temporale delle precipitazioni nel corso degli ultimi 35 anni, fornendo così informazioni essenziali per una gestione oculata e consapevole del territorio.

Il set di dati ricavato dagli annali idrologici, reperibili nel sito della Protezione Civile della Regione Basilicata, rappresenta una preziosa risorsa per condurre un'analisi approfondita delle precipitazioni nel periodo compreso tra il 1986 e il 2021. Questi annali idrologici forniscono informazioni dettagliate sui valori espressi in millimetri (*mm*) di precipitazioni cumulate nei diversi mesi e anni, offrendo così un quadro completo delle variazioni pluviometriche nel corso di questo lungo periodo.

L'ampia copertura temporale di questi dati consente di esaminare le tendenze climatiche a lungo termine e identificare eventuali variazioni significative nel regime delle precipitazioni nel corso degli anni.

Grazie alla tabella successiva, è possibile analizzare in modo chiaro e dettagliato i valori delle precipitazioni accumulati per ciascun mese e anno considerato.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Tot
1986	13.6	102.2	61.6	8.6	35.8	27.4	98.6	22.4	17	23.6	19.8	8.4	439
1987	37.8	119	41.8	3	62.2	35	11	/	21	107.8	56.6	33.8	529
1988	38.6	21.8	91.8	19.8	47.6	13.2	/	19.2	73.6	33.4	48.8	18.8	426.6
1989	18.8	2.8	17.6	14.8	18.8	126.4	93.4	4	21.4	29.2	13.8	38.2	399.2
1990	4.2	5	14.4	29	26.8	4.2	12.8	15.8	27.2	43.8	159.2	80.8	423.2
1991	66.8	18.6	12.6	70	/	4.8	54.2	49.8	29.6	/	32.6	/	/
1992	27.6	5.8	/	33.6	19.4	56.6	5.4	4.8	27.2	63.6	13.8	44	301.8
1993	13.6	33.6	39.6	18.8	86.4	8.4	/	36.6	44.2	27	102.6	24.6	435.4
1994	50.8	92.6	0.6	21.8	20.4	43.6	39.2	12.8	14.6	8.2	33.2	42.6	380.4
1995	38.2	4.6	73.8	24.4	16.4	19	76.4	180.2	54	0.4	48	80.4	615.8
1996	97.2	60.6	60.6	39.8	32.8	4.8	7.4	20.4	52	85	41.6	65.2	567.4
1997	43	2.4	17.2	33.4	4.6	14	/	26.4	54.8	100.2	101.6	20.4	418
1998	51.6	49.6	35.6	13.2	69	48.6	5.4	43.2	21.4	37.8	102.4	19.6	497.4
1999	53.2	10.2	20	27.4	23.8	43.8	106.8	7.8	19.8	24.8	52.6	12.2	402.4
2000	2.2	35.2	/	40	18.6	28	/	2.4	/	87.2	40.2	/	/
2001	81.83	35.08	18.2	33.76	20.51	11.8	0	54.2	20.73	14.4	28.8	52.6	371.9
2002	11.2	10.8	27.4	63	4.2	7.4	5.8	17	2.4	1	13	151.2	314.4
2003	77	36.97	14.8	21.4	18.2	24.2	21.4	41.6	33.4	70.6	16.2	171.8	547.6
2004	37.8	14.4	44.8	42	58.6	47.4	22.6	43.8	38	16	86.2	73	524.6
2005	13.96	24	14.4	22.8	23.03	11.8	13.8	35.4	113.6	74.4	72.8	79.4	499.4
2006	49.4	75.6	30.8	73.2	28.4	37.8	81.4	46.2	82	17.6	21.8	71.4	615.6
2007	11	35.4	154.4	71.8	41.6	26.4	0.8	10.4	35.8	49.2	44.31	55.64	536.7
2008	17.8	10.6	87.4	23.4	10	21.4	12	13.2	46.59	30.42	96	102.6	471.4
2009	139.4	22.8	73.6	74.4	18	121.2	9.8	32.4	105.4	88.6	30.6	46	762.2
2010	50.8	75	43.6	43	44.4	37.4	48.6	0	108.6	118.2	88.6	3.2	661.4
2011	1.4	0.4	157.4	36.4	16.4	12.6	13	0.4	33.2	16.8	77.6	9.4	375
2012	30.8	84.8	44.8	58.2	20.6	5.8	34.4	8	35.2	66.2	72.03	22.2	483
2013	37	47.6	44.2	6.6	49.6	50.4	80.8	26.8	9.6	41.6	95.6	161.4	651.2
2014	46.6	41	45.4	84	93.4	19.4	42.6	18.4	35.4	39.2	86	29	580.4
2015	65.4	63	100	18.2	36.8	47.6	16.6	38.6	29	117	22.4	0.8	555.4
2016	21.8	58.6	92.6	18.6	61.2	66	/	49.2	80.2	37	34.8	8.4	/
2017	88	49	15.8	40	/	4.8	38.8	20.6	/	14	62.6	16.4	/
2018	14.4	62.4	47.8	10.8	77.4	69.8	13	108.6	15.2	133.6	36	21	610
2019	73.8	35.2	30.8	54.8	96.2	2.6	39	20.8	10.4	20	162	35.8	581.4
2020	2.4	23.4	38.2	48.8	33.6	128.2	47.6	17.8	14.2	47.6	151	74.4	627.2
2021	43	19.8	34	53.2	3.4	4.6	14.8	22.2	34.4	32.4	97.6	40.6	400
Med	40.9	38.6	48.4	36.0	36.4	34.3	34.4	30.6	40.0	49.1	62.8	50.5	500

La piovosità stimata in base alle precipitazioni medie annuali del periodo preso in considerazione si attesta intorno ai 500 mm/anno .

L'istogramma ricostruito (Figura 10) mostra come le precipitazioni in numerosi anni si attestano attorno a valori estremamente bassi prossimi ai 400 mm/anno .

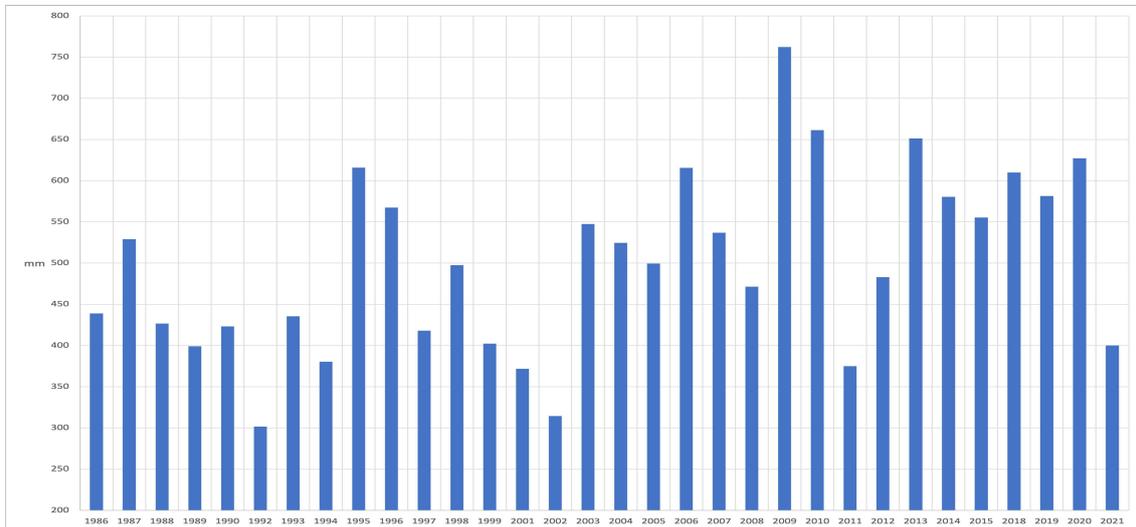


Figura 10: Istogramma storico delle precipitazioni

A livello mensile si nota come ci sia una forte variabilità inter-annuale. Questo indica che, da un anno all'altro, i livelli di precipitazione possono variare significativamente durante le diverse stagioni. In altre parole, non esiste una costante prevedibile nelle quantità di pioggia registrate mensilmente, ma si osserva un notevole scostamento da un anno all'altro (Figura 11).

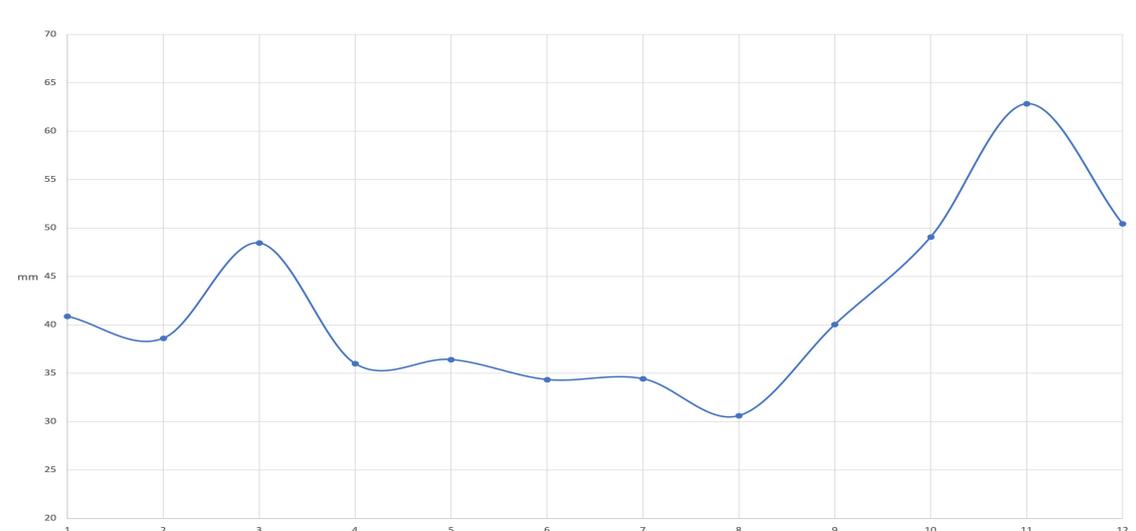


Figura 11: Andamento medio mensile precipitazioni (1987-2021)

L'analisi della disponibilità idrica si pone come punto di partenza per comprendere la sostenibilità dell'utilizzo delle risorse idriche e per individuare eventuali azioni che furono necessarie per garantire una gestione ottimale e consapevole dell'acqua a beneficio delle diverse generazioni che hanno vissuto nei Sassi.

Valutando la situazione attuale in cui l'estensione della zona sassi risulta pari a $10,16 \text{ km}^2$ e la media annuale di precipitazioni è pari a 500 mm/anno possiamo definire quello che è il volume di pioggia che mediamente affluisce in un anno sull'area d'interesse:

$$V_{\text{annuo}} = 10,16 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \text{ m/anno} = 5,08 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$$

I quali corrispondono a una disponibilità idrica pari a $13,92 \cdot 10^6 \text{ l/g}$.

In relazione alla popolazione che abitava i Sassi lo scorso secolo, pari circa a 18000 abitanti, possiamo ora stimare la dotazione:

$$Dot_{\text{passata}} = \frac{13,92 \cdot 10^6 \text{ l/g}}{18000 \text{ ab}} = 773 \frac{\text{l/g}}{\text{ab}}$$

Il problema era riuscire a non disperdere questa acqua e cercare di immagazzinarne il più possibile.

Nel corso dei secoli, la necessità di ottimizzare l'utilizzo delle risorse idriche ha costantemente stimolato lo sviluppo di soluzioni innovative e ingegnose per l'accumulo dell'acqua piovana. Questo processo di ottimizzazione ha spinto l'umanità a cercare metodi efficaci per catturare, conservare e sfruttare al massimo le risorse idriche disponibili.

3.3 Captazione, trasporto ed accumulo dell'acqua

I materani hanno sviluppato un autentico sistema di approvvigionamento idrico scavato nella pietra. Il complesso dei Sassi che si estende su diversi livelli, è paragonabile a un condominio dell'antichità, in alcune zone i livelli raggiungono persino dieci piani scavati nella roccia (Figura 12).



Figura 12: Condominio dell'antichità

I tre elementi che compongono lo schema di gestione dell'approvvigionamento idrico degli insediamenti sul bordo occidentale della Murgia sono:

- L'opera di captazione
- Il trasporto attraverso canalizzazioni
- L'accumulo finale al serbatoio.

Questa struttura si ripete per tutta l'estensione del territorio dei Sassi. Le applicazioni idrauliche si evolvono da una situazione di modesto sfruttamento, basato sull'ampia distribuzione di cisterne ad alimentazione pluviale, alla captazione da sorgenti o da falde superficiali o profonde, con acquedotti sempre più estesi, che garantivano una costante disponibilità di acqua di buona qualità.

Attraverso un dettagliato rilievo di una sezione ancora intatta e non restaurata degli Sassi, è stato possibile condurre la seguente valutazione. Nella Figura 13 viene presentata la planimetria di uno dei terrazzamenti del Sasso Caveoso, situato in Via Casalnuovo, dove sono state individuate tutte le cisterne private. Il rilievo ha confermato la presenza delle cisterne a campana piccola in tutte le abitazioni e ha rivelato la presenza di più cisterne in alcune strutture ipogee.

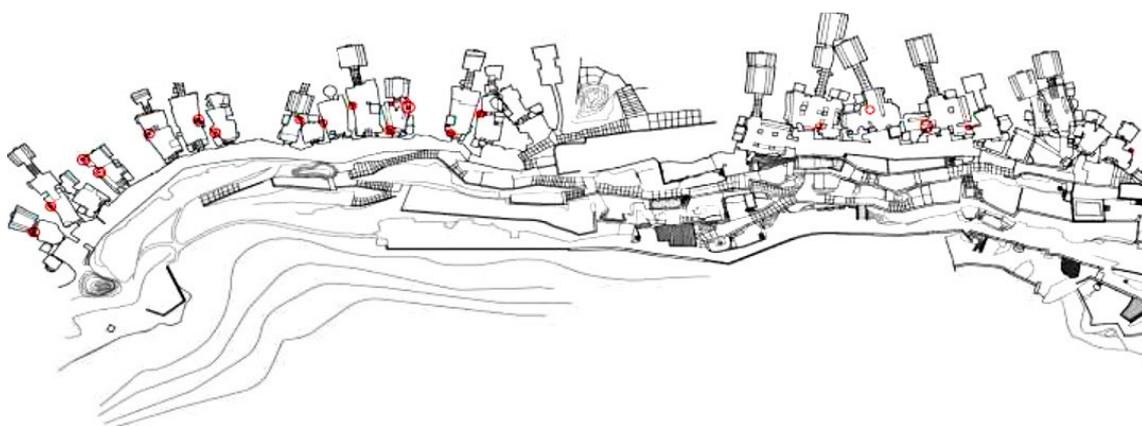


Figura 13: Individuazione cisternea campana piccola in Via Casalnuovo

Grazie all'approfondito rilievo effettuato, si è stati in grado di quantificare il numero di diverse tipologie di cisterne a campana all'intero territorio dei Sassi (come illustrato nella Figura 14).

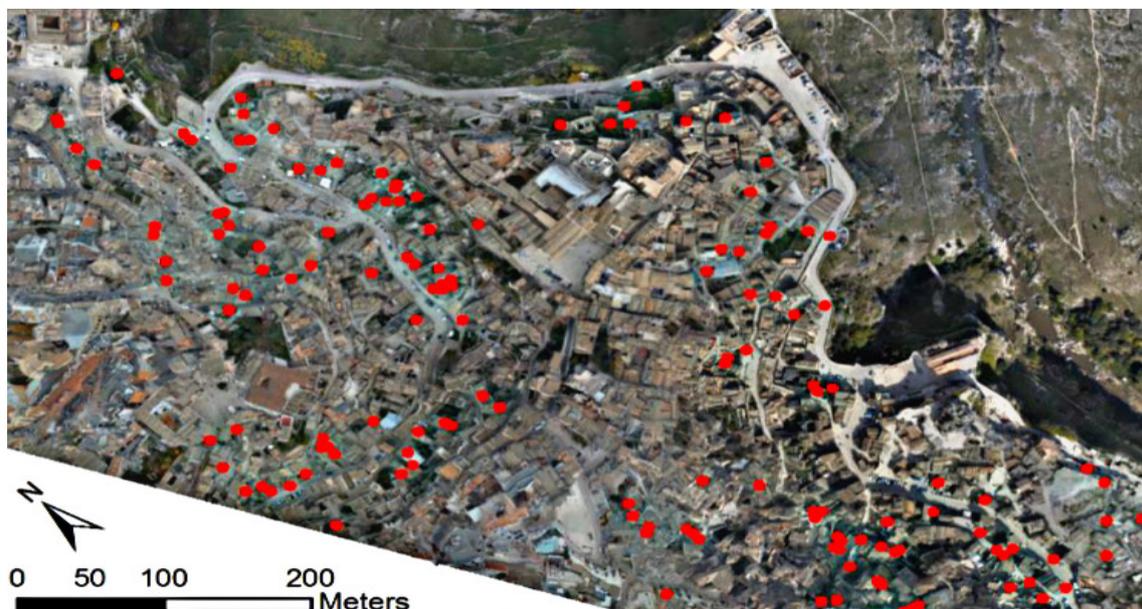


Figura 14: Mappatura cisterne a campana piccola

La stima approssimativa ma proiettata del numero totale di cisterne di piccole dimensioni si aggira intorno a circa 2039 unità. Oltre a queste attraverso passati censimenti, si è riusciti ad individuare e catalogare 170 cisterne di vicinato, che svolgono un ruolo importante nella fornitura e distribuzione dell'acqua all'interno delle comunità locali e a definire la presenza di due palombari, imponenti cisterne di grandi dimensioni scavate direttamente nella roccia, che assumono un ruolo di rilievo nella conservazione e nel mantenimento delle riserve idriche. L'individuazione di queste strutture idriche di diversa tipologia e dimensione ci ha fornito una panoramica più completa della complessa rete di accumulo e distribuzione dell'acqua nel territorio dei Sassi.

Simulando il comportamento delle singole cisterne per ricostruire la capacità di accumulo di risorsa idrica durante un anno idrologico medio si sono definiti i volumi per le diverse tipologie di opere:

- La cisterna a campana di tipo piccolo con volume massimo di $10 m^3$
- La cisterna a campana di tipo medio con un volume di $50 m^3$
- Il Palombaro Lungo che nel complesso presenta un volume di circa $5000 m^3$
- Il Palombaro del Caveoso con un volume di circa $1300 m^3$.

È possibile stimare il totale dei volumi d'acqua disponibili sommando i diversi contributi relativi in termini di cisterne e palombari

Tipologia	Vol medio cisterna (m^3)	N° Cisterne	Vol totale
Cisterna piccola	10	2039	20390
Cisterna media	50	170	8500
Palombaro Lungo	5000	1	5000
Palombaro Caveoso	1300	1	1300

Sommando i diversi volumi otteniamo la disponibilità massima totale cumulabile dal sistema.

$$V_{tot} = V_{c,p} + V_{c,m} + V_{p,l} + V_{p,c} = 35190 m^3$$

Simulando il comportamento con un volume iniziale pari al 50% del volume totale, e ipotizzando una derivazione costante da ciascuna cisterna (quantità di acqua prelevata da ogni cisterna sia costante nel tempo) e tenendo conto degli sfioranti si è ricostruito l'andamento dei volumi invasati su ciascuna tipologia di cisterna (Vedi tabella successiva)

Tipologia	Vol annuo sfruttabile (m³)	N° Cisterne	Vol totale
Cisterna piccola	57	2039	116142
Cisterna media	189	170	32242
Palombaro Lungo	52623	1	53623
Palombaro Caveoso	13640	1	13640

Si nota come l'insieme delle piccole cisterne garantissero infatti il più efficace sistema di accumulo di risorsa idrica con 116142 m³ derivabili annualmente; il Palombaro Lungo garantiva circa 52600 m³ e contributi inferiori ma non trascurabili erano garantiti dalle cisterne di vicinato e dal Palombaro Caveoso.

Il sistema idrico di accumulo in totale garantiva una disponibilità media annuale di oltre 210000m³ di acqua considerato il numero di persone servite (secondo l'ISTAT la popolazione residente era di circa 18000 abitanti nel 1927) e il numero di cisterne presenti nei Sassi è possibile stimare una dotazione idrica per abitante pari a circa 32 l/ab · g.

4 Configurazione della rete

4.1 Evoluzione storica del sistema

I primi interventi idraulici riguardano le grandi trincee rinvenute sull'altipiano di fronte alla Civita in località Murgia Timone. Singolari opere di escavazione, ovvero vasche di decantazione di diversa dimensione e profondità collegate a cisterne (Figura 15), vengono riscoperte e sono il segno che i blocchi di "tufo" utilizzati per la costruzione delle abitazioni dei Sassi provengono dalla calcarenite.



Figura 15: Vasca di decantazione Murgia Timone

Dalle prime soluzioni di raccolta e convogliamento dell'acqua preistoriche, passando per lo sviluppo e l'ampliamento medievale, fino al declino e al recupero moderno, la rete idraulica dei Sassi ha rappresentato un elemento essenziale per la vita quotidiana e l'economia della comunità sassese.

Il sistema di captazione e immagazzinamento delle precipitazioni, usato nell'inse-diamento rupestre, è stato tramandato fino all'epoca moderna, tuttavia dopo il 1500, la storia dei Sassi di Matera subì cambiamenti significativi che ebbero un impatto anche sulla rete idraulica. La città attraversò un periodo di decadenza economica e sociale, con una diminuzione della popolazione e una progressiva marginalizzazione.

La rete idraulica dei Sassi subì un progressivo declino, a causa della mancanza di manutenzione e della trasformazione delle condizioni socioeconomiche. Molte cisterne e canali vennero abbandonati e caduti in disuso, contribuendo alla perdita di funzionalità complessiva della rete. Inoltre, con l'avvento di nuove tecnologie e approcci di approvvigionamento idrico, come l'uso di pozzi profondi e sistemi di distribuzione centralizzati, la rete idraulica tradizionale dei Sassi divenne meno rilevante.

La modernizzazione della gestione delle risorse idriche portò alla costruzione di acquedotti e sistemi di distribuzione dell'acqua che servivano l'intera città, rendendo meno necessaria la rete idraulica locale dei Sassi. Fu realizzato il Palombaro Lungo al bordo Sud della città utilizzato fino ai primi decenni del '900, quando è stato messo in opera l'Acquedotto del Sele.

Evidenze dell'antico sistema di gestione delle acque costituito da cisterne, palombari e pozzi, sono ancora visibili e visitabili oggi.

4.2 Cisterne private e tecniche di immagazzinamento

Una cisterna, è una struttura che ha lo scopo di raccogliere e accumulare l'acqua piovana, nei Sassi venivano direttamente scavate nella roccia. Per convogliare grandi quantità d'acqua, è fondamentale avere ampie superfici di raccolta. Quest'ultime devono avere una certa pendenza per far scorrere l'acqua in caditoie e canali collegati alla cisterna. Le cisterne venivano spesso posizionate sotto il livello dei pavimenti degli edifici per raccoglierne una maggiore quantità (Figura 16).



Figura 16: Terrazzamenti e cisterne

Il sistema ingegnoso per convogliare l'acqua meteorica era dato dalla copertura dei tetti o l'eventuale prolungamento in pietra costruito nel caso del Sasso Barisano chiamato "lamione" (Figura17).



Figura 17: Sviluppo del lamione nel Sasso Barisano

La copertura che non sporge ma è compresa nella muratura, fa parte di un sistema di opere architettoniche ben progettate che caratterizzano l'antica struttura dei Sassi di Matera. Oltre ai tetti, il sistema comprende anche una rete di canalette intagliate nella roccia circostante, che svolgevano un ruolo fondamentale nel convogliare l'acqua piovana verso le cisterne (Figura 18).



Figura 18: Sistema di canalette scavate nella roccia

Le acque canalizzate passavano attraverso vasche di decantazione, le quali permettevano un primo trattamento di acqua piovana.

Questa ingegnosa infrastruttura permetteva ai singoli abitanti dei Sassi di avere la propria riserva personale d'acqua, garantendo l'autonomia e la sostenibilità idrica di ogni famiglia o individuo.

Le cisterne sono spesso collegate in serie con altre abitazioni annesse e a valle mediante un canale per il troppopieno in modo da garantire un livello stabile di risorsa all'interno delle stesse.

La capacità delle cisterne poteva variare da pochi metri cubi, fra i $5 - 15 m^3$ nel caso di cisterne private, fino a migliaia per le cisterne utilizzate da intere comunità (Palombari).

L'intero sistema utilizzava il principio dei vasi comunicanti in modo da garantire una equidistribuzione dei volumi di precipitazione immagazzinati.

Definita la Legge di Stevino:

$$\rho_1 \cdot g \cdot h_1 + p_A = \rho_2 \cdot g \cdot h_2 + p_A$$

dove:

- ρ_1 e ρ_2 rappresentano le densità di due fluidi
- g è l'accelerazione di gravità.
- h_1 e h_2 le altezze dei due punti all'interno del fluido
- p_A è la pressione atmosferica alla superficie

otteniamo un'eguaglianza dei livelli tra i serbatoi: $h_1 = h_2$

Essendo il sistema sviluppato su più terrazzamenti l'acqua veniva convogliata all'interno delle cisterne e oltre a essere collegate in serie con altre abitazioni annesse, vi si presenta anche un canale per il troppopieno, l'ingegnoso sistema garantiva un livello stabile di risorsa idrica per ogni abitazione.

Per garantire l'impermeabilità, le pareti interne vengono completamente rivestite con materiali come intonaco idraulico o cocciopesto¹⁴



Figura 19: Foto cisterne a campana piccola

¹⁴Cocciopesto: materiale composto da frammenti di laterizi (tegole o mattoni) minutamente frantumati e malta fine a base di calce aerea.

Il sistema idrico utilizza in modo combinato la raccolta e la condensazione. Durante le piogge, terrazzamenti e sistemi di raccolta dell'acqua proteggevano i pendii dall'erosione e convogliavano per gravità le acque verso le cisterne attraverso canali al cui interno erano posti sacchi di juta che rallentavano la corsa dell'acqua permettendo anche un filtraggio della stessa. I Sassi concepiti come molteplici piani ipogei sovrapposti con lunghe gallerie che attraversano trasversalmente il sottosuolo, funzionavano durante la notte come aspiratori di umidità atmosferica che condensava nella cisterna terminale durante la stagione di secca.

4.3 Cisterne del Vicinato

Una caratteristica principale e molto interessante dell'organizzazione sociale dei Sassi è il cosiddetto "vicinato". Probabilmente sviluppatosi da antiche abitudini collettive, può essere identificato come lo spazio creato tra gruppi di case vicine, uno spazio che può essere utilizzato sia come area di lavoro condivisa che come luogo di incontro in cui gli abitanti della "contrada" si riunivano e forse, originariamente, svolgevano insieme anche compiti di difesa (Figura20).

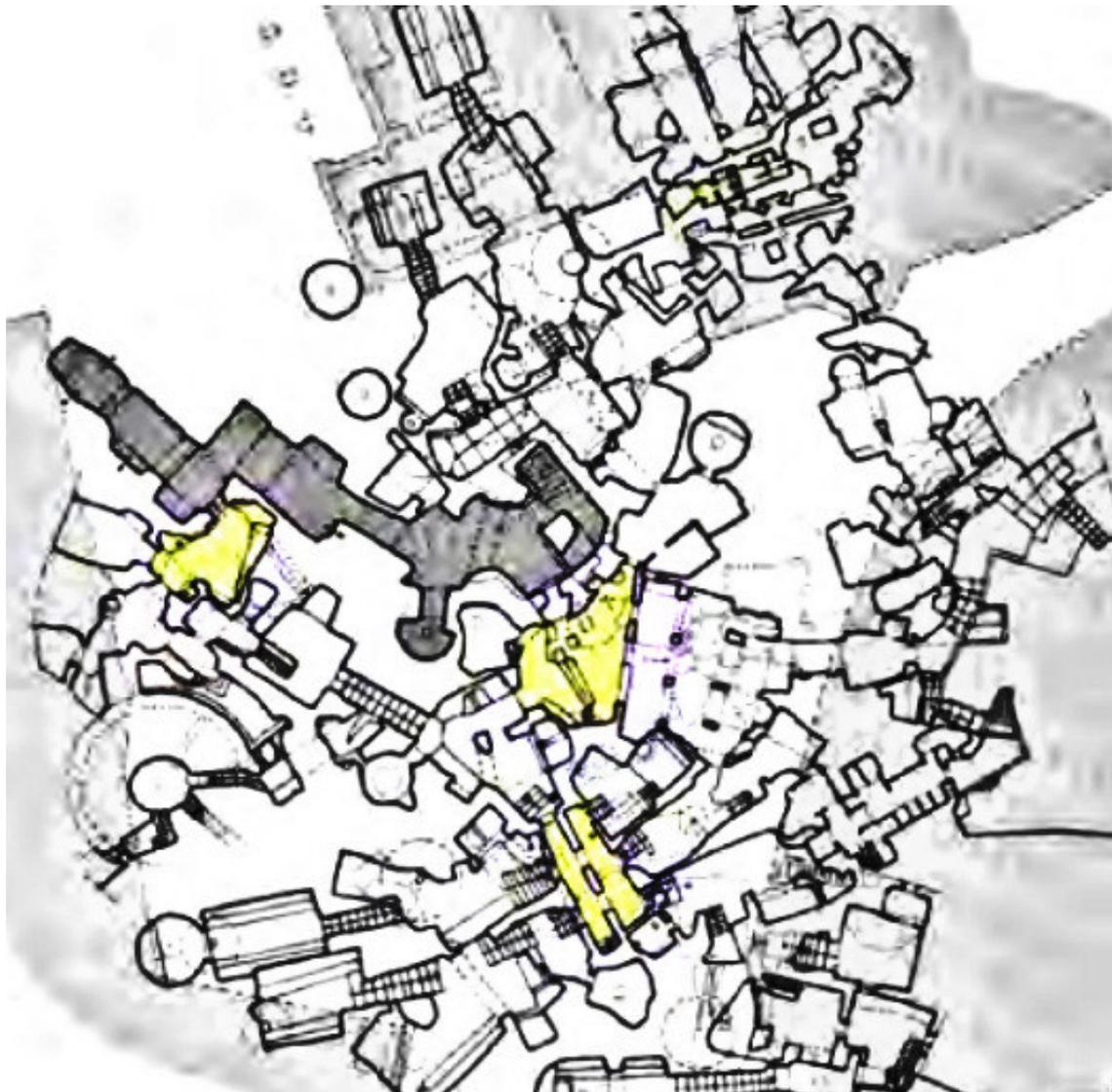


Figura 20: Zone del vicinato

Il vicinato è quindi uno spazio fisico, ma allo stesso tempo un elemento identitario dell'area residenziale in quanto rappresenta il suo nucleo simbolico. Con la sua forma irregolare, il vicinato era quasi una sorta di salotto all'aperto, un cortile comune che ospitava attività lavorative e relazioni sociali tra famiglie vicine. Il vicinato è una zona di transizione tra la sfera pubblica e quella privata, uno spazio protetto e controllato. Per questa ragione ha un carattere tipicamente semiprivato che conferisce a ogni insediamento un nucleo indipendente in termini di auto-identificazione. Tutte le case si affacciano su un vicinato, un elemento di distribuzione simile al cortile di un edificio residenziale. Ogni vicinato presentava la sua cisterna, un punto di approvvigionamento che, in periodo di secca consentiva alla comunità di avere una garanzia di riserva idrica. (Figura 21).

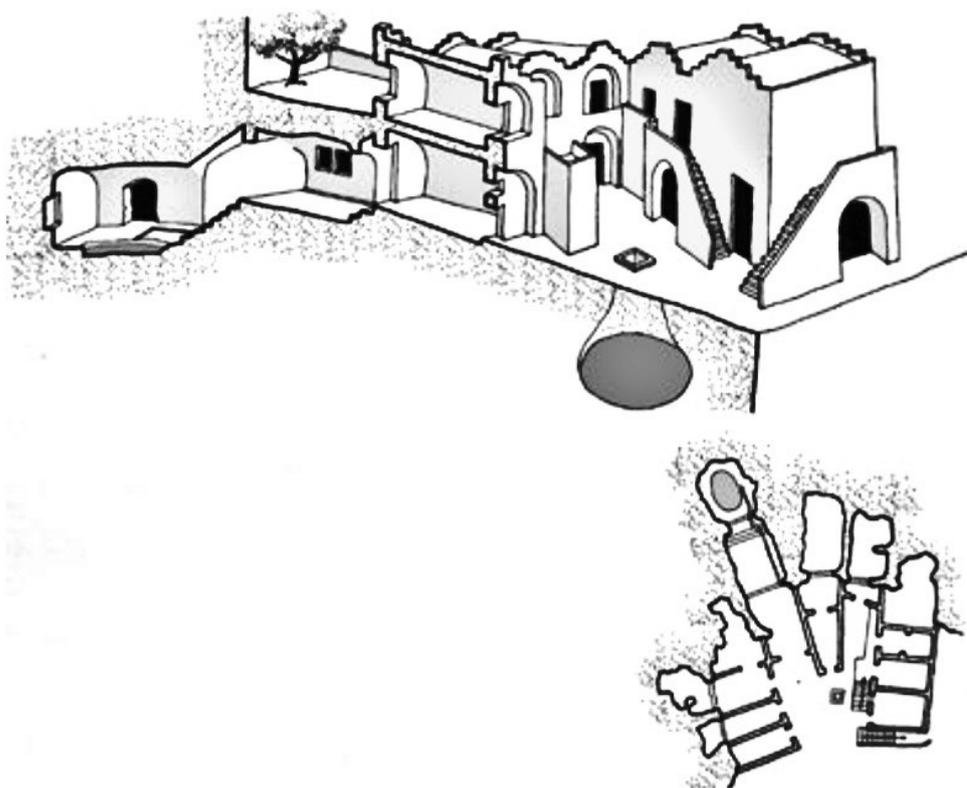


Figura 21: Schema cisterna del Vicinato

4.4 Palombaro Lungo

La città di Matera, come molte altre antiche città storiche, sta recuperando l'insieme delle sue parti antiche sviluppando una politica di rigenerazione urbana. All'inizio degli anni '90, durante i lavori di restauro della piazza principale, Piazza Vittorio Veneto (Figura 22), è stato scoperto un enorme spazio sotterraneo utilizzato come serbatoio d'acqua chiamato Palombaro Lungo, la cui ultima estensione documentata risale al 1870.

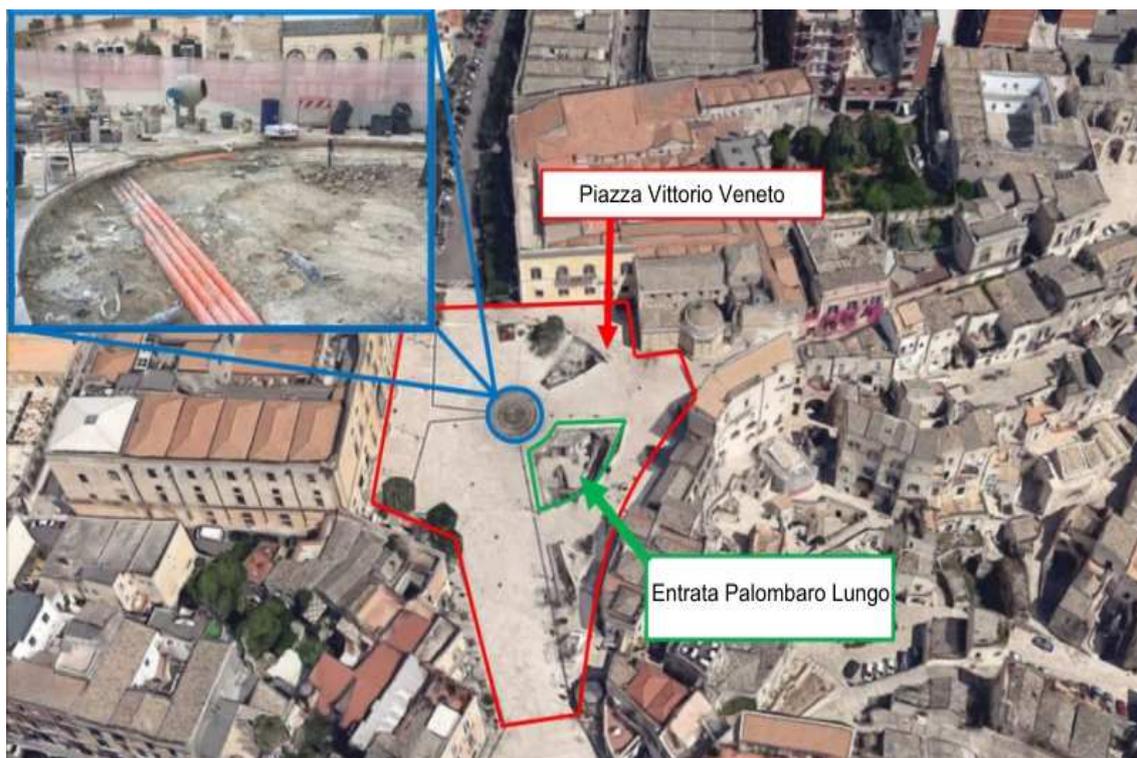


Figura 22: Inquadramento del Palombaro Lungo

La sua attuale articolazione planimetrica e volumetrica deriva dalla progressiva fusione di diverse cavità sotterranee e cisterne preesistenti ed è solo uno dei numerosi ambienti sotterranei scavati nella massa rocciosa di calcarenite presente nel sottosuolo della piazza.

Per la ricostruzione della geometria del Palombaro Lungo e degli ipogei adiacenti è stato possibile fare riferimento ai progetti di rilievi topografici precedenti, l'ultimo dei quali sviluppato per gli interventi di sistemazione degli ipogei di Piazza Vittorio Veneto (Figura23).

Attualmente oggi il Palombaro è diventato meta turistica e si può osservare la sua complessità attraverso un tour guidato (Figura 25).

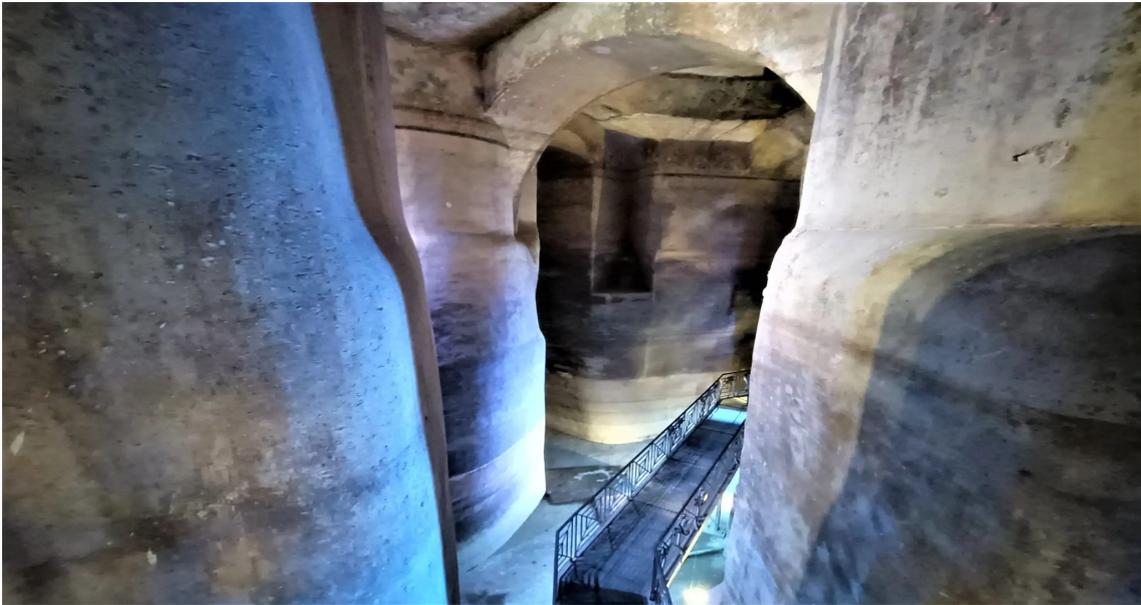


Figura 25: Palombaro Lungo

4.5 Fontane e Pozzi

Prima che l'acqua corrente fosse disponibile nelle singole abitazioni, le fontane erano molto importanti per poter attingere l'acqua proveniente da una sorgente. Le acque del Lapillo e del Castello, che dalla collina venivano convogliate nella fontana per favorirne l'uso ed erano abbondanti e la presenza a valle di numerosi pozzi ne permetteva la captazione.

Per sollevare l'acqua si potevano utilizzare diversi sistemi, quello più semplice consisteva nel sollevamento manuale di secchi o brocche tramite l'uso di corde, a volte questa operazione era facilitata dalla presenza di carrucole sostenute da una struttura in legno.

Era comune trovare pozzi sia nel centro abitato dei Sassi, (Figura 26a) che nelle zone rurali o nei pressi di masserie o campi da coltivazione.

Il palombaro lungo presenta delle 6 bocche di pozzi sul soffitto attraverso le quali veniva prelevata l'acqua dai materani. (Figura 26b), come nelle cisterne, il prelievo dell'acqua avveniva dall'alto, le aperture poste sulla volta della cisterna venivano protette da un puteale (detta anche vera da pozzo), frequentemente realizzato in pietra, il quale nel tempo divenne un elemento di decorazione degli ambienti.



(a) Pozzo cisterna piccola

(b) Pozzi del Palombaro Lungo

Figura 26

5 Conclusioni

Questo studio mira a fornire una comprensione approfondita del sistema idrico di Matera, mettendo in luce le sfide affrontate nel corso della storia per garantire un adeguato approvvigionamento idrico e sottolineando l'importanza di un utilizzo consapevole e sostenibile delle risorse.

Da sempre la disponibilità idrica ha caratterizzato le scelte insediative dell'uomo e la carenza di acqua ha portato a sviluppare soluzioni che oggi definiremmo tecnologiche e ingegneristiche.

Nel tempo, con lo sviluppo di migliori tecniche di gestione della risorsa, portarono antichi insediamenti umani a spostarsi progressivamente dai punti di immediata reperibilità della risorsa idrica verso aree diverse e lontane dal punto di captazione, ma più comode per gli abitanti.

La gestione delle acque, le pratiche di raccolta e di sfruttamento idrico costituiscono un peculiare elemento della cultura e delle tradizioni di un luogo e determinano il valore paesaggistico dei territori.

Nei territori più aridi, come quello oggetto di studio, la conservazione e raccolta di risorse idriche ha sempre costituito un rilevante problema, affrontato in epoche passate con una serie di tecniche e soluzioni di accumulo dell'acqua al fine di garantirsi una disponibilità di acqua anche nel corso delle stagioni secche.

In territori carsici, tipicamente caratterizzati da scarsa presenza di acqua in superficie, ancor più che in altri territori, e contesti climatici e/o geologici, la dipendenza degli insediamenti umani dall'acqua è pertanto sempre stata molto forte.

Lo studio dei sistemi antichi di gestione dell'acqua è finalizzato a studiare forme "nuove" per favorire il miglioramento nell'attuale gestione idrica, nella consapevolezza che il problema idrico legato ad una crescente domanda di acqua, può essere risolto guardando alle soluzioni del passato.

6 Bibliografia e sitografia

- Spilotro G., Fidelibus M., Pellicani R., Qeraxhiu L., *La salvaguardia del patrimonio architettonico di Matera: i materiali naturali da costruzione, nel tufo e col tufo. Caratterizzazione tecnica delle calcareniti e variazioni per condizioni ambientali*, Convegno OdG Basilicata, 6 Febbraio 2015.
- Manfreda S., Mita L., Dal Sasso S., Samela C., *Ricostruzione del sistema di gestione delle acque della città dei Sassi*, Conferenza ESRI ITALIA 2017, Maggio 2017.
- Maria Carmela Grano, *Palombari, cisterne e pozzi per l'approvvigionamento idrico nei Sassi di Matera (Basilicata)*, 2020 IL CAPITALE CULTURALE.
- Bellanova J., Calamita G., Catapano I., Ciucci A., Cornacchia C., Gennarelli G., Giocoli A., Fisangher F., Ludeno G., Morelli G., Perrone A., Piscitelli S., Soldovieri F. e Lapenna V., *GPR and ERT Investigations in Urban Areas: The Case-Study of Matera (Southern Italy)*, Remote Sensing, 10 Giugno 2020.
- Manfreda S., Mita L., Dal Sasso S., Dibernardi F., Ermini R., Mininni M., Bixio A., Conte A., Fiorentino M., *La gestione delle risorse idriche nella città dei Sassi (Matera)*, Rivista bimestrale dell'associazione idrotecnica italiana, Maggio 2016.
- Bernardo M., De Pascale F., *Matera, Capitale Europea della Cultura 2019: simbolo di riuso, resilienza ed ospitalità sostenibile*, Dicembre 2016.
- Girard L., Trillo C., Bosone M., *MATERA, CITTÀ DEL SISTEMA ECOLOGICO UOMO/SOCIETÀ/NATURA*, Giannini Editore, Dicembre 2019.
- Guida A., Mecca I., *THE "PALOMBARO" ("SASSI" OF MATERA, ITALY): THE INTERACTION BETWEEN WATER AND CONSTRUCTION MATERIALS*, 29 Giugno 2016.
- <https://www.isassidimatera.com/>
- <http://www.centrofunzionalebasilicata.it/it/annali1.php>
- <http://www.centrofunzionalebasilicata.it/it/annali2.php>
- <https://www.geopop.it/video/matera-la-smart-city-piu-antica-del-mondo/>
- <https://laureano.it/?news=recupero-sassi-matera>

Vorrei esprimere la mia profonda gratitudine al Prof. Andrea Defina, il mio relatore, per avermi guidato durante tutto il processo di scrittura.

Desidero ringraziare di cuore i miei amici e tutte le persone che mi sono state vicine in questi anni. Un sentito ringraziamento ai miei genitori, Antonio e Giovanna, per il loro tempo, il loro sostegno e la pazienza che hanno dimostrato nell'attesa di questo traguardo.

Ho incontrato ostacoli inaspettati, imprevisti che hanno rallentato il mio cammino verso questo obiettivo. Ma oggi, in questo momento, guardo indietro con gratitudine e avanti con speranza. Ogni percorso è prezioso e unico a modo suo. Quello che conta veramente è la perseveranza e la determinazione che dimostriamo nel raggiungere i nostri obiettivi, indipendentemente dal tempo impiegato. Ognuno di noi ha una storia unica, fatta di successi e sfide personali. La nostra strada potrebbe essere più lunga, ma ogni passo avrà un significato ancora più profondo.

Grazie a tutti.

