



**POLITECNICO  
DI TORINO**

Dipartimento di Ingegneria  
dell'Ambiente, del Territorio  
e delle Infrastrutture

## **Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio**

Tesi di Laurea Magistrale

### **Studio di un sistema di raccolta d'acqua piovana per l'irrigazione del verde privato nel comune di Celano (AQ)**

**Relatore:**

Prof. Roberto Revelli

Prof. Ilaria Butera

**Candidato:**

Gianmarco Vitagliani

*Anno Accademico 2020-2021*

Prima di procedere con la trattazione del mio elaborato mi sento in dovere di dedicare poche parole alle persone che mi sono state e saranno vicine nella vita, e a tutti coloro che mi hanno supportato nella realizzazione dello stesso.

Un ringraziamento speciale va ai relatori Revelli Roberto e Butera Ilaria per la loro disponibilità. In ogni incontro mi hanno aiutato dandomi consigli, indicazioni e documentazione necessaria per l'acquisizione di conoscenze opportune.

Ringrazio l'ingegnere Contestabile Mauro per la disponibilità nel darmi i dati necessari per il conseguimento del lavoro.

A tutti i miei colleghi, con cui ho condiviso questo percorso di vita, dentro e fuori l'università dico grazie per esserci stati.

Un grazie di cuore va ai miei coinquilini con i quali ci siamo aiutati nei momenti bui e divertiti quando necessario.

Agli amici di una vita dedico un ringraziamento davvero speciale per tutte quelle volte che mi hanno dato forza nei momenti di sconforto e un sorriso nei momenti di festa.

Ringrazio immensamente la mia famiglia, che appoggiando ogni mia decisione mi ha sostenuto, educato e trasmesso i valori che sono alla base della mia persona.

Infine dedico questa tesi a me stesso. In questo lavoro non ci sono solo i miei sacrifici o la mia tecnica ma l'idea di desiderare un mondo diverso, sostenibile.

## **ABSTRACT**

L'aumento demografico è sempre più forte ogni anno che passa. Oltre all'aumento della popolazione mondiale vi è anche l'incremento della popolazione nelle aree urbane. Questa costante crescita genera una riduzione della disponibilità idrica pro-capite e la riduzione delle aree verdi nei centri urbani.

Il seguente elaborato si concentra appunto sui temi della gestione sostenibile della risorsa idrica e del verde urbano a scala di edificio. In particolare, ponendo l'attenzione sui consumi idrici domestici si è visto in quali utilizzi civili è possibile impiegare acqua non potabile. Tra i tanti vi è l'impiego di acqua per usi esterni ed irrigazione.

Lo scopo è determinare il volume giornaliero di acqua necessario al mantenimento del verde privato, che combinato con il volume di acqua raccolto mediante una apposita superficie di raccolta consente di definire le dimensioni di una cisterna tramite la quale si va a creare un sistema di raccolta delle acque piovane che vada a minimizzare la richiesta idrica all'acquedotto e la riduzione dei deflussi in fognatura.

La trattazione oltre che in termini tecnici è stata sviluppata anche in termini economici in modo da condurre un'analisi di fattibilità.

L'avanzamento scientifico e tecnologico, insieme alla consapevolezza che le risorse vadano gestite in maniera sostenibile sono le basi per avviare una trasformazione che vada a migliorare il Paese.

## Sommario

<b>1</b>	<b>Introduzione</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Acqua, Terra ed ecosistema</b> .....	<b>8</b>
2.1	Risorsa idrica .....	8
2.2	Disponibilità idrica a scala mondiale, europea ed italiana .....	9
<b>3</b>	<b>Consumo idrico domiciliare</b> .....	<b>13</b>
3.1	Ciclo integrato dell'acqua .....	13
3.2	Consumo idrico negli edifici .....	14
3.3	Tariffario idrico italiano .....	14
<b>4</b>	<b>Il verde urbano</b> .....	<b>17</b>
4.1	Definizione e funzioni .....	17
4.2	Percorso normativo riguardante il verde urbano in Italia .....	17
4.3	Gestione sostenibile del verde privato e della risorsa idrica .....	19
<b>5</b>	<b>Aspetti teorici sul fabbisogno idrico del verde</b> .....	<b>20</b>
5.1	Irrigazione e domanda idrica delle piante .....	20
5.2	Calcolo dell'evaporato .....	20
5.3	Calcolo dell'evapotraspirazione potenziale ETP .....	22
5.4	Calcolo dell'evaporato da terreno nudo .....	22
5.5	Calcolo dell'evapotraspirazione massima ETM ed effettiva ETE .....	22
5.6	Calcolo degli apporti di falda per la correzione dell'ETE .....	23
5.7	Valutazione della pioggia utile .....	24
5.8	Parametri caratteristici del terreno .....	24
5.9	Calcolo del volume irriguo .....	25
5.10	Valutazione della domanda idrica .....	26
<b>6</b>	<b>Area di studio</b> .....	<b>28</b>
6.1	Inquadramento territoriale .....	28
6.2	Coefficienti colturali e fasi fenologiche .....	29
6.3	Flora Locale .....	31
6.4	Dati metereologici .....	32
<b>7</b>	<b>Linee guida per la progettazione delle aree verdi private</b> .....	<b>35</b>
7.1	Criterio dell'aspetto perimetrale dell'area .....	35
7.2	Criterio degli orti nel verde .....	37
7.3	Criterio dell'aspetto ambientale .....	37
7.3.1	Modello di verde n. 1: verde di solo prato .....	37
7.3.2	Modello di verde n. 2: verde di solo orto .....	37
7.3.3	Modello di verde n. 3: verde di prato con frutteto .....	38
7.3.4	Modello di verde n. 4: verde di prato, conifere ed arbusti .....	38
<b>8</b>	<b>Casi studio</b> .....	<b>40</b>
8.1	Superficie di raccolta .....	40
8.2	Terreno di progetto .....	40
8.2.1	Superficie di stoccaggio .....	40
8.2.2	Superficie verde .....	41
8.3	Sistemi ospitanti .....	41
<b>9</b>	<b>Progettazione sistemi di raccolta</b> .....	<b>42</b>
9.1	Dimensionamento basato sulla specifica tecnica UNI/TS 11445:2012 .....	42
9.1.1	Modello n. 1: verde di solo prato .....	44
9.1.2	Modello n. 2: verde di solo orto .....	48

9.1.3	Modello n. 3: verde di prato con frutteto .....	49
9.1.4	Modello n. 4: verde di prato con arbusti .....	50
<b>9.2</b>	<b>Dimensionamento del sistema di recupero dell'acqua piovana mediante il modello YAS.....</b>	<b>52</b>
9.2.1	Modello n. 1: verde di solo prato .....	55
9.2.2	Modello n. 2: verde di solo orto .....	56
9.2.3	Modello n. 3: verde di prato con frutteto .....	57
9.2.4	Modello n. 4: verde di prato con arbusti .....	58
<b>9.3</b>	<b>Dimensionamento basato sulla minimizzazione dei costi.....</b>	<b>58</b>
9.3.1	Sistema di raccolta KESSEL .....	59
9.3.2	Costi fissi.....	62
9.3.3	Costi distribuiti.....	64
9.3.4	Funzione di costo: soluzione per la dimensione ottimale di cisterna .....	65
9.3.5	Modello n. 1: verde di solo prato .....	65
9.3.6	Modello n. 2: verde di solo orto .....	66
9.3.7	Modello n. 3: verde di prato con frutteto .....	67
9.3.8	Modello n. 4: verde di prato con arbusti .....	68
<b>10</b>	<b>Considerazioni .....</b>	<b>69</b>
<b>10.1</b>	<b>Efficienza a confronto.....</b>	<b>69</b>
<b>10.2</b>	<b>Scelta della cisterna.....</b>	<b>69</b>
10.2.1	Modello n. 1: verde di solo prato .....	70
10.2.2	Modello n. 2: verde di solo orto .....	71
10.2.3	Modello n. 3: verde di prato con frutteto .....	72
10.2.4	Modello n. 4: verde di prato con arbusti .....	72
<b>10.3</b>	<b>Costi a confronto.....</b>	<b>73</b>
<b>10.4</b>	<b>Confronto con e senza sistema di raccolta .....</b>	<b>73</b>
10.4.1	Modello n. 1: verde di solo prato .....	74
10.4.2	Modello n. 2: verde di solo orto .....	75
10.4.3	Modello n. 3: verde di prato con frutteto .....	75
10.4.4	Modello n. 4: verde di prato con arbusti .....	76
<b>10.5</b>	<b>Ammortamento dell'investimento .....</b>	<b>76</b>
10.5.1	Modello n. 1: verde di solo prato .....	76
10.5.2	Modello n. 2: verde di solo orto .....	77
10.5.3	Modello n. 3: verde di prato con frutteto .....	78
10.5.4	Modello n. 4: verde di prato con arbusti .....	78
<b>11</b>	<b>Conclusioni.....</b>	<b>79</b>
<b>12</b>	<b>Bibliografia.....</b>	<b>80</b>
<b>13</b>	<b>Sitografia.....</b>	<b>81</b>

# 1 Introduzione

Oggi giorno, un tema delicato è quello del rapporto tra l'uomo e l'ambiente. Nel corso della storia le interazioni tra l'umanità e la natura, mediante azioni trasformatrici e a volte distruttrici, hanno avuto lo scopo di migliorare le condizioni di vita della specie umana.

Man mano che lo stile di vita migliorava, la popolazione aumentava. Con un numero maggiore di individui ci si è ritrovati ad un incremento del consumo delle risorse, alcune delle quali sono limitate, per cui diventa necessario adottare strategie per rallentare il consumo di queste ultime.

Facendo riferimento all'acqua, al giorno d'oggi, uno dei problemi con il quale bisogna fare i conti è quello della scarsità idrica. In questo lavoro di tesi si è deciso di affrontare il problema focalizzando l'attenzione sul consumo idrico per uso civile, in particolare per l'irrigazione del verde privato.

Difatti, lo scopo di quest'elaborato è quello di progettare un sistema di raccolta delle acque piovane nella Marsica, regione storico-geografica dell'entroterra abruzzese, per la mitigazione dell'uso di acqua potabile nel mantenimento del verde privato.

Nel secondo capitolo è stata data una definizione della risorsa idrica, di come essa è distribuita sulla Terra e quali sono gli utilizzi nei quali viene impiegata.

Nel terzo capitolo, tra i diversi usi si è posta l'attenzione su quello domestico, andando a vedere tutti i possibili impieghi dell'acqua a scala di edificio, come quello per il WC, per la lavatrice, per l'irrigazione del verde urbano ecc.

A questo punto, nel quarto capitolo, è stato approfondito il concetto di verde urbano, dandone una definizione, indicandone le funzioni e tutti i riferimenti normativi a riguardo, con lo scopo di delineare uno schema per la sua progettazione e gestione. Dovendo dimensionare un sistema di raccolta delle acque piovane per il mantenimento del verde privato è necessario stimare il fabbisogno idrico del verde che si vuole gestire. Per cui, nel quinto capitolo, sono state introdotte le formule necessarie al calcolo della domanda idrica annua relativa ad una superficie di verde. Nelle equazioni, descritte in questo capitolo, compaiono termini che variano in base alla localizzazione geografica, come i dati meteorologici e i parametri relativi alle colture tipiche dell'area.

Nel sesto capitolo si è esaminato il caso di studio, sono state appunto indicate tutte quelle colture autoctone della Marsica e le serie storiche di dati meteorologici relative al trentennio che va dal 1950 al 1979.

Nell'approccio delineato nel quarto capitolo per la progettazione e gestione del verde, un aspetto chiave è quello ambientale, ovvero il verde in progetto deve essere in continuità con le aree verdi contigue. Dato che nella regione di studio le colture più diffuse sono prati di fetsuca, orti e frutteti, per preservare l'omogeneità del verde, nel settimo capitolo, sono stati pensati quattro modelli di verde: uno di solo prato, uno di solo orto, uno di frutteto ed uno di prato con arbusti.

Inoltre, per il dimensionamento di un serbatoio di accumulo dell'acqua piovana, oltre alla domanda d'acqua, occorre valutare anche quanta acqua è possibile raccogliere. Supponendo che l'acqua venga raccolta dal tetto dell'edificio presente nella stessa particella in cui vi è il verde, nell'ottavo capitolo sono stati definiti diversi sistemi ospitanti, ognuno dei quali è costituito da una superficie di verde ed una superficie di raccolta, che variano di volta in volta, impiegati poi nei calcoli per il caso studio considerato.

Nel nono capitolo sono stati presentati due diversi approcci per il dimensionamento dei sistemi di raccolta che indicano i calcoli da eseguire sui sistemi ospitanti determinati nell'ottavo capitolo ed i risultati ottenuti per ciascun modello di verde. Inoltre, sui risultati ottenuti è stata condotta un'analisi dei costi, finalizzata ad individuare la soluzione che minimizzi le spese.

Nel decimo capitolo sono stati commentati i risultati ottenuti ed esposte considerazioni personali a riguardo.

Nel capitolo finale sono state scritte le conclusioni.

## 2 Acqua, Terra ed ecosistema

In questo capitolo viene introdotta la risorsa idrica andando a vedere in quante e quali forme è disponibile sulla Terra, come è distribuita e quali sono gli utilizzi nei quali viene impiegata.

### 2.1 Risorsa idrica

L'espressione risorsa idrica indica le varie forme di disponibilità dell'acqua, sostanza chiave di tutte le funzioni vitali ed indispensabile all'ecosistema nel quale viviamo.

La superficie della Terra risulta per il 71% coperta dall'acqua, suddivisa come riportato nell'immagine in Figura 1. [1]

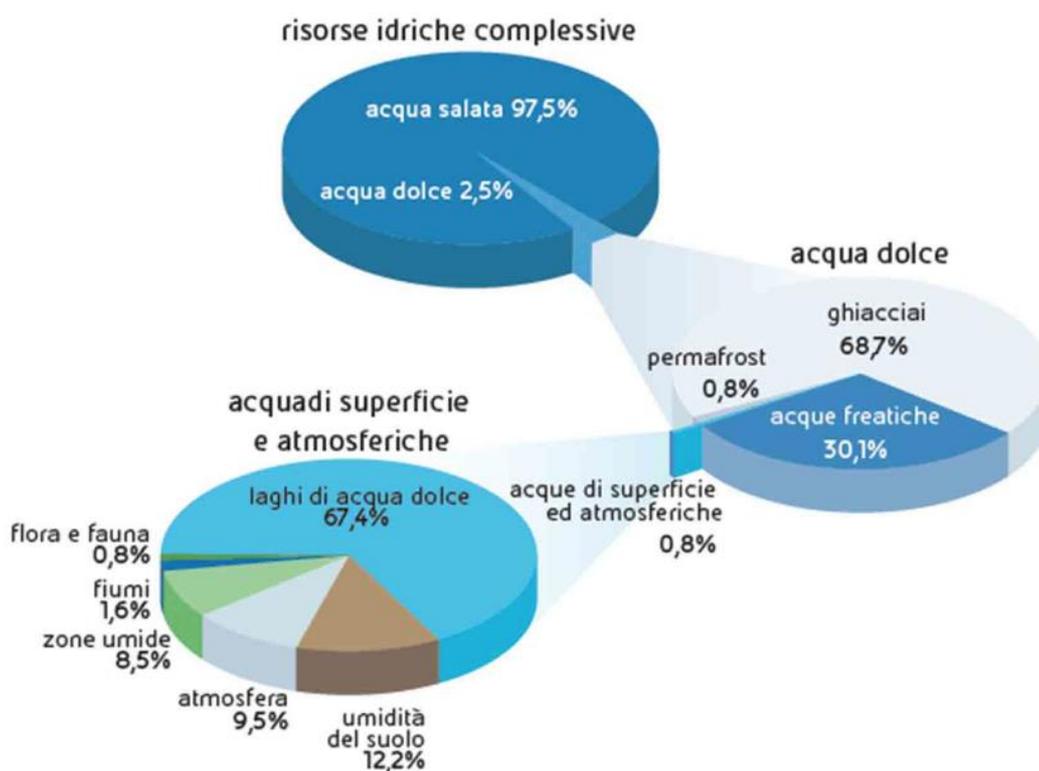


Figura 1: Distribuzione dell'acqua sulla Terra [1].

La distribuzione delle risorse idriche sul pianeta è molto irregolare, infatti, al tempo stesso può essere abbondante e disponibile in una zona e scarsa o indisponibile in un'altra. Questo comporta un'irregolare distribuzione del consumo di acqua legata anche allo sviluppo del paese e del clima. Il consumo di acqua per settore, nel mondo, in Europa ed in Italia è stato riportato nella Figura 2 e nella Figura 3.

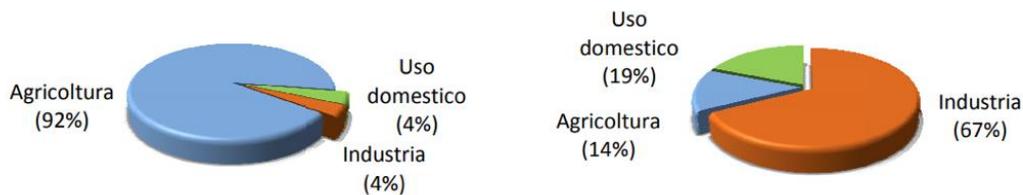


Figura 2: Consumo di acqua per settore, nel mondo a sinistra ed in Europa a destra [I].

In Figura 2 è possibile vedere come a scala mondiale l'acqua impiegata nel settore agricolo è molto maggiore rispetto a quella impiegata nell'industria, mentre per l'Europa è l'esatto opposto.

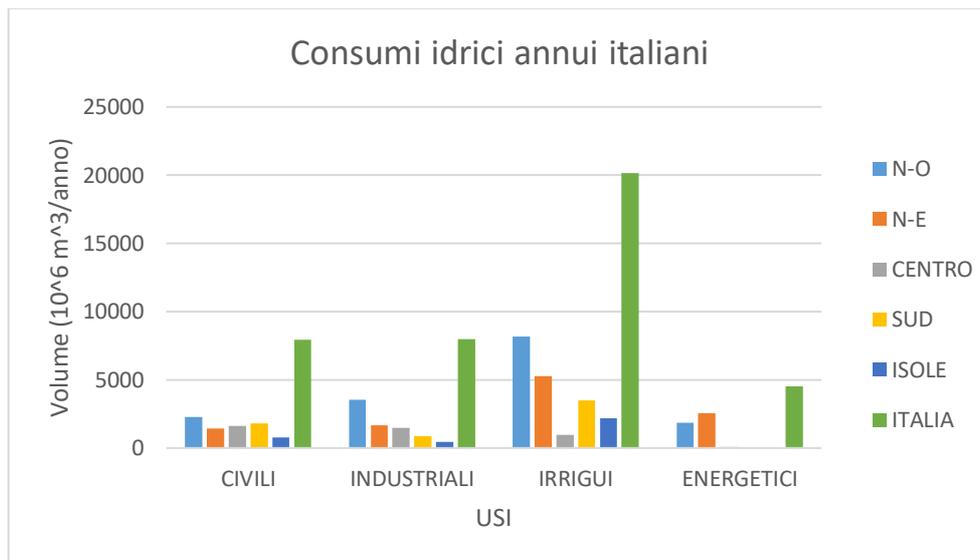


Figura 3: Consumi annui per settore in diverse zone d'Italia [II].

In Figura 3, invece, è possibile constatare che le zone in cui è stata suddivisa la penisola italiana sono in tutto 6. L'area N-O è costituita dalle Regioni Piemonte, Valle d'Aosta, Lombardia e Liguria. L'area N-E da Trentino alto Adige, Friuli Venezia Giulia, Veneto ed Emilia Romagna. Il CENTRO è rappresentato dalla Toscana, il Lazio, l'Umbria e le Marche. Il SUD è costituito da Abruzzo, Molise, Campania, Puglia, Calabria e Basilicata. Le ISOLE sono Sardegna e Sicilia.

Di tutte le forme viste in Figura 1, all'uomo interessa l'acqua potabile, che, col passare degli anni, diventa sempre più scarsa in rapporto all'aumento della popolazione mondiale e per effetto dell'inquinamento. Inoltre, sempre dall'osservazione della Figura 1, è possibile vedere come il 69% dell'acqua dolce è sotto forma di ghiacciai, per cui non disponibile all'utilizzo istantaneo. Solo lo 0,3% dell'acqua è catturabile direttamente dall'uomo, ma essendo sotterranea risulta un'operazione laboriosa.

## 2.2 Disponibilità idrica a scala mondiale, europea ed italiana

La crescita demografica, in meno di un secolo, ha portato ad una riduzione della disponibilità idrica per abitante all'anno maggiore del 70%.

Nel 2010 su una popolazione mondiale di 6 miliardi il 23% circa non aveva il diritto all'acqua. Inoltre, entro il 2030 è prevista una popolazione mondiale di 8 miliardi, di cui la metà non avrà diritto all'acqua.

Nel corso degli anni il valore pro-capite di acqua dolce è diminuito su tutto il pianeta. Di seguito, nella Figura 4 e Figura 5, si riportano i valori della disponibilità idrica per abitante riferiti a due annate passate distanti tra loro più di 50 anni, per il mondo e l'Europa.

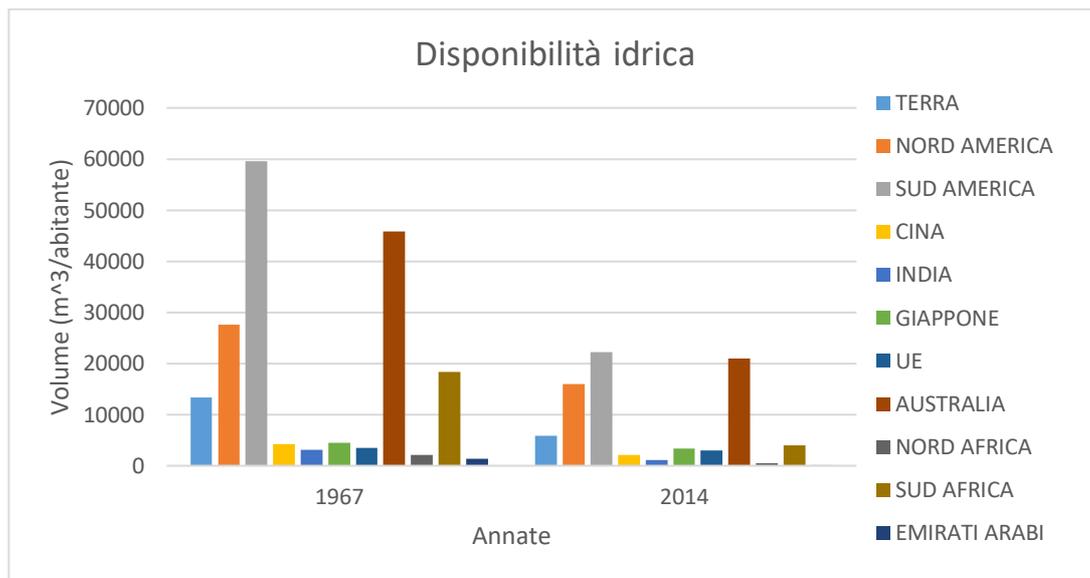


Figura 4: Acqua dolce pro-capite nel mondo [I].

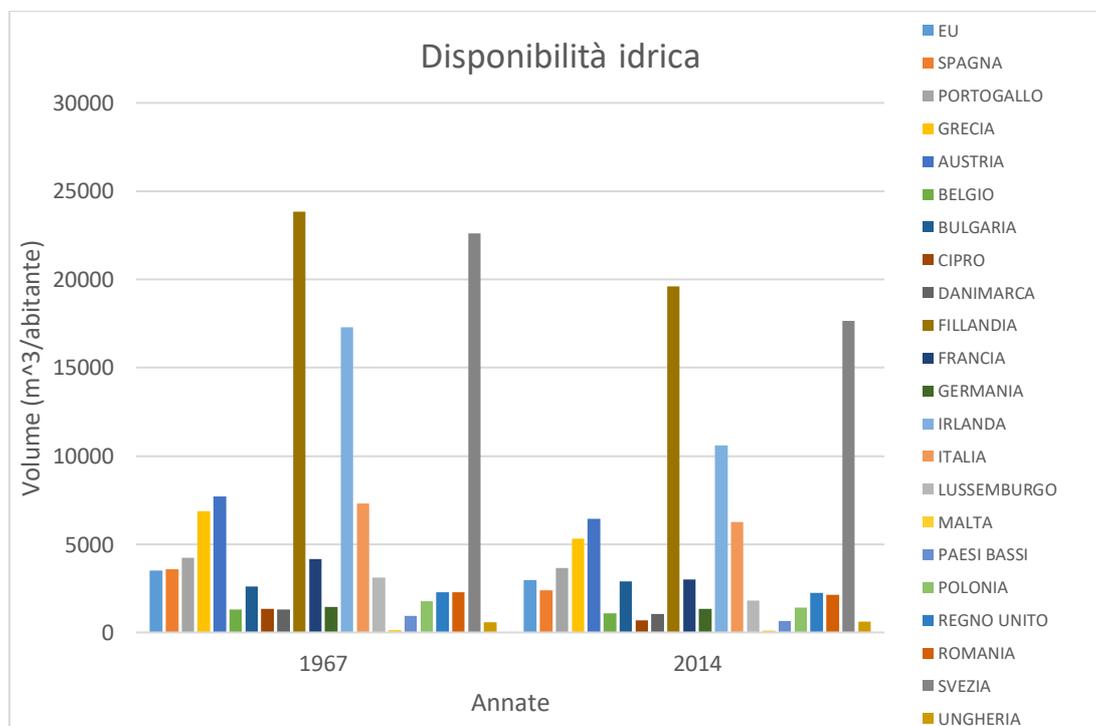


Figura 5: Acqua dolce pro-capite nell'Unione Europea [I].

La variabilità dei dati riportati in Figura 4 è legata a molteplici fattori, come lo stato di sviluppo del paese, la densità demografica e la posizione geografica.

I dati in Figura 5 mostrano la variazione che il volume idrico pro-capite ha subito tra le due annate. I casi interessati da un incremento sono la Bulgaria e l'Ungheria. Tutti gli altri paesi europei hanno avuto un decremento, che risulta preoccupante per Cipro ed il Lussemburgo dove è circa del 50%. Nel caso dell'Italia la riduzione è stata del 15%. Il decremento della disponibilità idrica osservato, insieme alla crescente domanda d'acqua evidenzia quanto sia essenziale iniziare ad utilizzare le risorse idriche in maniera più efficiente a tutti i livelli.

Inoltre, per quanto riguarda l'Italia, la disponibilità idrica, riferita al 1999, è stata riportata nella Figura 6 in modo da avere un'idea di come sia effettivamente distribuita l'acqua nella penisola.

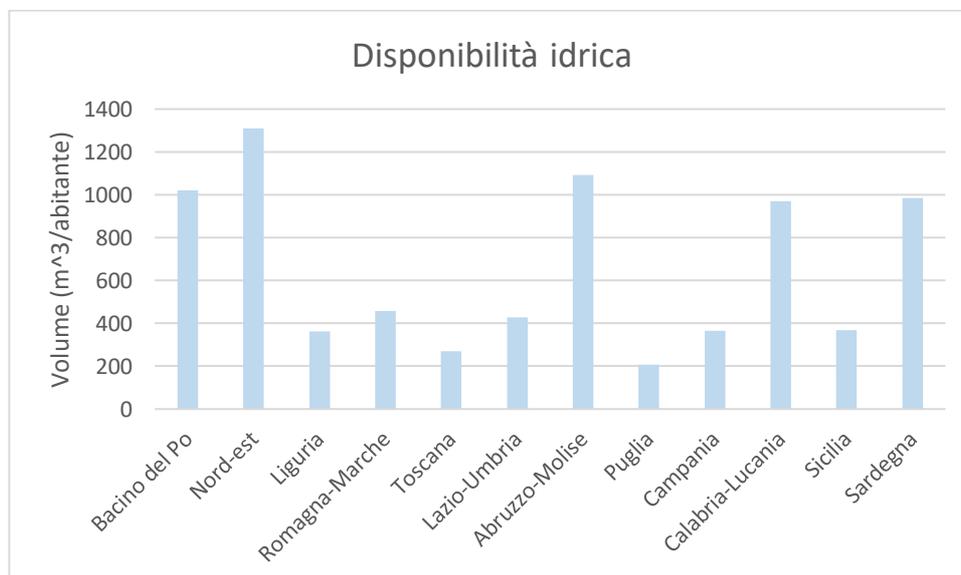


Figura 6: Distribuzione della risorsa idrica in Italia [III].

A differenza del NORD-EST di Figura 3, quello nel grafico di Figura 6 non comprende la Regione Emilia Romagna che ricade nel Bacino del Po. I valori più elevati li troviamo al nord Italia, principalmente ad est, in Abruzzo-Molise ed in Calabria. Per quanto riguarda le isole è curioso come in Sardegna il valore sia più del doppio di quello registrato per la Sicilia.

Il margine di miglioramento in termini di consumo idrico è elevato per quanto riguarda gli utilizzi civili sia interni che esterni. Difatti, è possibile adottare soluzioni tecnologiche facilmente installabili che vadano a ridurre i consumi idrici in modo da non peggiorare la qualità della vita degli abitanti. Tra queste tecnologie vi sono i limitatori di flusso, i frangi flusso, i limitatori di pressione, rubinetti elettronici e termostatici, cassette WC a doppio pulsante, il riuso delle acque piovane ecc.

Proprio per questo, nei prossimi capitoli si darà attenzione al consumo di acqua potabile nell'utilizzo domestico legato al mantenimento del verde privato, in modo da stimare il volume di acqua necessario per il mantenimento di quest'ultimo per poter avviare la scelta del serbatoio idoneo per la raccolta di acqua piovana al fine di sostituire, totalmente o in parte, l'acqua potabile, riducendone il consumo.

### 3 Consumo idrico domiciliare

Tra i vari utilizzi visti nel precedente capitolo ci si è soffermati su quello civile dell'acqua. A scala di edificio l'acqua viene impiegata per diversi scopi, di cui alcuni potrebbero essere svolti anche mediante acqua non potabile in modo da ridurre gli sprechi di acqua potabile. Così facendo si ha una riduzione della richiesta idrica all'acquedotto andando a ridurre le spese economiche dovute al costo dell'acqua in bolletta.

#### 3.1 Ciclo integrato dell'acqua

Il ciclo integrato dell'acqua consiste nell'insieme di tutte le attività che consentono di avere acqua potabile in casa e di scaricare correttamente le acque sporche.

Il ciclo è costituito da diverse fasi, riportate e descritte nella Figura 7.



Figura 7: Ciclo integrato dell'acqua [III].

A scala urbana il problema principale di spreco di acqua è legato all'approvvigionamento, per via dell'elevato numero di perdite localizzate e distribuite lungo la rete di distribuzione. Dall'osservazione dello schema di Figura 7 si evince come tale modello non preveda un sistema di raccolta e riutilizzo di acque piovane. Per tale ragione si è deciso di studiare con attenzione il consumo domestico.

### 3.2 Consumo idrico negli edifici

Oggi giorno, molte abitudini domestiche vengono considerate come non modificabili dalla maggior parte dei cittadini. Un aspetto fondamentale è legato agli impianti a disposizione nelle abitazioni, che nella maggior parte dei casi non sono compatibili con gli interventi di mitigazione degli sprechi, necessitando così di una ulteriore modifica o completa sostituzione a spese del proprietario.

Ad incentivare il consumo eccessivo nel domicilio è il basso costo dell'acqua in bolletta. Di seguito, nella Tabella 1, sono stati riportati i vari utilizzi della risorsa idrica in ambiente domestico.

*Tabella 1: Consumi idrici domestici [2].*

Tipo di utilizzo	Acqua impiegabile	[%]
Bagno ed igiene personale	POTABILE	32
WC	NON POTABILE	30
Cucina: cibo	POTABILE	12
Lavatrice	NON POTABILE	12
Irrigazione e/o usi esterni	NON POTABILE	8
Lavastoviglie	POTABILE	3
Cucina: lavabi	NON POTABILE	3

È possibile osservare come per più del 50% dei consumi idrici domestici [2], sarebbe sufficiente acqua non potabile. Da qui nasce l'obiettivo della tesi di mitigazione del consumo di acqua potabile nell'irrigazione e/o usi esterni mediante la progettazione di un sistema di raccolta delle acque piovane. Proprio per questa ragione, nel prossimo capitolo viene approfondito il concetto di verde urbano.

### 3.3 Tariffario idrico italiano

In questo paragrafo si è trattato l'aspetto economico legato al consumo di acqua presa dalla rete acquedottistica. Con la Delibera 664/2015 dell'Autorità per l'energia Elettrica il Gas e il Sistema idrico è entrato in vigore il nuovo metodo tariffario idrico. La bolletta presenta due quote, una fissa ed una variabile per i seguenti servizi:

- Acquedotto;
- Fognatura;
- Depurazione;

Il Servizio Idrico Integrato (SII) segue una procedura per determinare il costo della bolletta dell'acqua, ma visto che i gestori della risorsa idrica in Italia sono diversi il tariffario idrico italiano non risulta omogeneo su tutto il territorio nazionale.

Nel caso della zona di studio, citata nel Capitolo 1, la Marsica, ad occuparsi della gestione del sistema idrico integrato è il Consorzio Acquedottistico Marsicano. Consultando il sito <https://www.cam->

[spa.com/](http://spa.com/) è possibile accedere alla voce tariffario in cui sono presenti due tipologie di tariffe per il 2020.

La prima è una tariffa forfettaria secondo la delibera ERSI n. 1/2019 del 19/02/2019, riportata nella sottostante Tabella 2.

La seconda, sempre secondo la stessa delibera, introduce una tariffa a consumo, riportata nella Tabella 3. Essa presenta due quote, una fissa annuale, per i tre servizi di acquedotto, fognatura e depurazione ed una quota variabile in base al consumo. Le quote fisse vengono espresse in €/anno, mentre quelle variabili, essendo legate al consumo, vengono espresse in €/m<sup>3</sup>. Inoltre, in base ai m<sup>3</sup>/anno sono previste diverse tariffe. Per una migliore gestione della risorsa idrica non è sufficiente istruire i consumatori solo sui vantaggi ambientali, ma diventa fondamentale la motivazione economica.

Nel caso in cui venga adottata la tariffa a consumo, la formula utilizzata per il calcolo della quota fissa è:

$$C_{fisso} = T_A + T_F + T_D \left[ \frac{\text{€}}{\text{anno}} \right] \quad (3.1)$$

in cui  $T_A$  [€/anno] indica la tariffa fissa legata all'acquedotto,  $T_F$  [€/anno] quella fissa legata alla fognatura e  $T_D$  [€/anno] quella fissa relativa alla depurazione. Invece, la formula per il calcolo della quota variabile è:

$$C_{variabile} = C_a \cdot (t_A + t_F + t_D) \left[ \frac{\text{€}}{\text{anno}} \right] \quad (3.2)$$

dove  $C_a$   $\left[ \frac{\text{m}^3}{\text{anno}} \right]$  è il consumo annuale,  $t_A$   $\left[ \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right]$  è la tariffa variabile legata all'acquedotto,  $t_F$   $\left[ \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right]$  è quella legata alla fognatura e  $t_D$   $\left[ \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right]$  è quella legata alla depurazione.

La finalità del tariffario è quella di raggiungere cifre per gli investimenti da realizzare, per la gestione e per la manutenzione della rete idrica, per il canone ed il guadagno del gestore.

Con il riutilizzo dell'acqua piovana si andranno a ridurre i consumi di acqua potabile, per cui, in seguito, sarà necessario un confronto tra la situazione con e senza il sistema di raccolta in modo da poter analizzare i due casi nel dettaglio e giungere a conclusioni concrete.

Tabella 2: Tariffa a forfait dal Consorzio Acquedottistico Marsicano [IV].

Tariffa Forfait 2020	acqua 2020 [€]	fogna 2020 [€]	depuratore 2020 [€]	tot. Tariffa [€]
Famiglie, residenti	164,044	34,558	98,813	297,415
Quota fissa annuale per utente*	24,379	5,835	12,19	42,404
				339,819
Famiglie non residenti	231,944	34,558	98,813	365,315
Quota fissa annuale per utente	24,379	11,671	12,19	48,24
				413,555

\*L'utente è l'intestatario della bolletta

Tabella 3: Tariffa a consumo dal Consorzio Acquedottistico marsicano [IV].

USO	QUOTE	SERVIZIO	CONSUMO [m <sup>3</sup> /anno]	PREZZO*
DOMESTICO RESIDENTE	VARIABILI [€/m <sup>3</sup> ]	Acquedotto	0-60	1,022412
		Fognatura		0,246506
		Depurazione		0,704302
		Acquedotto	60-180	1,278015
		Fognatura		0,246506
		Depurazione		0,704302
		Acquedotto	>180	2,169109
		Fognatura		0,246506
		Depurazione		0,704302
	FISSE [€/anno]	Acquedotto	-	24,51
		Fognatura	-	5,86
		Depurazione	-	12,25
CONDOMINIALE	VARIABILI [€/m <sup>3</sup> ]	Acquedotto	>0	1,278015
		Fognatura		0,256506
		Depurazione		0,70432
	FISSE [€/anno]	Acquedotto	-	24,51
		Fognatura	-	5,86
		Depurazione	-	12,25
DOMESTICO NON RESIDENTE	VARIABILI [€/m <sup>3</sup> ]	Acquedotto	0-180	1,653212
		Fognatura		0,246506
		Depurazione		0,704302
		Acquedotto	>180	2,169109
		Fognatura		0,246506
		Depurazione		0,704302
	FISSE [€/anno]	Acquedotto	-	24,51
		Fognatura	-	11,72
		Depurazione	-	12,25

\* il prezzo è in  $[\frac{€}{m^3}]$  per le quote variabili, mentre è in  $[\frac{€}{anno}]$  per le quote fisse.

## **4 Il verde urbano**

In questo capitolo è stato approfondito il discorso del verde urbano, dandone una definizione, esponendone le sue funzionalità e riportando la normativa vigente a riguardo.

Come già detto nel Paragrafo 2.2, nel futuro ci sarà un aumento della popolazione mondiale. Secondo lo studio di previsione condotto dalla United Nation nel 2010 circa il 70% della popolazione mondiale vivrà in aree urbane. Di conseguenza, l'urbanizzazione sarà elevata e si avrà una riduzione della ricchezza e numero di specie di piante ed animali. Il vivere in un ambiente antropico con poche occasioni di interagire con la natura può influenzare in modo negativo il benessere. Quanto sopra esposto è stata una delle motivazioni per cui si è dedicata attenzione al verde urbano.

### **4.1 Definizione e funzioni**

Il verde urbano è il polmone della città e consiste in piccoli e/o grandi spazi dominati dal verde e dalla natura. Entrando nello specifico viene suddiviso in due categorie:

- Verde pubblico, costituito da parchi, viali alberati, aiuole, prati ecc.
- Verde privato, costituito da terreni ineditati, giardini, orti ecc.

Nel caso in cui sia assente si va ad incidere negativamente sul benessere psicologico dell'essere umano. Inoltre, a questo servizio sono state riconosciute diverse funzioni:

- Funzione ecologico ambientale con la mitigazione degli effetti dell'inquinamento, del degrado visivo e di impatto ambientale prodotto dalle attività antropiche, regolando il microclima e arricchendo le biodiversità;
- Funzione mitigativa del rischio idrogeologico;
- Funzione sanitaria, per via dell'effetto rincuorante, rilassante e riposante;
- Funzione sociale e ricreativa per la comunità che vi trascorre giornate all'insegna della natura, sviluppando nei bambini una cultura sul verde;
- Funzione estetica di arredo urbano per il mantenimento dell'equilibrio tra uomo e ambiente dal punto di vista visivo;

### **4.2 Percorso normativo riguardante il verde urbano in Italia**

Il tutto ha inizio con il Decreto 1444/68 del ministero dei lavori pubblici che ha introdotto nell'urbanistica il concetto degli standard di spazio minimo da destinare ai servizi. Per quanto concerne il verde pubblico e lo sport ammonta a 9 mq/ab. Alla prima legge in materia di verde urbano si arriva il 14 gennaio 2013 con la n.10 "Norme per lo sviluppo degli spazi verdi urbani" con la quale viene riconosciuto al patrimonio arboreo ed arbustivo un ruolo chiave per il miglioramento della qualità dell'aria. Inoltre, la suddetta istituisce il comitato per lo sviluppo del verde pubblico che fissi in un piano i criteri e le linee guida per la realizzazione di aree di verde pubblico.

Nel 28 dicembre 2015 con la legge n. 221 recante disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento delle risorse naturali, vengono introdotti i Criteri Ambientali Minimi (CAM) [V], definiti dal ministero dell'ambiente, volti a indirizzare verso una razionalizzazione dei consumi e acquisti individuando le opportune soluzioni progettuali. In termini di verde urbano, tra i CAM in vigore vi è quello riguardante il verde pubblico con il decreto del 10 marzo 2020 "Criteri ambientali minimi per il servizio di gestione del verde pubblico e la fornitura di prodotti per la cura del verde". Nello specifico suggerisce la selezione di specie vegetali adeguate al clima e appartenenti alla flora italiana per la progettazione e/o riqualificazione di aree verdi. Inoltre, suggerisce di individuare le migliori pratiche ambientali nella progettazione prendendo in considerazione una gestione sostenibile mediante impianti di irrigazione a ridotto consumo idrico. Fino ad ora sono state introdotte solo le norme riferite al verde pubblico, ma visto che il verde urbano è costituito anche dal verde di proprietà privata si hanno ulteriori norme e regolamenti. Come per il verde pubblico, il primo riferimento per il verde privato è presente nel decreto 1444/68, dove, in base all'area richiesta per un intervento urbanistico di iniziativa privata ed in base alla superficie coperta  $S_{cop}$ , a quella fondiaria  $S_f$  e a quella di permeabilità profonda  $S_p$ , vengono definiti degli indici per conseguire livelli di qualità e controllo del tessuto urbano. [3] I valori di questi indici variano in base alla destinazione d'uso del suolo e sono noti in letteratura. Tali indici sono di due tipi, dotazionali e di copertura, i quali sono:

- Indice di permeabilità per il controllo del carico idraulico sulle reti di smaltimento e le economie dei collettori

$$I_p = \frac{S_p}{S_f} \quad (4.1)$$

- Indice di dotazione fondiaria arborea e/o arbustiva che precisa quanti alberi  $n_a$  per unità di superficie fondiaria

$$D_a = \frac{n_a}{S_f} \quad (4.2)$$

- Indice di dotazione di siepi che indica i metri di siepe sul perimetro fondiario

$$D_s = \frac{l_s}{P_f} \quad (4.3)$$

- Indice di copertura arboreo/arbustiva, dato dall'area delle chiome a maturità su superficie fondiaria

$$FA = \frac{S_{ca}}{S_f} \quad (4.4)$$

I valori dei sopra introdotti indici, come già detto, sono dati al TITOLO II Cap. 4 “Disciplina urbanistica: divisione in zone e definizione degli indici urbanistico edilizi” e variano in base al tessuto, residenziale o per attività. Per comprendere il loro impiego è possibile fare riferimento al seguente esempio: scelta una superficie fondiaria  $S_f$  in cui voler realizzare una superficie coperta  $S_{cop}$  è possibile ricavare i valori di  $n_a$ ,  $S_p$ ,  $l_s$  ecc. a partire dai valori noti degli indici sopra introdotti.

Altre norme limitano la libertà dei proprietari in funzione del beneficio pubblico per questioni di sicurezza (potatura, intralcio alla visibilità, interferenze con il pubblico ecc.). I riferimenti sono contenuti nella legge n.10 del 2013, Art. 1 attuazione del protocollo di Kyoto, Art. 6 sviluppo spazi verdi ed Art.7 alberi monumentali. La n.10 del 2013 prevede obblighi per le amministrazioni comunali quali il bilancio arboreo comunale, censimento e consistenza arborea. Per il verde privato, invece, prevede che i comuni adottino misure atte a favorire risparmi ed efficienza in termini di risorse. In materia di verde privato, per gli orti urbani vi è l’Art,42 “Orti Urbani” del RUE in cui vi sono i requisiti minimi per la realizzazione dello stesso.

### **4.3 Gestione sostenibile del verde privato e della risorsa idrica**

Dato che le indicazioni legislative in materia di verde privato sono per lo più finalizzate alla sicurezza urbanistica che verso una progettazione sostenibile, in questo paragrafo si è cercato di realizzare una sorta di linea guida in cui sono stati definiti tre step logici da mettere in pratica per progettare una superficie verde inserita in una particella in cui è già presente un edificio mediante il quale viene raccolta l’acqua piovana.

Nel caso in cui siano noti i metri quadrati di terreno in cui si vuole predisporre il futuro giardino/orto bisognerebbe:

- Selezionare le specie vegetali autoctone da inserirvi, in base alla localizzazione geografica del luogo di studio;
- Definire i metri quadri di verde, i metri lineari di siepi ed il numero di alberi costituenti il terreno per poi passare alla stima della domanda idrica;
- Noto il fabbisogno idrico delle colture si va a progettare il sistema di raccolta dell’acqua piovana a scala di edificio a cui corrisponde una nota superficie di raccolta;

In questo modo, avendo una stima accurata del fabbisogno idrico del verde studiato si vanno ad evitare consumi sovrabbondanti di acqua e allo stesso tempo, impiegando acqua non potabile è stata concretizzata una gestione sostenibile della risorsa idrica.

## 5 Aspetti teorici sul fabbisogno idrico del verde

In questo capitolo sono state introdotte le formule per il calcolo del fabbisogno idrico di una superficie di verde [4].

### 5.1 Irrigazione e domanda idrica delle piante

Il termine irrigazione indica la pratica di somministrare acqua ai terreni per la produzione e/o il mantenimento delle piante. Quindi, lo scopo è quello di assecondare le reali esigenze fisiologiche delle piante, evitando sprechi e garantendo una produzione di qualità e quantità.

A livello di natura urbana, le domande a cui occorre dare risposta riguardano il quanto ed il quando irrigare. La relazione chiave è:

$$T = \frac{V_i}{ETE - P_u - A_f} \quad (5.1)$$

in cui  $T$  [–] è il turno ed indica il numero di giorni intercorrenti tra due successive irrigazioni,  $V_i$  è il volume irriguo  $\left[\frac{m^3}{ha}\right]$  e rappresenta il quantitativo unitario di acqua da somministrare alla coltura

mentre l'evapotraspirazione effettiva è rappresentata dall'ETE  $\left[\frac{mm = \frac{10^3 \cdot m^3}{ha}}{giorno}\right]$ , la pioggia utile da  $P_u \left[\frac{m^3}{giorno}\right]$  e l'apporto in falda da  $A_f \left[\frac{m^3}{giorno}\right]$ .

In quest'elaborato il turno è stato assunto pari a  $T = 1$ . Questo implica che la superficie di verde deve essere irrigata ogni giorno dell'anno. Questa scelta è stata adottata in modo da poter eseguire un bilancio idrico a scala giornaliera per la determinazione del consumo di acqua da parte del verde privato. L'obiettivo di questo capitolo, infatti, è quello di calcolare il volume irriguo giornaliero in modo da poter determinare la domanda idrica annua per una superficie di verde.

### 5.2 Calcolo dell'evaporato

Il termine evaporato, nei dizionari di lingua italiana, è solitamente indicato come un aggettivo dato ad un soggetto che viene privato della parte acquosa per via dell'evaporazione. Il passaggio di un liquido allo stato di vapore è legato a grandezze come temperatura, umidità relativa, parametri legati alla posizione geografica e alle condizioni del liquido. Nel caso dell'acqua, in natura, è possibile distinguere due condizioni, quella di acqua libera e quella di acqua non libera. Per acqua libera si intende che essa sia a contatto diretto con l'atmosfera.

In agrometeorologia per stimare l'evapotraspirazione, ovvero la quantità d'acqua che dal terreno passa nell'aria allo stato di vapore, in modo da determinare la domanda idrica delle coltivazioni, vengono utilizzati degli strumenti chiamati evaporimetri.

Tra i diversi modelli di evaporimetri vi è l'evaporimetro di classe A, riportato in Figura 8, sul quale è basato il calcolo dell'evaporato secondo la formula di Tombesi-Luciani:

$$EV = a \cdot T_{med}^{0,9} \cdot 10^{-0,008 \cdot u_{med}} \cdot F \quad (5.2)$$

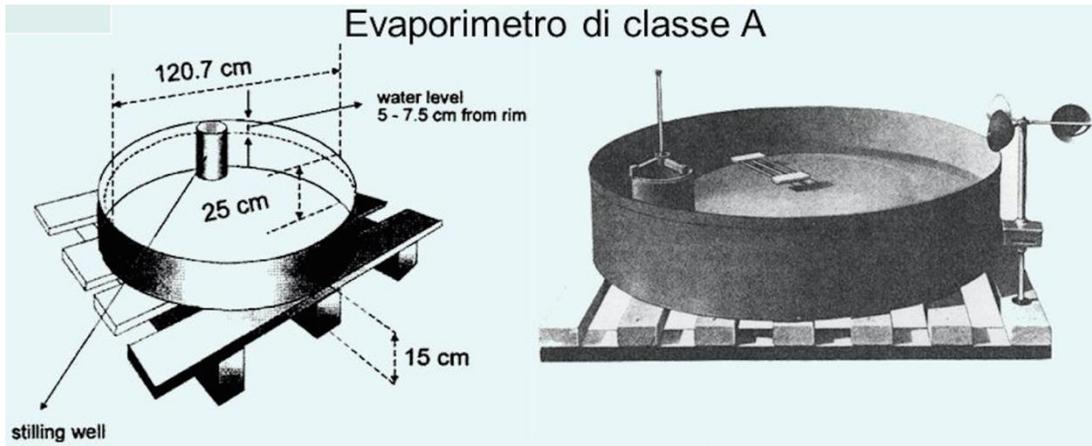


Figura 8: Evaporimetro di classe A.

in cui  $EV \left[ \frac{mm}{giorno} \right]$  è l'acqua libera evaporata da evaporimetro di classe A,  $a$  è una costante ambientale che è pari ad 1 se considerata annualmente, altrimenti assume valori mensili riportati nella Tabella 4 insieme al fattore astronomico di Thornawaite  $F$  che varia anch'esso mensilmente e con la longitudine,  $T_{med} [^{\circ}C]$  è la temperatura media giornaliera mentre  $u [\%]$  è l'umidità media giornaliera.

Tabella 4: Costanti mensili per il calcolo dell'evaporato [4].

MESE	a	F
GENNAIO	0,68	0,81
FEBBRAIO	0,95	0,82
MARZO	1,23	1,02
APRILE	1,33	1,125
MAGGIO	1,14	1,265
GIUGNO	1,11	1,285
LUGLIO	1	1,295
AGOSTO	0,98	1,2
SETTEMBRE	1	1,04
OTTOBRE	1	0,95
NOVEMBRE	0,84	0,805
DICEMBRE	0,75	0,765

Il termine  $EV$ , stimato mediante l'Equazione (5.2), è associato appunto all'evaporazione di acqua libera. In natura, nel caso di un terreno nudo, l'acqua in esso presente non è libera e inoltre, in alcuni casi il terreno risulta coperto da coltivazioni. Nel prossimo paragrafo viene approfondito questo aspetto in modo da poter arrivare a scrivere un'equazione che permetta appunto di calcolare la quantità d'acqua non libera evaporata.

### 5.3 Calcolo dell'evapotraspirazione potenziale ETP

Il volume di acqua non libera perso dall'unità di superficie di terreno coperto da una coltura standard di riferimento, estesa, bassa, in piena attività di sviluppo, ottimamente rifornita d'acqua e che ombreggi completamente il terreno viene indicato con il termine ETP che sta per evapotraspirazione potenziale.

A livello non aziendale, i valori di  $ETP$  [ $\frac{mm}{giorno}$ ] sono derivabili da quelli dell'evaporato di acqua libera  $EV$  calcolato mediante la formula:

$$ETP = K_p \cdot EV \quad (5.3)$$

in cui  $K_p$  [–] è il coefficiente di vasca che varia in base alle condizioni di copertura vegetale, umidità relativa media e vento. Dato che, nella zona di studio, nella maggior parte dei casi i giardini delle abitazioni sono a base di prato di festuca, si è deciso di porla come coltura di riferimento. Di conseguenza nella zona di studio il  $K_p$  di questa coltura è  $K_p = 0,8$  [6].

### 5.4 Calcolo dell'evaporato da terreno nudo

Nel caso di terreno nudo, ovvero non coperto da coltivazioni, si è ritenuto necessario introdurre l'Equazione (5.4), che permette di determinare la quantità di acqua non libera evaporata appunto dal terreno nudo:

$$EV_t = K_p \cdot EV \cdot 0,3 \quad (5.4)$$

dove il valore  $K_{csuolo} = 0,3$  [6] va a ridurre il valore dell' $ETP$  [ $\frac{mm}{giorno}$ ] riferito al prato a base di festuca.

### 5.5 Calcolo dell'evapotraspirazione massima ETM ed effettiva ETE

I rapporti tra l'evapotraspirazione delle diverse colture e quella di riferimento al prato di festuca vengono espressi mediante il coefficiente colturale  $K_c$  [5][6], i cui valori sono stati riportati da Doorembas e Pruitt nel quaderno FAO n.24 in cui per ciascuna coltura si hanno rispettivamente tre valori relativi alla fase fenologica iniziale  $K_{ci}$ , di metà stagione  $K_{cm}$  e finale  $K_{cf}$ . Nella Tabella 5

sono stati inseriti i valori dei coefficienti colturali delle colture tipiche della penisola Italiana. Dunque, i coefficienti colturali equivalgono a:

$$K_c = \frac{ETM}{ETP} \quad (5.5)$$

dove  $ETM$  [ $\frac{mm}{giorno}$ ] è l'evapotraspirazione massima della coltura. All'atto pratico il  $K_c$  si intende al netto dei consumi di lusso, per cui:

$$ETM = ET_{max} = ETE = ETP \cdot K_c = EV \cdot K_c \cdot K_p \quad (5.6)$$

in cui  $ET_{max}$  [ $\frac{mm}{giorno}$ ] è l'evapotraspirazione massima agronomica, mentre  $ETE$  è l'evapotraspirazione effettiva.

## 5.6 Calcolo degli apporti di falda per la correzione dell'ETE

Quando il terreno, in cui sono presenti le colture, si trova in corrispondenza di una falda, è necessario prendere in considerazione gli eventuali apporti. Indicando con  $x$  [m] la profondità della falda si potrà calcolare l'ETE corretto mediante opportune formule [4] che variano in base al tipo di terreno e alla profondità delle radici. Difatti:

### A) Colture con radici superficiali

#### I) Terreni sabbiosi

$$ETE_{ok} = ETE - \left\{ ETE \cdot \left[ \frac{(-74,0144 + 8,490631 \cdot x - 0,124338 \cdot x^2 + 0,000484 \cdot x^3)}{100} \right] \right\} \quad (5.7)$$

#### II) Terreni a medio impasto

$$ETE_{ok} = ETE - \left\{ ETE \cdot \left[ \frac{(-47,82331 + 7,201768 \cdot x - 0,105087 \cdot x^2 + 0,000402 \cdot x^3)}{100} \right] \right\} \quad (5.8)$$

#### III) Terreni argillosi

$$ETE_{ok} = ETE - \left\{ ETE \cdot \left[ \frac{(-2,1908625 + 4,835101 \cdot x - 0,082494 \cdot x^2 + 0,00037 \cdot x^3)}{100} \right] \right\} \quad (5.9)$$

### B) Colture con radici profonde

#### I) Terreni sabbiosi

$$ETE_{ok} = ETE - \left\{ ETE \cdot \left[ \frac{(-76,410023 + 4,458844 \cdot x - 0,034052 \cdot x^2 + 0,00007 \cdot x^3)}{100} \right] \right\} \quad (5.10)$$

II) Terreni a medio impasto

$$ETE_{ok} = ETE - \left\{ ETE \cdot \left[ \frac{(-46,986014 + 3,756546 \cdot x - 0,028961 \cdot x^2 + 0,000959 \cdot x^3)}{100} \right] \right\} \quad (5.11)$$

III) Terreni argillosi

$$ETE_{ok} = ETE - \left\{ ETE \cdot \left[ \frac{(-1,06304895 + 0,603339 \cdot x - 0,010817 \cdot x^2 + 0,000027 \cdot x^3)}{100} \right] \right\} \quad (5.12)$$

In questa tesi le colture con radici profonde sono gli alberi, per i quali è possibile avere una profondità che va dai 0 m a 1,05 m, mentre le colture con radici superficiali sono gli ortaggi per i quali è possibile avere radici in un range di profondità che va dai 0 m a 0,5 m.

## 5.7 Valutazione della pioggia utile

In agrometeorologia un concetto molto importante è quello di pioggia utile, intesa come la quota parte delle precipitazioni che può essere trattenuta dal terreno nello strato interessato dalle radici delle piante coltivate. In altre parole è una quantità d'acqua piovana che viene assimilata dalle piante. Per determinare la pioggia utile si va a considerare la velocità di infiltrazione [*mm/ora*] che è alta per i terreni sabbiosi, ~ 50 *mm/ora*, ed è bassa per gli argillosi, ~ 2,5 *mm/ora*, e a piogge con intensità oraria sopra alla velocità di infiltrazione si traducono in spreco di acqua. Quando tutta la porosità è satura siamo nella condizione di capacità idrica massima, che è pericolosa per la pianta in quanto porta a condizioni di asfissia.

L'acqua nel sottosuolo è soggetta a forze gravitazionali, elettriche, osmosi e calore di evaporazione. Questo porta ad introdurre l'indice di permeabilità che è alto per i terreni sabbiosi e sciolti, fino ad un massimo di 120 *mm/ora*, e basso per i terreni argillosi, non oltre i 2,5 *mm/ora*.

In questa tesi la pioggia utile è stata assunta pari ai millimetri di pioggia misurati dalla stazione pluviometrica della zona di studio. In questo modo, il volume irriguo  $V_i \left[ \frac{m^3}{ha} \right]$  è dato dalla quantità di acqua non libera evaporata dal terreno, ovvero l'ETE, sottratta del volume di acqua piovuto coincidente con la pioggia utile.

## 5.8 Parametri caratteristici del terreno

Le costanti per i terreni sono in tutto sei.

- Capacità idrica massima *CIM*: corrispondente alla quantità di acqua contenuta nel terreno saturo espressa in % del peso secco del terreno.

- Capacità di campo  $CC$ : corrispondente alla quantità di acqua contenuta nel terreno quando tutti i micropori sono pieni di acqua e i macropori di aria espressa in % del peso secco del terreno.
- Punto di appassimento permanente  $PA$ : quantità di acqua residua nel terreno quando la pianta appassisce, espressa in % del peso secco del terreno.
- Acqua disponibile  $AD$ : è la differenza tra la quantità d'acqua presente nel terreno rispettivamente in  $CC$  e  $PA$ .
- Riserva facilmente utilizzabile  $RFU$ : è la frazione di acqua disponibile che la pianta può assorbire senza eccessivi dispendi energetici, in pratica prima di mettere in atto i meccanismi di risposta allo stress idrico.
- Densità apparente  $DA$ : peso dell'unità di volume di terreno comprensivo degli spazi vuoti.

I valori delle costanti idrologiche sono noti in letteratura e variano in base al tipo di terreno.

## 5.9 Calcolo del volume irriguo

Il volume irriguo è possibile ottenerlo mediante due approcci differenti.

Il primo consiste nell'utilizzo di parametri quali la profondità delle radici  $P_r$  [m], l' $AD$  [%], l' $RFU$  [%] ed il coefficiente di efficienza del sistema irriguo  $K_{eff}$  [%], inseriti nella relazione:

$$V_i = \frac{P_r \cdot \left(\frac{AD}{100}\right) \cdot \left(\frac{RFU}{100}\right) \cdot 10000}{\left(\frac{K_{eff}}{100}\right)} \quad (5.13)$$

Il secondo approccio, invece, si ricollega al Paragrafo 5.1 in cui si è detto che il volume irriguo correlato all'ETE, alla pioggia utile e all'apporto in falda permette di definire il turno  $T$ , che posto pari ad 1 porta alla relazione di bilancio idrico espressa nella seguente equazione:

$$V_i = ETE - P_u - A_f \quad (5.14)$$

Dato che in natura una pianta è soggetta ad un ciclo colturale, ovvero ha una vita in giorni nei quali deve nutrirsi, il volume irriguo nel ciclo colturale può essere determinato tramite la relazione:

$$V_i = \sum_0^n (ETE_j - P_{u_j} - A_{f_j}) \quad (5.15)$$

in cui  $n$  indica i giorni dell'intero ciclo colturale e  $j$  il giorno  $j$ -esimo. In questa tesi, vista la mancanza di informazioni riguardanti l'apporto in falda, il termine  $A_f$  è stato posto pari a zero, per cui il volume irriguo è dato da:

$$V_i = \sum_0^n (ETE_j - P_{u_j}) \quad (5.16)$$

## 5.10 Valutazione della domanda idrica

In questo paragrafo è posto un generico problema di stima del fabbisogno idrico giornaliero di un appezzamento di verde. In un terreno di metri quadrati pari a  $m q_{terreno} [m^2]$ , il proprietario decide di piantarvi un numero di colture  $n_c$  tra le  $s$  colture riportate nella Tabella 5. Per ciascuna di esse va indicata l'area che andrà ad occupare nell'appezzamento. Scelta la zona d'Italia in cui si desidera stimare il fabbisogno idrico delle coltivazioni risultano noti i valori dei coefficienti colturali, la durata delle fasi fenologiche e le serie storiche delle precipitazioni, per cui è possibile procedere con la determinazione del valore della domanda idrica  $D_t$  mediante le formule introdotte nel Capitolo 5 in cui alle date sono stati associati valori numerici sulla base della numerazione da 1 a 365 dei giorni dell'anno.

Tabella 5: Coefficienti colturali delle colture tipiche italiane.

COLTURA	Kci Fase Iniziale [-]	Kcm Fase intermedia [-]	Kcf Fase finale [-]
CAVOLI	0,7	1,05	0,95
CAROTE	0,7	1,05	0,95
SEDANO	0,7	1,05	1
AGLIO	0,7	1	0,7
LATTUGA	0,7	1	0,95
CIPOLLA	0,7	1,05	0,8
SPINACI	0,7	1	0,95
MELANZANE	0,6	1,05	0,9
PEPERONCINI	0,6	1,05	0,9
POMODORO	0,6	1,05	0,8
ZUCCA	0,5	1	0,8
ZUCCHINE	0,5	0,95	0,75
PATATE	0,5	1,15	0,75
FAGIOLI	0,5	1,05	0,9
FAVE	0,5	1,05	0,5
PISELLI	0,4	1,15	0,55
ORZO	0,35	1,1	0,25
GRANO	0,3	1,15	0,3
FIENO	1,05	1	0,9
FRUTTI DI BOSCO	0,3	1,05	0,5
UVA	0,3	0,7	0,45
MANDORLE	0,4	0,9	0,65
PESCO	0,5	1	0,8
ALBICOCCA	0,5	1	0,75
CONIFERE	1	1	1
NOCI	0,6	1,2	0,6
PICCOLA VEGETAZIONE	1,05	1,1	1,1
ERBA MEDICA	0,4	0,95	0,9
ARBUSTI	0,5	0,9	0,65
ALBERI	0,5	1,2	0,65
FIORI/GINESTRE	0,15	0,3	0,15

## 6 Area di studio

In questo capitolo ci si è focalizzati sull'area di studio, ovvero la zona italiana nella quale si vuole dimensionare il sistema di raccolta dell'acqua piovana. Nello specifico sono state definite le colture locali e specificata la provenienza dei dati meteorologici impiegati per i calcoli di dimensionamento. Nel Capitolo 1 è stata definita come area di studio la regione storico-geografica della Marsica. Inoltre, avendo ipotizzato che l'acqua piovana venga raccolta solo ed esclusivamente dai tetti degli edifici residenziali è stato necessario scegliere un comune all'interno della Marsica. Il comune scelto è quello di Celano (AQ).

### 6.1 Inquadramento territoriale

La posizione geografica del comune di Celano (AQ) è stata riportata in Figura 9.



Figura 9: Localizzazione del comune di Celano nella penisola italiana e nella provincia de L'Aquila[VI].

Dall'osservazione della figura soprastante è possibile vedere come il comune sia suddiviso in due grandi aree. La parte di destra cade all'interno del parco regionale del Sirente-Velino, per cui priva di abitazioni private. Questo comporta il fatto che il dimensionamento possa essere eseguito solo per la zona di sinistra in quanto le superfici di raccolta sono i tetti degli edifici abitati. Nella Tabella 6 è possibile consultare informazioni territoriali riguardo la parte di sinistra del suddetto comune.

Tabella 6: Informazioni territoriali per l'area di sinistra.

Coordinate	42°05'03.5"N
	13°32'51.9"E
altitudine	800 m s.l.m.
superficie	82,8 Km <sup>2</sup>
abitanti	10764 (anno2020)
frazioni	borgo strada 14
	borgo 8000
comuni confinanti	Aielli, Avezzano, Ovindoli, Trasacco e san Benedetto dei Marsi

## 6.2 Coefficienti colturali e fasi fenologiche

I coefficienti colturali e le date di inizio e fine di ciascuna fase fenologica per le colture presenti nella Tabella 5 all'interno dell'area di studio sono stati riportati nella Tabella 7. Sia le fasi fenologiche che le colture che crescono nella zona di studio sono state definite in collaborazione con tre aziende agricole locali che operano nel settore agricolo da più di 50 anni:

- Azienda agricola di Mancini Juri;
- Azienda agricola di Finucci Emanuela;
- Azienda agricola di Curti Marcello;

*Tabella 7: Coefficienti colturali e fasi fenologiche per la Marsica.*

COLTURA	FASE INIZIALE			FASE INTERMEDIA			FASE FINALE		
	Kci [-]	data di inizio	data di fine	Kcm [-]	data di inizio	data di fine	Kcf [-]	data di inizio	data di fine
CAVOLI	0,7	01-lug	17-lug	1,05	18-lug	25-ago	0,95	26-ago	25-set
CAROTE	0,7	01-mar	11-mar	1,05	12-mar	03-mag	0,95	04-mag	20-giu
SEDANO	0,7	15-feb	14-mag	1,05	15-mag	20-lug	1	21-lug	30-ott
AGLIO	0,7	01-nov	04-dic	1	05-dic	21-mar	0,7	22-mar	01-lug
LATTUGA	0,7	01-apr	08-giu	1	09-giu	24-apr	0,95	25-apr	10-lug
CIPOLLA	0,7	01-apr	11-apr	1,05	12-apr	30-apr	0,8	01-mag	28-mag
SPINACI	0,7	01-mar	08-mar	1	09-mar	24-mar	0,95	25-mar	10-apr
MELANZANE	0,6	10-mag	10-lug	1,05	11-lug	31-lug	0,9	01-ago	20-ago
PEPERONCINI	0,6	01-mag	14-mag	1,05	15-mag	31-lug	0,9	01-ago	10-ago
POMODORO	0,6	01-mag	15-mag	1,05	16-mag	06-lug	0,8	07-lug	08-ago
ZUCCA	0,5	01-apr	30-apr	1	01-mag	15-lug	0,8	16-lug	01-ott
ZUCCHINE	0,5	01-mar	30-mar	0,95	31-mar	01-mag	0,75	02-mag	20-mag
PATATE	0,5	01-apr	01-mag	1,15	02-mag	04-lug	0,75	05-lug	15-ago
FAGIOLI	0,5	15-apr	05-mag	1,05	06-mag	06-giu	0,9	07-giu	20-giu
FAVE	0,5	01-nov	20-nov	1,05	21-nov	30-apr	0,5	01-mag	05-giu
PISELLI	0,4	01-apr	25-apr	1,15	26-apr	25-mag	0,55	26-mag	25-giu
ORZO	0,35	14-nov	14-dic	1,1	15-dic	12-giu	0,25	13-giu	01-ago
GRANO	0,3	14-nov	14-dic	1,15	15-dic	12-giu	0,3	13-giu	01-ago
FIENO	1,05	01-ott	10-nov	1	11-nov	01-giu	0,9	02-giu	30-set
FRUTTI DI BOSCO	0,3	01-ott	01-nov	1,05	02-nov	01-giu	0,5	02-giu	20-lug
UVA	0,3	01-apr	30-apr	0,7	01-mag	08-ago	0,45	09-ago	27-ott
MANDORLE	0,4	01-ott	01-dic	0,9	02-dic	08-ago	0,65	09-ago	30-set
MELO	0,5	10-mar	05-apr	1	06-apr	05-lug	0,8	06-lug	25-ago
PESCO	0,5	10-mar	05-apr	1	06-apr	05-lug	0,8	06-lug	25-ago
ALBICOCCA	0,5	10-mar	05-apr	1	06-apr	05-lug	0,75	06-lug	25-ago
CONIFERE	1	01-gen	31-mar	1	01-apr	22-set	1	23-set	31-dic
NOCI	0,6	01-ott	01-dic	1,2	02-dic	08-ago	0,6	09-ago	30-set
PICCOLA VEGETAZIONE	1,05	01-gen	31-mar	1,1	01-apr	22-set	1,1	23-set	31-dic
ERBA MEDICA	0,4	01-apr	10-apr	0,95	11-apr	23-ago	0,9	24-ago	30-ago
ARBUSTI	0,5	01-gen	31-mar	0,9	01-apr	22-set	0,65	23-set	31-dic
ALBERI	0,5	01-gen	31-mar	1,2	01-apr	22-set	0,65	23-set	31-dic
FIORI/GINESTRE	0,15	01-gen	16-mar	0,3	17-mar	14-lug	0,15	15-lug	28-ago

Come già detto nel precedente capitolo alle date sono stati assegnati valori numerici da 1 a 365 secondo una numerazione sequenziale.

Tra le colture tipiche della zona studiata quella delle conifere, degli alberi, degli arbusti e dei fiori raggruppano al proprio interno diverse specie di piante suddivisibili in tante sotto categorie. Nel prossimo paragrafo sono state riportate tutte le specie vegetali autoctone della regione Abruzzo appartenenti a queste sotto categorie.

Nella Tabella 8, invece, sono state riportate le caratteristiche di semina delle colture selezionate e i prezzi dei loro semi sul mercato. Questi ultimi sono stati indicati in quanto verranno impiegati nell'analisi dei costi per la determinazione della voce dei costi fissi legati alla realizzazione del verde e del sistema di recupero delle acque piovane.

*Tabella 8: Caratteristiche di semina e prezzi dei semi sul mercato [VII][VIII].*

COLTURA	distanza di semina [m]		profondità seme [m]	n. semi su 1 m di fila	n. di file in 1 m	totale semi per 1 mq	n. semi a grammo	Prezzi mercato*
	su fila	tra file						
CAVOLI	0,4	0,4	0,02	3	3	6	250	1,2 € 2 g
CAROTE	0,1	0,25	0,01	10	4	40	800	2,35 € 2 g
SEDANO	0,35	0,35	0,02	3	3	8	1000	1,35 € 2 g
AGLIO	0,1	0,2	0,02	10	5	50	[-]	8 € 20 spicchi 100 g
LATTUGA	0,4	0,5	0,01	3	2	5	800	1,35 € 2 g
CIPOLLA	0,2	0,4	0,015	5	3	13	250	1,35 € 2 g
SPINACI	0,15	0,4	0,01	7	3	17	100	1,35 € 2 g
MELANZANE	0,7	1	0,02	1	1	1	1	1,35 € 2 g
PEPERONCINI	0,3	0,5	0,01	3	2	7	1	2 € pz
POMODORO	0,4	0,5	0,5	3	2	5	1	1,35 € 2 g
ZUCCA	0,2	0,3	0,03	5	3	17	1	1,2 € 2,5g
ZUCCHINE	1	1,5	0,03	1	1	1	1	1,35 € 2 g
PATATE	0,3	0,8	0,1	3	1	4	[-]	20 € 200 buche
FAGIOLI	0,1	0,5	0,02	10	2	20	3	2,95 € 9 g
FAVE	0,3	0,5	0,08	3	2	7	700	2,95 € 2,5 g
PISELLI	0,1	0,5	0,3	10	2	20	700	2,95 € 2,5 g
ORZO	0,15	0,2	0,04	7	5	33	1000	20 € 5 Kg
GRANO	0,1	0,2	0,03	10	5	50	18	20 € 5 Kg
FIENO	0,1	0,2	0,02	10	5	50	50	20 € 1 Kg
FRUTTI DI BOSCO	1,5	2	4 volte dimensioni seme	1	1	0	[-]	6 € 10 pz
UVA	1	3	0,1	1	0	0	[-]	25 € pz
MANDORLE	2,5	2,5	4 volte dimensioni seme	0	0	0	1	2,5 € 1 pz
PESCO	2,5	2,5	4 volte dimensioni seme	0	0	0	1	2,5 € 1 pz
ALBICOCCA	2,5	2,5	4 volte dimensioni seme	0	0	0	1	2,5 € 1 pz
CONIFERE	3,5	3,5	4 volte dimensioni seme	0	0	0	1	20 € 6 pz
NOCI	2,5	2,5	4 volte dimensioni seme	0	0	0	[-]	2,5 € 1 pz
PICCOLA VEGETAZIONE	0,1	0,2	0,02	10	5	50	[-]	5,45 € 10 mq
ERBA MEDICA	0,15	0,15	0,02	7	7	44	[-]	1,7 Kg
ARBUSTI	2,5	2,5	4 volte dimensioni seme	0	0	0	[-]	12,25 € mq
ALBERI	3,5	3,5	4 volte dimensioni seme	0	0	0	[-]	3 € pz
FIORI/GINESTRE	0,15	0,15	0,02	7	7	44	[-]	1,95 € 2 g

\*L'unità di misura non è stata riportata in quanto non è la stessa per tutte le colture.

### 6.3 Flora Locale

In questo paragrafo vengono messe in evidenza le tipologie vegetazionali dell’Abruzzo in generale e del sito di interesse nello specifico (800 m s.l.m.).

Per quanto riguarda alberi, arbusti e conifere le specie autoctone abruzzesi sono riportate Figura 10, mentre i fiori spontanei in Figura 11.

FLORA ABRUZZESE						
	Liquirizia	Cappero	Corbezzolo	Caprino		
						
	Ginepro	Biancospino	Rosmarino	Acer		
						
	Leccio	Pioppo Nero	Ontano Nero	Tiglio		
						
	Pino Nero	Quercia	Salice	Roverella	Ginepro rosso	
						
	Robinia	Ginestra	Mirro	Cerro	Rosa canina	Faggio
	Alberi da 0 a 600 m s.l.m			Alberi da 600 a 1000 m s.l.m		Alberi oltre i 1000 m s.l.m

Figura 10: Alberi, arbusti e conifere abruzzesi [X].

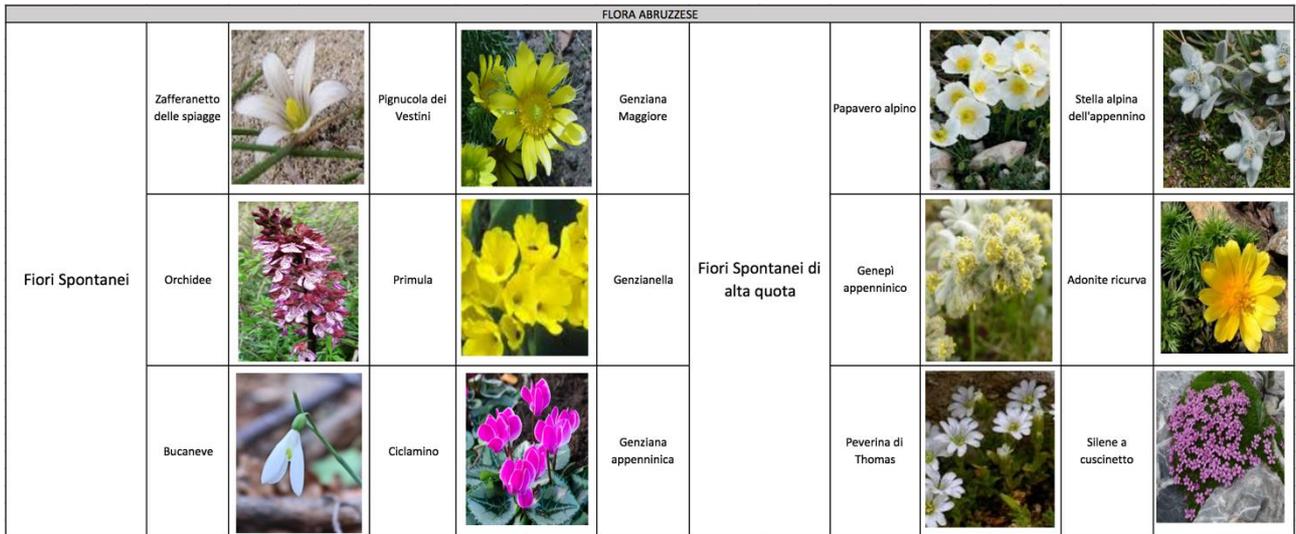


Figura 11: Fiori spontanei abruzzesi [X].

## 6.4 Dati meteorologici

Facendo riferimento all'Equazione (5.2) e all'Equazione (5.16) è possibile individuare quali siano i parametri meteorologici impiegati nel calcolo del fabbisogno idrico delle coltivazioni. Dato che questi parametri variano da un luogo all'altro è stato necessario trovare quelli riferiti al comune nel quale si vuole dimensionare il sistema di raccolta delle acque piovane. I parametri necessari sono la temperatura, l'umidità relativa e i millimetri di pioggia. Nel comune di Celano (AQ) non vi sono stazioni meteorologiche, per cui i dati impiegati nei calcoli sono stati presi dalle stazioni più vicine, Figura 13. La pioggia giornaliera è stata presa dalla stazione di misura SAN PELINO, mentre la temperatura media giornaliera relativa è stata presa dalla stazione di misura GORIANO SICOLI. Come mostrato dalla Figura 13 la stazione di misura SAN PELINO dista meno di 5 km in linea d'aria dal comune di Celano (AQ), mentre GORIANO SICOLI dista ~20 km in linea d'aria.

Giorno	(°R)	S. PELINO Bacino: ATERNO-PESCARA (751 m s.m.)											
		G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
1	13.8	—	—	4.4	.8	—	—	—	—	—	—	—	—
2	8.4	—	+2.2	—	3.2	—	—	—	—	6.8	—	—	—
3	—	2.2	7.6	—	—	2.3	—	—	—	—	6.2	—	—
4	—	9.6	6.0	10.4	—	7.4	2.0	—	—	—	9.6	—	—
5	*25.6	.6	—	10.4	—	—	—	—	—	2	—	—	—
6	*4.2	10.0	—	12.2	—	1.0	—	—	—	34.2	.8	—	—
7	—	—	—	*6.0	4.0	.8	—	—	—	—	—	—	—
8	—	3.2	3.8	—	.8	2	1.0	—	—	—	—	—	—
9	*8	—	5.8	—	.6	—	9.6	—	—	—	2	—	—
10	*17.4	—	—	—	.2	—	2	—	—	—	—	.4	—
11	*17.0	2.4	—	—	—	1.6	—	—	—	—	8.4	—	—
12	*7.2	—	.2	—	—	3.6	1.6	18.0	6.8	3.4	—	—	—
13	—	12.6	—	1.0	—	—	—	—	16.0	—	—	—	—
14	—	4.4	—	.8	—	—	—	—	2	—	8.4	—	—
15	—	3.8	2	1.0	—	—	—	—	1.6	70.0	10.6	—	—
16	—	8.4	3.2	—	.4	—	—	—	—	25.6	2.2	—	—
17	—	13.8	9.8	1.4	.8	4.2	2	—	—	15.6	—	—	—
18	—	21.6	—	2.4	—	1.2	13.0	—	—	1.8	13.3	—	—
19	—	7.4	.6	.4	—	—	10.8	—	—	.6	3.5	.2	—
20	—	.2	2.0	—	.8	—	.6	.2	—	—	2	5.0	—
21	3.6	—	12.8	—	—	—	1.8	—	—	—	—	*21.4	—
22	5.6	—	10.6	—	—	—	.2	6.4	—	—	—	*28.4	—
23	1.8	—	8.4	1.8	—	—	—	—	—	—	—	*26.8	—
24	3.0	2.4	.8	—	4.8	—	—	—	—	32.4	—	*4	—
25	1.2	—	—	15.2	—	—	—	—	—	14.0	—	—	—
26	1.2	—	—	1.6	—	—	—	—	—	2	—	—	—
27	1.4	—	5.6	2.2	—	1.2	2.2	—	—	—	—	—	—
28	.2	—	15.6	1.4	—	1.0	—	—	—	9.4	—	—	—
29	15.4	—	19.0	.6	—	1.8	—	—	—	6	—	*17.4	—
30	5.8	—	2.2	5.8	—	4.0	—	—	—	18.2	—	*4.0	—
31	*16.8	—	6.6	—	—	—	—	—	—	6.6	—	*23.0	—
Totale mensili	149.4	102.6	122.4	80.0	8.8	29.2	18.6	31.4	60.2	120.4	168.6	143.2	—
N. giorni piovosi	16	13	16	15	2	8	3	7	6	10	10	10	10
Totale annuo:	1034.8 mm												Giorni piovosi: 116

(°R)	GORIANO SICOLI Bacino: ATERNO-PESCARA (705 m s.m.)																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1	9.7	6.5	2.3	-8.2	4.2	-7.5	7.0	-3.5	13.5	4.0	24.0	9.5	24.0	13.0	26.2	11.0	17.3	2.0	18.0	9.0	11.0	.1	7.8	4.0	0.0	—	—	—	—	—	—	
2	8.0	-3.7	2.3	-6.3	7.3	-6.0	10.5	-3.0	12.0	6.0	24.4	9.5	24.0	13.0	26.2	11.0	17.3	2.0	18.0	9.0	11.0	.1	7.8	4.0	0.0	—	—	—	—	—	—	
3	-3.7	-13.7	6.5	2.0	2.0	-1.0	10.0	-3.0	13.0	6.5	25.0	10.0	22.5	13.5	27.0	12.8	21.0	6.1	17.5	7.0	10.4	2.6	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
4	-10.0	-10.0	7.0	4.9	4.5	.8	11.0	2.5	14.0	4.0	24.0	10.2	20.0	11.0	27.0	11.9	22.0	8.0	17.4	5.0	5.0	2.8	8.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
5	2.0	-8.0	10.2	4.9	10.4	-2.2	8.5	2.0	15.0	3.0	25.5	10.0	22.0	10.5	28.0	10.8	23.0	10.0	18.0	7.0	5.0	0.0	11.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
6	2.7	-2.0	9.3	3.8	9.7	-2.5	9.0	1.0	15.5	2.0	24.0	9.5	18.0	10.0	28.3	11.0	16.0	6.5	17.5	8.5	11.0	1.0	11.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
7	3.1	-1.0	5.5	-1	16.5	5.8	6.5	-0.0	14.5	4.5	22.5	10.0	18.5	5.5	28.0	12.0	17.5	5.0	17.4	5.5	10.0	3.0	14.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
8	1.8	-12.8	6.0	1.5	15.8	8.0	7.0	-1.0	11.0	2.5	19.5	11.0	21.0	8.0	27.0	12.0	20.8	7.2	15.5	6.0	13.4	4.3	12.2	—	—	—	—	—	—	—	—	
9	3.9	-6.2	7.1	2.0	12.0	3.0	10.0	0.0	14.0	3.0	20.0	9.5	22.8	8.5	26.5	11.5	22.5	8.0	15.0	4.0	13.8	8.0	7.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
10	3.9	1.9	11.5	5.9	13.0	2.5	14.0	3.5	14.5	4.0	22.0	9.8	20.0	10.5	25.0	11.4	23.5	12.5	23.0	9.0	16.0	5.0	13.4	—	—	—	—	—	—	—	—	
11	6.6	1.8	12.1	5.0	11.0	1.0	16.0	5.0	13.0	6.0	23.0	10.5	23.0	11.0	26.0	13.5	21.0	10.0	22.0	8.2	16.0	10.0	5.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
12	4.0	-3.0	15.0	6.9	14.0	3.5	14.0	5.5	16.0	3.0	25.0	11.0	26.0	13.5	21.0	10.0	22.0	8.2	16.0	10.0	5.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
13	1.5	-8.0	13.5	4.0	15.0	6.0	10.0	2.0	16.5	7.5	25.5	11.5	26.0	16.0	20.0	7.0	22.0	9.5	15.0	10.5	8.0	4.0	7.1	—	—	—	—	—	—	—	—	
14	-1.0	-8.0	8.5	2.3	16.0	3.5	15.5	4.0	13.5	6.5	24.5	14.0	19.9	12.0	20.0	7.0	23.5	9.5	15.0	10.5	8.0	4.0	7.1	—	—	—	—	—	—	—	—	
15	0.0	-11.0	7.2	-1	17.0	5.0	16.0	5.0	16.0	5.0	16.0	5.0	23.5	11.5	21.5	8.7	20.5	7.2	23.5	9.5	15.0	10.5	8.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
16	-3.0	-11.0	7.3	0.0	16.0	6.0	14.5	8.0	17.0	4.5	18.0	12.0	23.2	9.0	23.0	9.0	23.4	8.8	13.9	9.0	10.0	1.4	10.1	—	—	—	—	—	—	—	—	
17	-3.0	-10.8	4.3	2.5	13.0	4.0	13.5	6.0	15.0	6.0	16.0	8.0	25.0	8.9	24.0	10.0	17.0	5.0	15.7	10.7	4.0	1.0	7.7	—	—	—	—	—	—	—	—	
18	-3.9	-11.9	8.5	2.0	15.5	5.0	11.0	6.0	15.0	5.0	16.0	6.5	20.0	7.8	23.0	10.0	18.0	4.0	18.0	10.2	5.5	2.0	6.9	—	—	—	—	—	—	—	—	
19	-3.9	-11.9	5.5	2.8	12.5	3.5	8.5	4.0	18.5	7.0	16.2	6.0	22.0	9.3	20.0	10.5	21.0	6.2	13.0	3.8	7.0	1.0	10.8	—	—	—	—	—	—	—	—	
20	1.5	-12.0	4.3	.8	13.8	4.0	7.0	1.0	23.0	10.0	15.0	5.0	21.0	10.9	16.5	8.0	22.2	6.4	14.5	12.0	7.0	2.3	9.8	—	—	—	—	—	—	—	—	
21	2.3	-2.0	3.6	0.0	11.0	4.5	8.5	0.0	24.0	8.5	16.0	5.5	26.2	16.2	17.0	8.0	22.7	8.0	14.0	-1.1	6.0	4.0	11.1	—	—	—	—	—	—	—	—	
22	0.0	-1.0	1.0	-1.0	12.0	4.6	12.5	.5	25.0	6.0	18.0	7.0	24.2	13.0	17.5	5.5	21.0	9.1	16.0	-3.9	6.0	4.0	8.1	—	—	—	—	—	—	—	—	
23	5.9	0.0	4.3	-5.2	9.0	5.0	13.0	1.5	23.0	5.5	21.0	10.0	22.3	10.9	21.0	7.5	19.0	8.1	16.7	4.0	5.4	3.7	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
24	4.3	.8	3.0	-5.0	12.5	3.5	14.0	5.0	23.5	8.5	20.0	8.2	20.0	13.3	22.0	12.0	15.0	7.2	12.3	3.1	7.0	1.0	5.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
25	8.2	9	4.4	-8	12.5	2.0	11.5	6.0	23.5	10.0	23.0	10.5	20.0	10.0	22.3	10.5	21.0	8.2	14.2	3.0	6.0	2.2	6.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
26	7.0	0.0	3.5	-4.0	14.0	6.0	11.5	3.0	24.0	9.0	25.0	11.0	22.0	10.0	20.2	9.0	11.5	5.0	8.0	1.8	5.0	-4.0	5.5	—	—	—	—	—	—	—	—	
27	7.9	0.0	-1.9	-8.2	11.0	7.5	10.0	1.5	23.0	10.5	25.0	11.0	25.0	11.0	18.0	5.0	14.0	8.0	8.0	5.0	7.8	-1.0	5.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
28	10.0	5.2	0.0	-10.0	9.5	4.0	8.0	1.0	24.0	11.0	24.5	11.0	25.0	11.0	18.0	5.0	14.2	3.0	6.0	2.2	6.0	-2.0	5.5	—	—	—	—	—	—	—	—	
29	13.8	3.0	—	—	9.5	2.0	8.0	1.0	24.5	10.0	24.5	11.5	27.1	12.0	17.0	7.0	14.8	6.0	10.0	5.0	11.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
30	9.0	3.0	—	—	6.0	2.0	9.5	1.5	24.8	9.5	24.2	12.0	28.1	15.0	15.1	3.2	16.0	9.5	15.7	9.4	10.0	0.0	6.5	—	—	—	—	—	—	—	—	
31	5.8	-1.5	—	—	7.0	-2	—	—	25.0	9.8	—	—	—	26.0	11.2	17.0	5.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MEDIE	3.21	-4.1	6.1	.1	11.4	2.6	10.9	2.2	18.3	6.4	21.8	9.7	22.8	11.0	22.2	9.4	19.1	7														

Il dato di umidità relativa media giornaliera, definita come la quantità di vapore acqueo nell'aria in percentuale rispetto al valore massimo che l'aria può trattenere a quella determinata temperatura, è indisponibile. Quindi, è stato necessario calcolarne i valori mediante la formula:

$$u = \frac{p_v}{p_s} [\%] \quad (6.1)$$

in cui  $p_v$  [Pa] indica la pressione di vapore nella miscela aria vapore, mentre  $p_s$  [Pa] è la pressione di saturazione del vapore acqueo.

La pressione di vapore saturo rispetto all'acqua è stata calcolata mediante le formule di Wexler:

$$\begin{cases} T > 0^\circ\text{C} & p_s = 6,1078 \cdot e^{\frac{10,8 \cdot T}{273+T}} \quad [\text{hPa}] \\ T \leq 0^\circ\text{C} & p_s = 6,1078 \cdot e^{\frac{22,5 \cdot T}{273+T}} \quad [\text{hPa}] \end{cases} \quad (6.2)$$

La pressione di vapore nella miscela aria vapore, invece, è stata calcolata mediante la formula di Clausius-Clapeyron in cui la temperatura va inserita in gradi Kelvin:

$$\ln\left(\frac{p_v}{p_0}\right) = \left(\frac{\Delta H_v}{R}\right) \cdot \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right) \quad (6.3)$$

in cui  $\Delta H_v = 40,8 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{mol}}\right]$  è l'entalpia di vaporizzazione dell'acqua,  $R = 8,314 \left[\frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}}\right]$  è la costante dei gas,  $p_0 = 0,00744$  [atm] e  $T_0 = 278,3$  [K] sono le condizioni termodinamiche note e  $T$  [K] è la temperatura media giornaliera disponibile dalla serie storica di dati. Per cui:

$$p_v = p_0 \cdot e^{\left(\frac{\Delta H_v}{R}\right) \cdot \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)} \quad [\text{atm}] \quad (6.4)$$

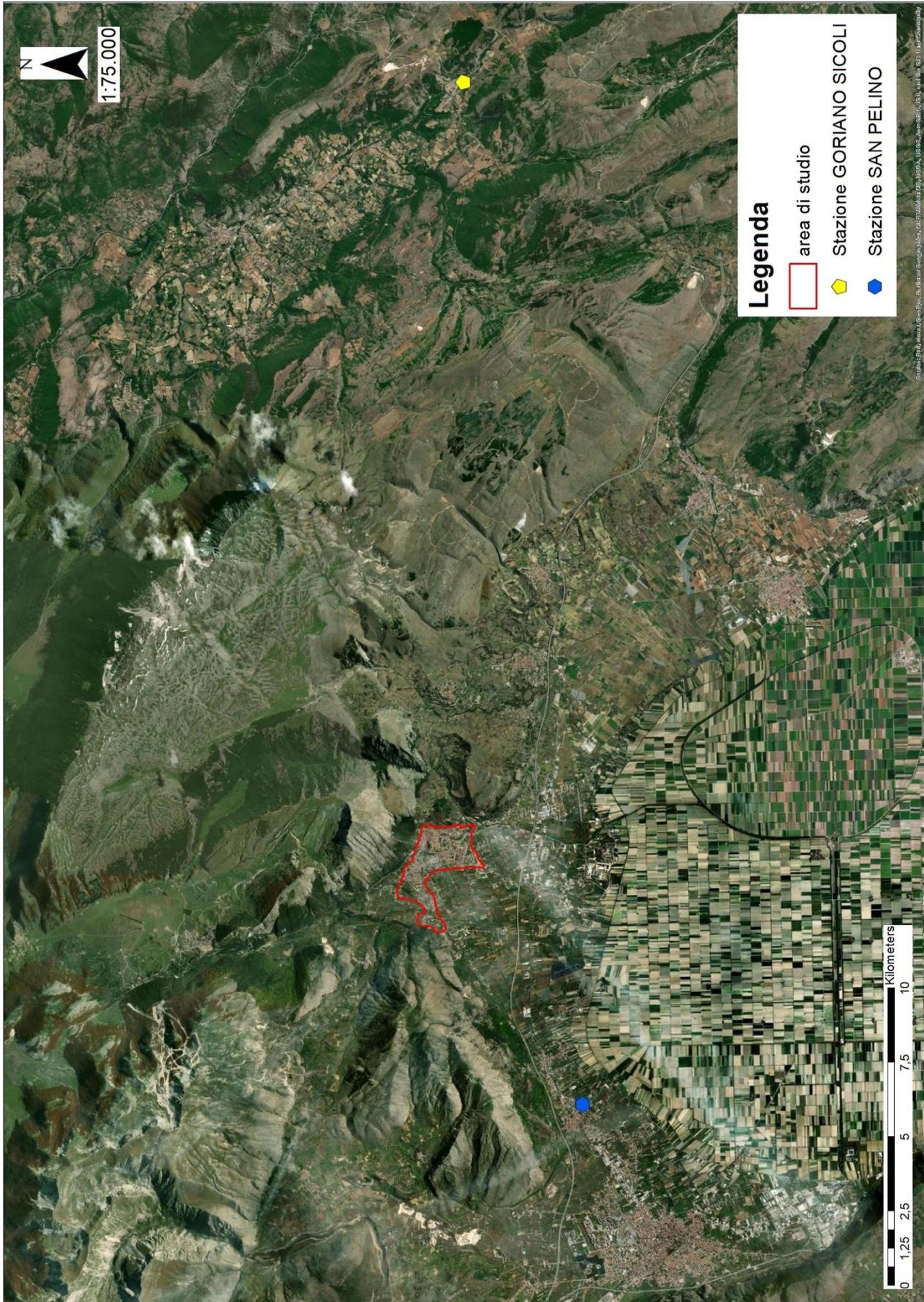


Figura 13: Area di studio e stazione in cui sono stati raccolti i dati metereologici impiegati.

## 7 Linee guida per la progettazione delle aree verdi private

Affinché sia possibile realizzare un sistema di raccolta delle acque piovane è necessaria la presenza di tre diverse zone all'interno della particella. La prima zona è quella di raccolta, ovvero la superficie del tetto dell'edificio, la seconda zona è invece quella di stoccaggio ovvero la parte destinata all'ubicazione delle cisterne di raccolta mentre la terza zona è quella in cui piantare e far crescere le colture desiderate.

In questo capitolo vengono delineati i criteri progettuali alla base di una progettazione di un'area di verde privato e vengono introdotti modelli standard di verde che siano rappresentativi della maggior parte delle realtà di verde presenti in Italia, ma soprattutto nell'area di studio.

La qualità del verde, il contenimento dei suoi costi gestionali e manutentivi sono vincolati ai seguenti criteri progettuali:

- Aspetto perimetrale dell'area;
- Aspetto ambientale;
- Orti nel verde;

### 7.1 Criterio dell'aspetto perimetrale dell'area

Il perimetro individua l'area disponibile in cui realizzare il verde ed il sistema di raccolta dell'acqua piovana. Quindi, è necessario sottrarre ai metri quadrati del terreno, indicati con  $m_{q_{terreno}}$  [ $m^2$ ], un quantitativo di metri quadri, noti come  $m_{q_{serbatoio}}$  [ $m^2$ ], che rappresentano lo spazio destinato ad ospitare il serbatoio di raccolta. Nella Tabella 9 sono state riportate le caratteristiche strutturali di alcuni serbatoi presenti nel mercato, prodotti dall'azienda KESSEL.

Tabella 9: Caratteristiche geometriche serbatoi KESSEL [9].

VOLUME		d [m]	h [m]	l [m]	$m_{q_{serbatoio}}$ [ $m^2$ ]
[ $m^3$ ]	[l]				
3	3000	1,2	1,785	2,88	3,456
4,5	4500	1,76	2,3	2,282	4,01632
4,7	4700	2,01	2,37	2,35	4,7235
6	6000	1,76	2,3	3,062	5,38912
7,5	7500	2,01	2,37	3,47	6,9747
9	9000	2,01	2,37	3,47	6,9747

Di conseguenza, i metri quadrati di verde, detti  $m_{q_{coltura}}$ , saranno pari a:

$$m_{q_{coltura}} = m_{q_{terreno}} - m_{q_{serbatoio}} \quad (7.1)$$

Nel caso in cui vengano installati  $n$  serbatoi i metri quadrati da riservare alle cisterne sono:

$$mq_{serbatoio} = \sum_{i=1}^n mq_{serbatoio_i} \quad (7.2)$$

in cui  $i$  indica l' $i$ -esimo serbatoio.

Prima di passare al dimensionamento del sistema di raccolta, e quindi definire  $mq_{serbatoio}$ , è necessario fare delle considerazioni riguardanti il numero massimo di alberi che possono essere piantati in una ben precisa superficie. Di conseguenza si è passati alle seguenti considerazioni.

Un albero è composto da tre parti: radici, tronco e chioma. Nella Tabella 10 sono riportati i valori dei diametri delle proiezioni a terra del tronco e della chioma degli alberi presenti nella Tabella 7 e nella Figura 10.

Tabella 10: Valore medio del diametro del tronco e della chioma per diversi alberi [VI].

ALBERO	D tronco [cm]	D chioma [m]
MANDORLE	20_100	5_7
MELO	20_100	5_7
PESCO	20_100	4_7
ALBICOCCA	20_100	4_5
NOCI	50_>100	7_10
ROBINIA	20_100	5_6
PINO	50_>100	4_10
QUERCIA	50_>100	8_12
PIOPPO	50_>100	8_12
SALICE	50_>100	8_12
ONTANO	50_>100	7_10
LECCIO	20_100	6_8
BIANCOSPINO	20_100	2_8
TIGLIO	50_>100	8_12
ACERO	50_>100	3_10
CAPRINO	20_100	4_8

Il diametro del tronco permette di calcolare i metri quadri occupati dalla pianta che vanno utilizzati per la stima del fabbisogno idrico, mentre il diametro della chioma permette di definire un'area, denominata area di pertinenza, entro la quale non può trovarsi il tronco di un altro albero. Questo implica il fatto che tale diametro, combinato con i metri quadrati  $mq_{coltura}$ , va a definire il numero di alberi che possono essere piantati nella suddetta area.

## 7.2 Criterio degli orti nel verde

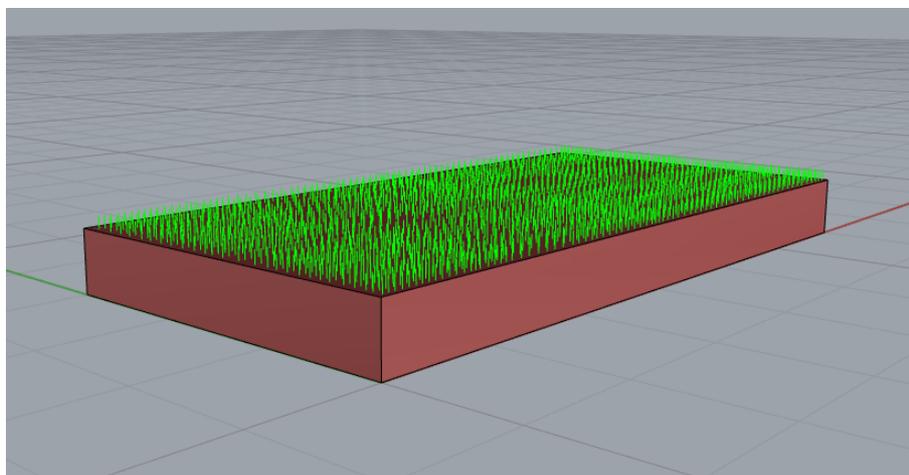
Gli orti vanno realizzati secondo i requisiti e prestazioni stabiliti dall'Art,42 "Orti Urbani" del RUE. In quest'articolo si dice che essi sono appezzamenti di terra per la coltivazione ad uso domestico; possono essere presenti all'interno di aree verdi o essere essi stessi l'area verde. Possono essere realizzati su terreni pubblici e privati purché la minima misura per un singolo orto sia di 20 mq. All'interno dell'appezzamento è consentito realizzare piccoli manufatti edilizi, di dimensioni non oltre i 90 mc per il ricovero di attrezzi, sementi ecc. sono inoltre indicate linee guida per la loro progettazione e gestione con l'obiettivo di garantire una qualità dei prodotti e risparmio idrico.

## 7.3 Criterio dell'aspetto ambientale

Il verde in progetto deve essere in continuità con le aree verdi contigue. Per tale ragione è stata necessaria un'indagine nella città di Celano (AQ) finalizzata a capire quali colture siano effettivamente già presenti nell'area urbana in modo da poter creare dei modelli di verde che possono essere realizzati all'interno dei mq<sub>coltura</sub> nel suddetto comune. L'indagine svolta ha portato alla creazione di quattro modelli di verde di seguito descritti.

### 7.3.1 Modello di verde n. 1: verde di solo prato

Dall'indagine citata nel paragrafo precedente è risultato che tra le coltivazioni più diffuse vi è il classico prato di festuca, riportato in Figura 14.



*Figura 14: Modello 1, verde di solo prato.*

### 7.3.2 Modello di verde n. 2: verde di solo orto

La seconda coltivazione più diffusa è quella degli ortaggi. Di conseguenza, visto che al giorno d'oggi sono in molti a desiderare sulla propria tavola un prodotto locale, il cosiddetto prodotto a chilometro zero, è stato pensato un modello di verde, riportato in Figura 15, ospitante un orto composto dalle seguenti colture: carote, patate, lattuga, pomodoro e melanzane. La scelta dei prodotti è stata definita in modo da portare a tavola verdure di colori diversi per una cromoterapia alimentare. I metri quadri di ciascuna coltura sono:

$$mq_{lattuga} = ma_{pomodori} = mq_{melanzane} = mq_{patate} = mq_{carote} = \frac{mq_{coltura}}{5} \quad (7.3)$$

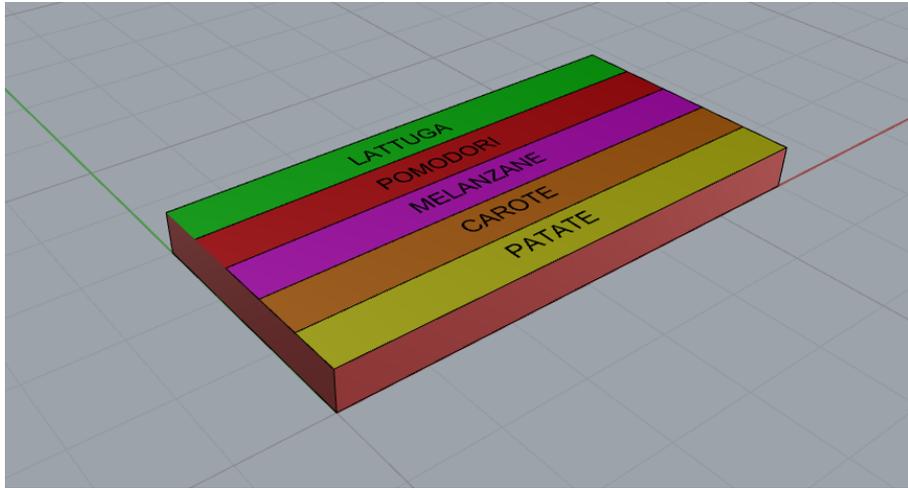


Figura 15: Modello 2, verde di solo orto.

### 7.3.3 Modello di verde n. 3: verde di prato con frutteto

Il modello n. 3, riportato in Figura 16, è un'altra tra le più diffuse tipologie di verde nella zona, che come per il modello n. 1 è costituito dal prato di festuca ma con l'aggiunta di alberi da frutta quali il Pesco, l'Albicocco ed il Melo in modo da avere frutti dal colore diverso. Il numero di alberi deve essere coerente con i  $mq_{coltura}$  di cui al Paragrafo 7.1.

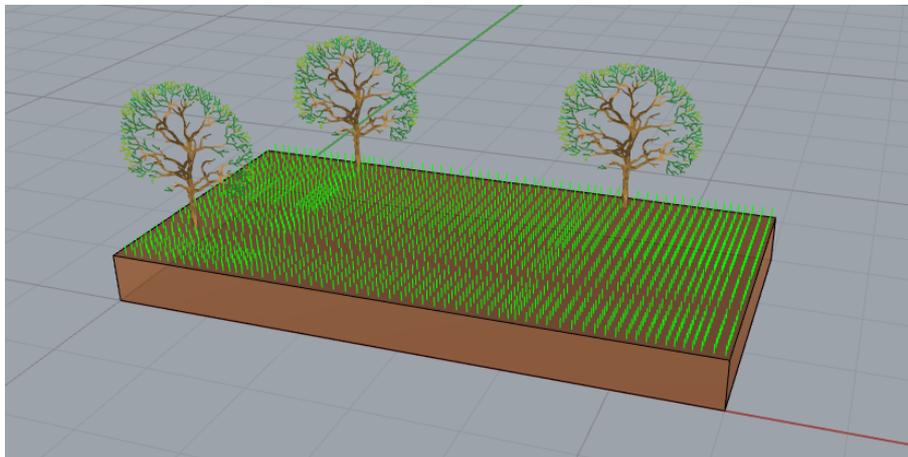
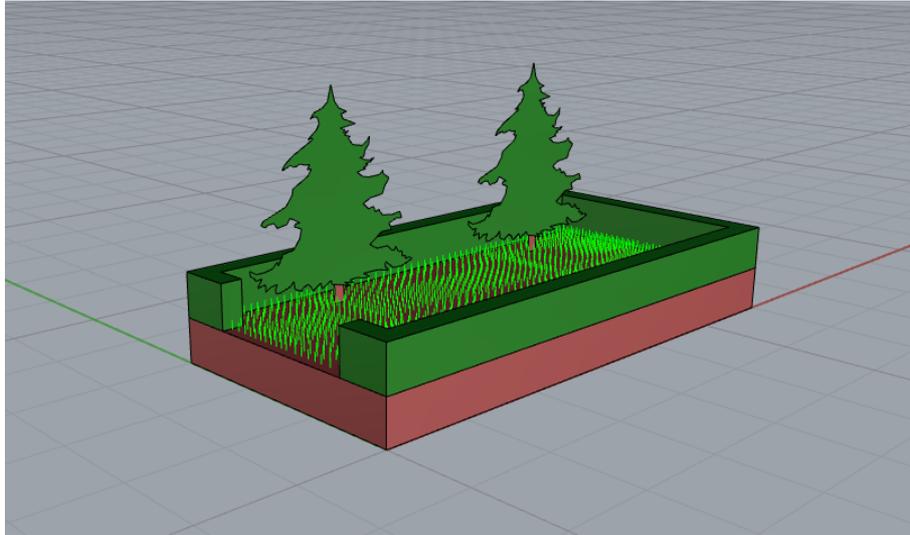


Figura 16: Modello 3, verde di prato con frutteto.

### 7.3.4 Modello di verde n. 4: verde di prato, conifere ed arbusti

Il quarto ed ultimo modello, anch'esso ricorrente nel comune di Celano (AQ), presente in Figura 17, è costituito da un prato con alberi di conifere contornato da siepi in modo da rendere il paesaggio più bello dal punto di vista architettonico e funzionale, creando spazi d'ombra in cui poter trascorrere momenti a contatto con la natura. La siepe scelta ha uno spessore di 0,8 m in modo da evitare che sia composta da poche foglie e solo legno.



*Figura 17: Modello 4, verde di prato con alberi ed arbusti.*

## 8 Casi studio

L'obiettivo di questo capitolo è quello di introdurre dei sistemi, ovvero particelle costituite da almeno un edificio ed un terreno, sui quali applicare i calcoli per il dimensionamento del sistema di recupero delle acque meteoriche. Difatti, come già detto nel Capitolo 7, affinché sia possibile realizzare un sistema di raccolta dell'acqua piovana per il mantenimento del verde privato, oltre che ad una superficie di verde  $mq_{coltura} [m^2]$  e ad un'area destinata all'ubicazione delle cisterne  $mq_{serbatoio} [m^2]$  è necessaria, in contemporanea, la presenza di una superficie di raccolta  $S_c [m^2]$ . In questa tesi si è ipotizzato che l'acqua venga raccolta solo mediante i tetti degli edifici e, di conseguenza, per poter installare un sistema di recupero delle acque meteoriche vi è bisogno di un terreno ed un edificio all'interno della stessa particella. Per tale ragione sono stati creati dei sistemi che prendono il nome di sistemi ospitanti, ovvero compatibili con la presenza del sistema di recupero. Come appena detto, affinché un sistema sia compatibile deve essere costituito da due componenti fondamentali:

- Superficie di raccolta;
- Terreno di progetto, costituito a sua volta da:
  - a) Superficie di stoccaggio
  - b) Superficie verde;

### 8.1 Superficie di raccolta

Nel modello su cui verrà eseguito il dimensionamento del sistema di raccolta dell'acqua piovana, per il mantenimento del verde privato, si assume che l'acqua piovana venga raccolta dal tetto dell'edificio, la cui area, denominata superficie di raccolta viene indicata con  $S_c [m^2]$ .

### 8.2 Terreno di progetto

Il terreno di progetto è quell'area, denominata  $mq_{terreno} [m^2]$ , in cui è possibile individuare due sotto aree note come superficie di raccolta  $mq_{serbatoio} [m^2]$  e superficie verde  $mq_{coltura} [m^2]$ . Di conseguenza:

$$mq_{terreno} = mq_{coltura} + mq_{serbatoio} \quad (8.1)$$

#### 8.2.1 Superficie di stoccaggio

La superficie di stoccaggio è quell'area in cui si vanno ad installare le cisterne o serbatoi di raccolta. Nel modello viene indicata con  $mq_{serbatoio} [m^2]$ . Nel caso in cui vengano installati  $n$  serbatoi i metri quadrati da riservare alle cisterne sono:

$$mq_{serbatoio} = \sum_{i=1}^n mq_{serbatoio_i} \quad (8.2)$$

in cui  $i$  indica l' $i$ -esimo serbatoio.

Facendo riferimento alle cisterne KESSEL presenti sul mercato, i valori dell'area delle diverse acquistabili sono riportati in Tabella 9.

### 8.2.2 Superficie verde

La superficie verde è quell'area in cui è presente il verde privato. Nel modello viene indicata con  $m_{q_{coltura}}$  [ $m^2$ ] ed esprimibile come riportato nell'Equazione (7.1).

## 8.3 Sistemi ospitanti

L'insieme del terreno di progetto e della superficie di raccolta costituiscono il sistema ospitante. In questo lavoro di tesi sono stati individuati diciotto differenti sistemi compatibili sui quali effettuare i calcoli per il dimensionamento del sistema di raccolta per il mantenimento dei modelli di verde descritti nel Capitolo 7.

Le caratteristiche geometriche degli elementi costituenti i diciotto sistemi pensati sono riportate in Figura 18.

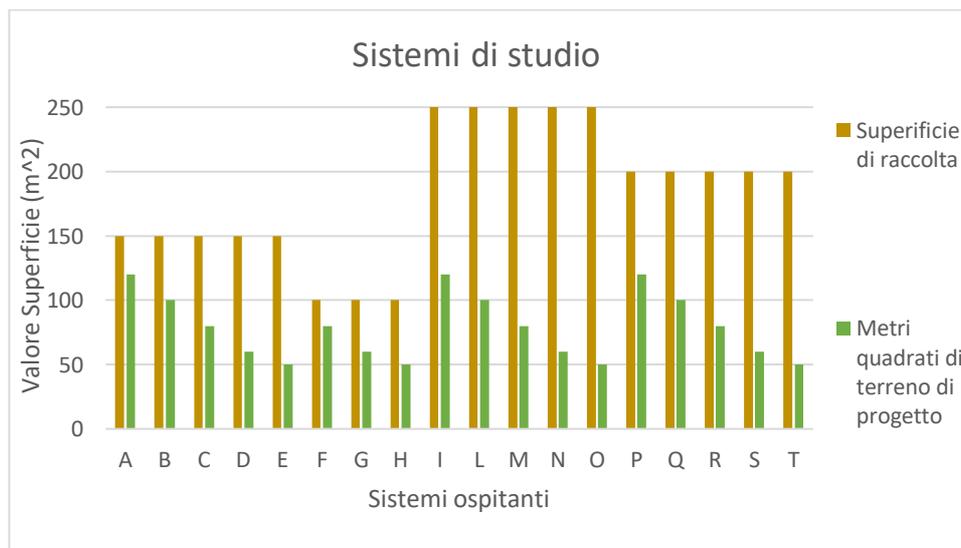


Figura 18: Caratteristiche geometriche dei sistemi.

Dall'osservazione della Figura 18 si nota che la superficie di verde è sempre minore della superficie di raccolta. Questa caratteristica è stata scelta in quanto la maggior parte delle abitazioni con giardino nella città di Celano (AQ) hanno nella maggior parte dei casi un giardino minore uguale alla superficie del tetto dell'edificio.

## 9 Progettazione sistemi di raccolta

Il dimensionamento dell'impianto di raccolta dell'acqua piovana può essere portato a termine mediante diversi approcci.

Tra quelli analizzati in questa tesi vi è il dimensionamento secondo la specifica tecnica UNI/TS 11445:2012, il dimensionamento mediante il modello YAS ed il dimensionamento basato sulla minimizzazione dei costi.

### 9.1 Dimensionamento basato sulla specifica tecnica UNI/TS 11445:2012

La specifica tecnica UNI/TS 11445:2012 rappresenta il riferimento normativo italiano per la raccolta delle acque meteoriche in adeguati serbatoi di stoccaggio.

Essa prevede due metodologie di dimensionamento, quella semplificata e quella analitica. In questo paragrafo viene trattata la metodologia semplificata, valida per consumi uniformi durante l'anno, mentre quella analitica, denominata modello YAS, viene trattata nel prossimo Paragrafo.

Il volume di acqua per consumo domestico è dato dalla somma del fabbisogno idrico per usi interni con quello per usi esterni.

In questa tesi la domanda idrica interna è stata posta pari a zero in modo da progettare il sistema di riutilizzo dell'acqua piovana solo per il mantenimento del verde privato.

Il fabbisogno idrico giornaliero in  $d_t [\frac{m^3}{giorno}]$ , in cui l'indice  $t$  indica il  $t$ -esimo giorno dell'anno, è stato calcolato come descritto nel Paragrafo 5.9.

L'afflusso meteorico giornaliero è dato da:

$$q_t = \varphi \cdot P \cdot S_c [\frac{m^3}{giorno}] \quad (9.1)$$

in cui  $P [\frac{m^3}{mq \cdot giorno}]$  è la precipitazione media annua,  $\varphi [-]$  è il coefficiente di deflusso che è pari al rapporto tra il volume defluito con quello affluito, esso varia in funzione della tipologia di copertura ed i suoi valori sono riportati nella Tabella 11, mentre  $S_c [m^2]$  è la superficie del tetto, detta di captazione, in proiezione orizzontale.

Tabella 11: Coefficienti di deflusso.

TIPO DI COPERTURA	$\varphi$ [-]
Copertura impermeabile a falda (pendenza<3%)	0,8
Copertura impermeabile piana	0,7
Copertura permeabile (verde pensile)	0,5
Superficie impermeabile a terra	0,7

Secondo tale specifica tecnica, il volume utile si calcola valutando il valore minimo tra il fabbisogno idrico annuo  $D = \sum_{t=1}^n d_t$  [ $m^3$ ], in cui  $n = 365$  indica il numero di giorni in un anno ed  $t$  indica l' $t$ -esimo giorno, e l'afflusso meteorico annuo  $Q = \sum_{t=1}^n q_t$  [ $m^3$ ] e lo si moltiplica per un fattore adimensionale  $F_p$  dato da:

$$F_p = \frac{\text{MAX}[\text{giorni secchi consecutivi}]}{\text{giorni dell'anno}} \sim 0,06 \text{ [-]} \quad (9.2)$$

Il volume utile,  $V_u$  [ $m^3$ ] è:

$$V_u = \text{MIN}[D; Q] \cdot F_p \quad (9.3)$$

Il volume ottimale  $V_o$  [ $m^3$ ], invece, lo si ottiene moltiplicando il volume utile per un coefficiente di sicurezza  $C_s = 1,5$  che garantisce un'elevata efficienza del sistema anche in presenza di notevoli variazioni della precipitazione annua:

$$V_o = V_u \cdot C_s \quad (9.4)$$

Il valore di volume ottimale viene arrotondato per eccesso.

Nota il valore del volume ottimale è possibile scegliere il volume della cisterna per l'immagazzinamento dell'acqua piovana. Il valore del volume del serbatoio dovrà soddisfare la seguente disequazione:

$$V_{\text{serbatoio}} \geq V_o \quad (9.5)$$

Per cui, facendo riferimento alle cisterne KESSEL presenti sul mercato, riportate in Tabella 9, si andrà a scegliere quel serbatoio o la combinazione di due o più serbatoi che oltre a soddisfare l'Equazione (9.5) risulti essere anche il più piccolo tra tutti quelli che soddisfano l'Equazione (9.5).

Scelta la/e cisterna/e è possibile calcolare il volume annuo di acqua recuperata  $V_r$  [ $m^3$ ].

Il volume di acqua giornaliera recuperata  $v_{r_t}$  [ $m^3$ ] corrisponde al minimo tra il valore giornaliero di  $q_t$  e il volume di domanda giornaliero  $d_t$ :

$$v_{r_t} = \text{MIN} [q_t; d_t] \quad (9.6)$$

Il volume annuo di acqua recuperata è:

$$V_r = \sum_{t=1}^n v_{r_t} \quad (9.7)$$

Quando la pioggia non basta bisogna ricorrere alla rete acquedottistica. Il volume di acqua che va preso dall'acquedotto, invece, è calcolato come la differenza tra la domanda verde annua di acqua e la domanda verde annua soddisfatta dal serbatoio:

$$M = D - V_r \quad (9.8)$$

L'efficienza del sistema viene valutata attraverso due indici (Campisano e Modica, 2011) riportati di seguito.

- $WS$  indice di efficienza idrica calcolato come percentuale di domanda idrica non potabile annua effettivamente soddisfatta dal serbatoio di raccolta:

$$WS = \frac{V_r}{D} \cdot 100 \quad (9.9)$$

- Indice di riduzione di deflusso di sfioro  $I_F$ , complementare della percentuale di sfioro, è legato al volume idrico di sfioro che rappresenta la quantità d'acqua piovana in eccesso e che quindi non è stata riutilizzata per l'uso irriguo, per cui lo si calcola mediante l'equazione:

$$(100 - O_F) = \left(100 - \frac{Q - V_r}{Q}\right) \cdot 100 \quad (9.10)$$

L'over-flow  $O_F$  lo si valuta come differenza tra l'afflusso meteorico annuo e volume di acqua piovana recuperata. L'indice di sfioro rapporta tale quantità all'afflusso meteorico annuo.

La procedura descritta è stata iterata per tutti i modelli di verde introdotti nel Capitolo 7, dove per ognuno di essi sono stati analizzati tutti i sistemi ospitanti.

### 9.1.1 Modello n. 1: verde di solo prato

Per ogni anno appartenente alla serie storica è stata calcolata la domanda idrica giornaliera legata al suddetto modello di verde per poi procedere all'applicazione della procedura descritta nel paragrafo 9.1. In termini di efficienza del sistema, i risultati ottenuti sono riportati in Figura 19, in cui sull'asse

orizzontale vi è la variabile  $I_s = \frac{mq_{coltura}}{S_c}$  [-] ovvero la superficie coltivata fratto la superficie di captazione.

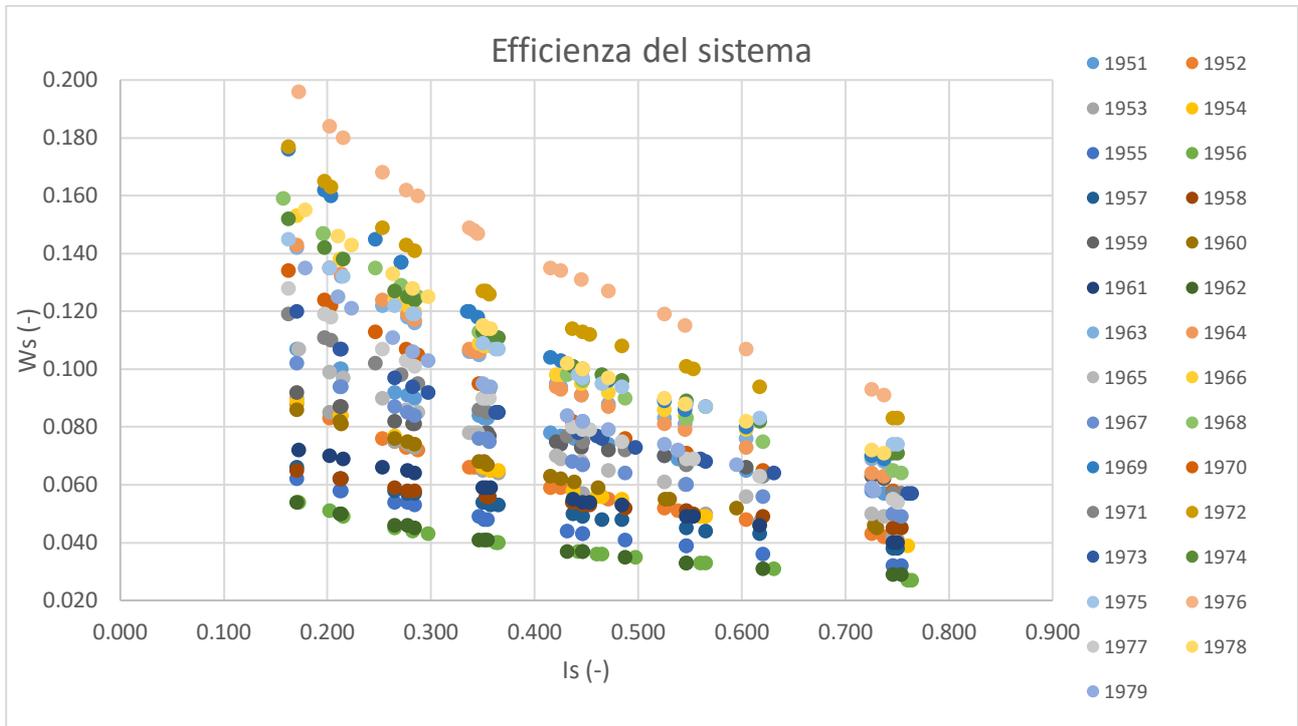


Figura 19: Curve di efficienza del sistema per le serie storiche.

Nel caso in cui si applica la procedura per l'anno medio si ottiene il risultato di Figura 20.

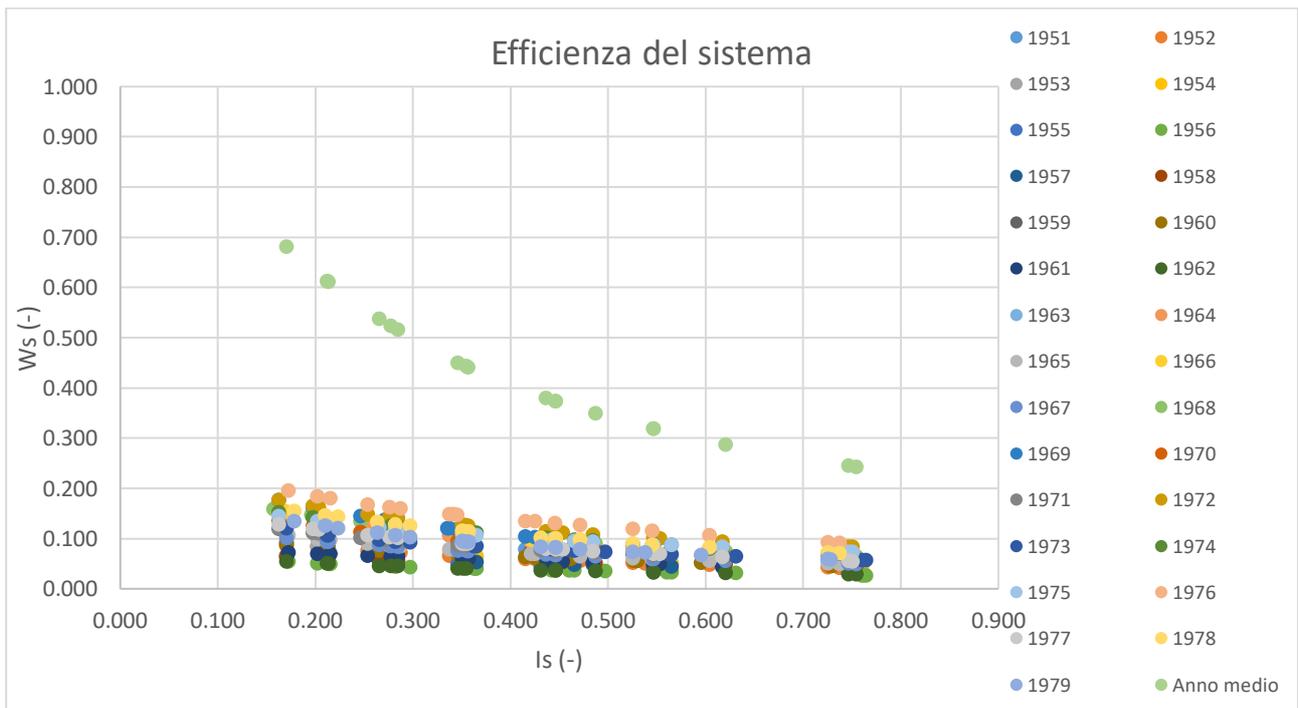


Figura 20: Curva di efficienza sull'anno medio.

Dall'osservazione del soprariportato grafico è possibile osservare come i risultati ottenuti dai valori medi si distacchino dalle curve tracciate utilizzando in input i valori misurati. Questo accade in quanto l'operazione di media va a tagliare i picchi e ad aumentare il numero di giorni piovosi e millimetri di pioggia annui.

Visti i risultati ottenuti, per poter ricavare un'equazione generale che descriva il sistema nella suddetta zona per tale modello l'operazione di media è stata applicata ai valori di efficienza  $W_s (-)$  e della variabile  $I_s (-)$  ottenendo la curva di Figura 21.

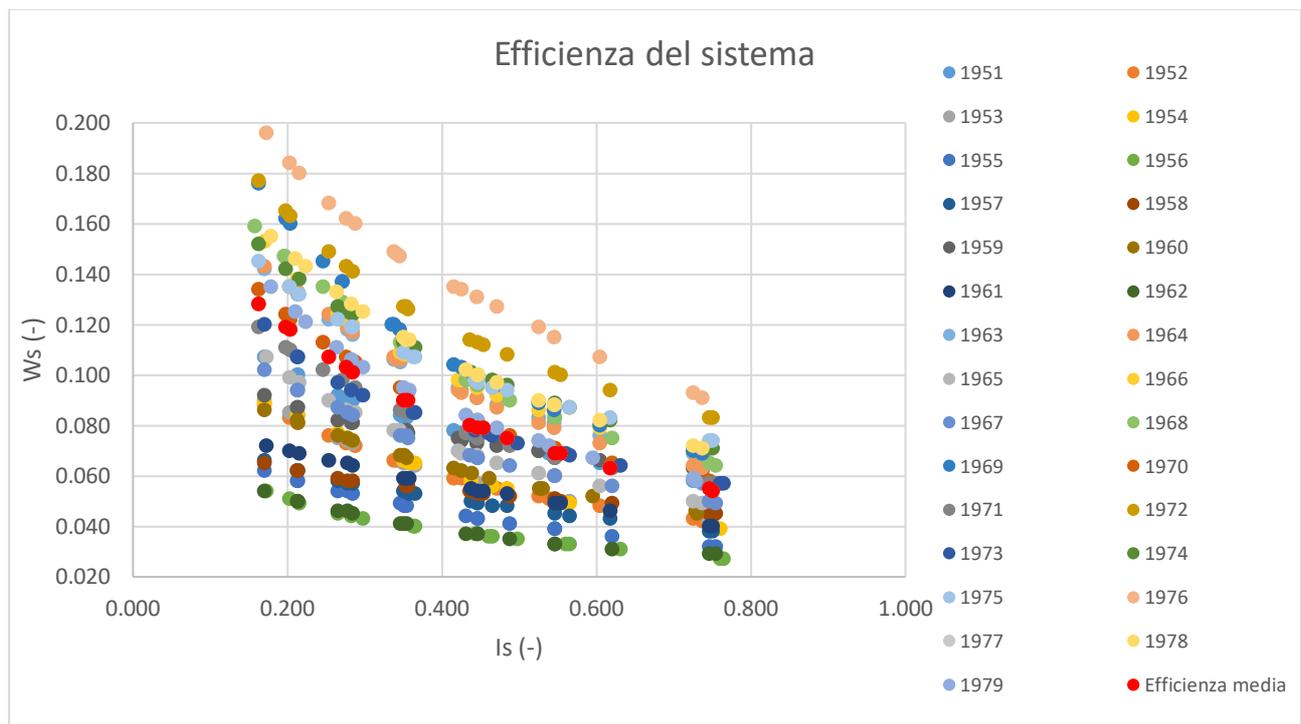


Figura 21: Curva di efficienza media.

L'andamento dell'efficienza in funzione di  $I_s$  è descritto dall'equazione di potenza:

$$W_s = 0,0489 \cdot I_s^{-0,563} \quad (9.11)$$

Quest'equazione mostra come per una fissata superficie di raccolta  $S_c [m^2]$  l'efficienza del sistema diminuisce all'aumentare della superficie coltivata, mentre per un assegnata superficie di coltura l'efficienza diminuisce al diminuire della superficie di raccolta.

In ambito statistico è stata valutata la varianza  $\sigma^2 = \sigma^2(I_s)$  il cui andamento è stato riportato nella Figura 22, in cui la linea di tendenza è descritta dall'Equazione (9.12).

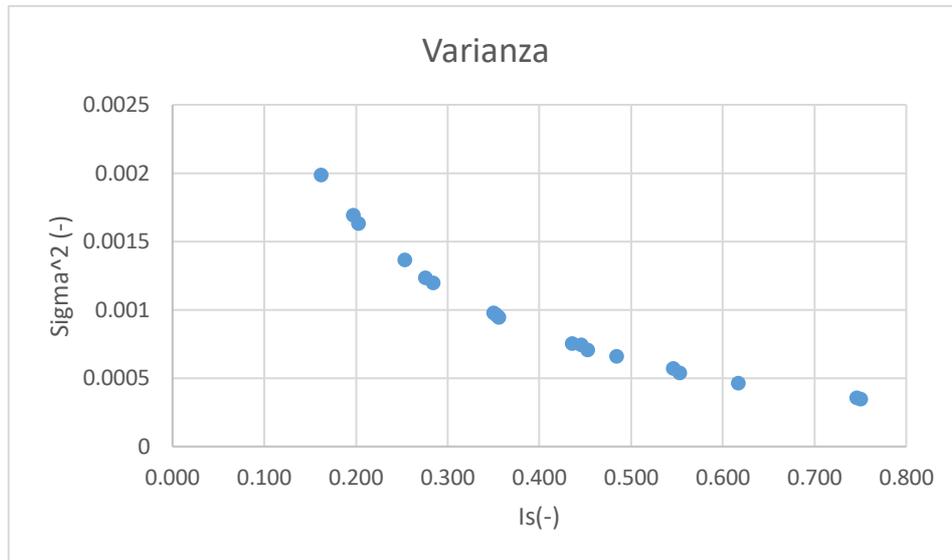


Figura 22: Varianza legata al parametro adimensionale  $I_s$ .

$$\sigma^2 = 0,0003 \cdot I_s^{-1,136} \quad (9.12)$$

Quest'equazione ci dice che all'aumentare di  $I_s$  si registra una riduzione della dispersione dei valori rispetto alla media.

### 9.1.2 Modello n. 2: verde di solo orto

Come per il modello 1 sono stati realizzati gli elaborati Figura 23 e Figura 24.

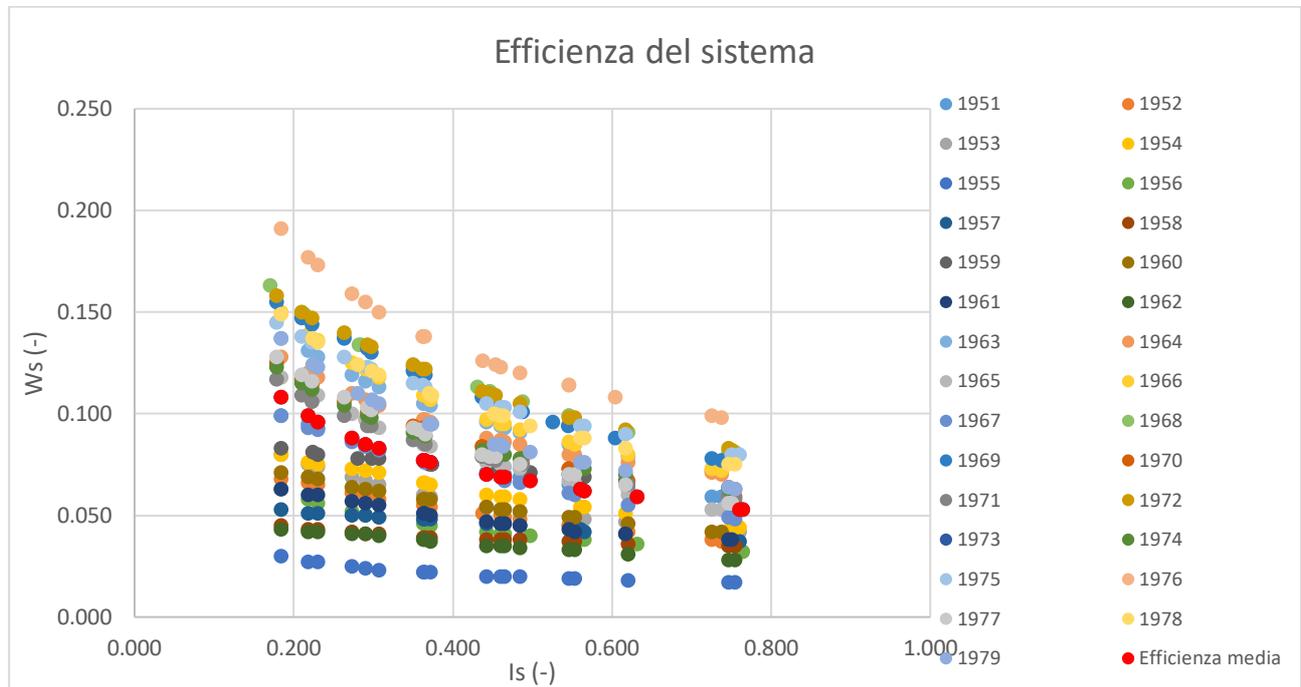


Figura 23: Curva di efficienza media.

Dall'osservazione della Figura 23 è possibile constatare che l'andamento dell'efficienza in funzione di  $I_s$  è descritto dall'equazione:

$$W_s = 0,0469 \cdot I_s^{-0,489} \quad (9.13)$$

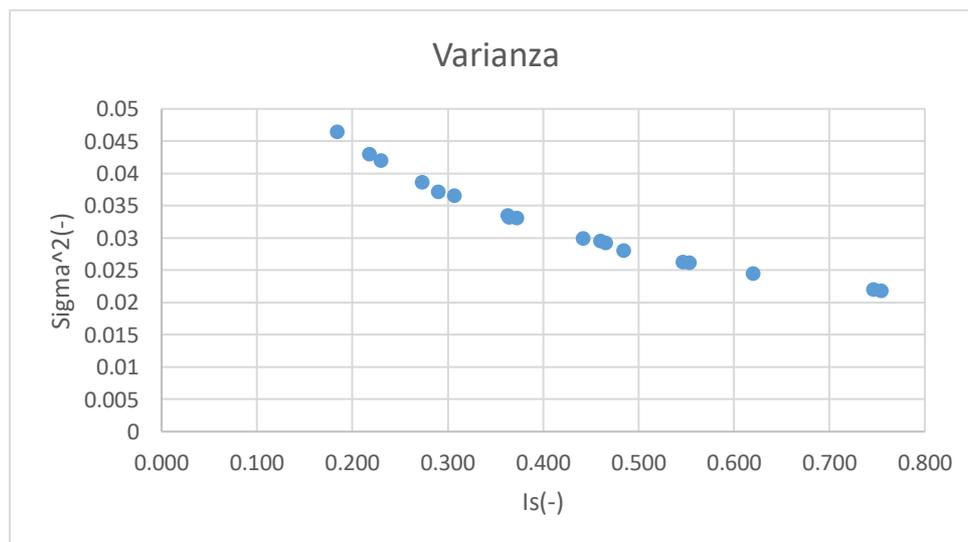


Figura 24: Varianza legata al parametro adimensionale  $I_s$ .

Mentre osservando la Figura 24 si vede che la varianza  $\sigma^2 = \sigma^2(I_s)$  è descritta dall'equazione:

$$\sigma^2 = 0,0191 \cdot I_s^{-0,541} \quad (9.14)$$

Le considerazioni fatte nel modello 1 valgono per questo e per tutti gli altri modelli.

### 9.1.3 Modello n. 3: verde di prato con frutteto

I risultati sono indicati nei grafici in Figura 25 e Figura 26.

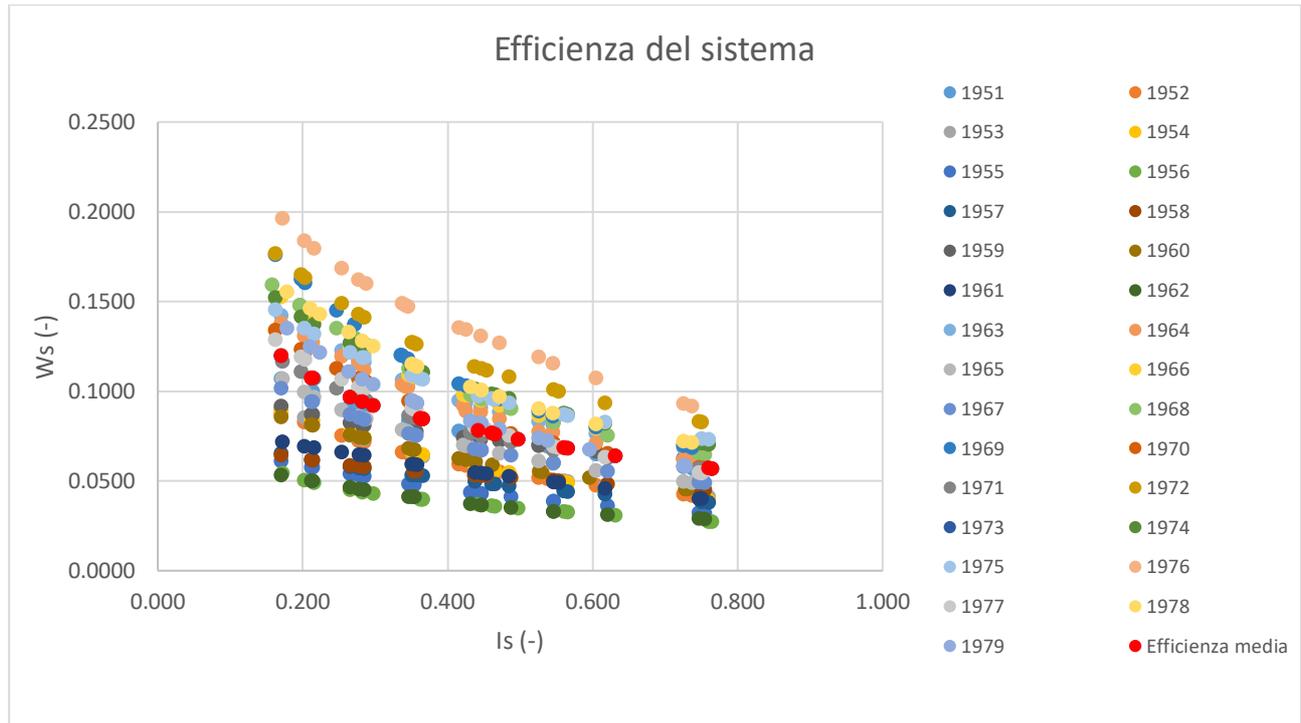


Figura 25: Curva di efficienza media.

Osservando il grafico soprastante si evince come l'andamento dell'efficienza in funzione di  $I_s$  è descritto dall'equazione:

$$W_s = 0,051 \cdot I_s^{-0,481} \quad (9.15)$$

Mentre osservando il grafico Figura 26 si osserva un andamento della varianza descritto dall'equazione:

$$\sigma^2 = 0,0002 \cdot I_s^{-1,199} \quad (9.16)$$

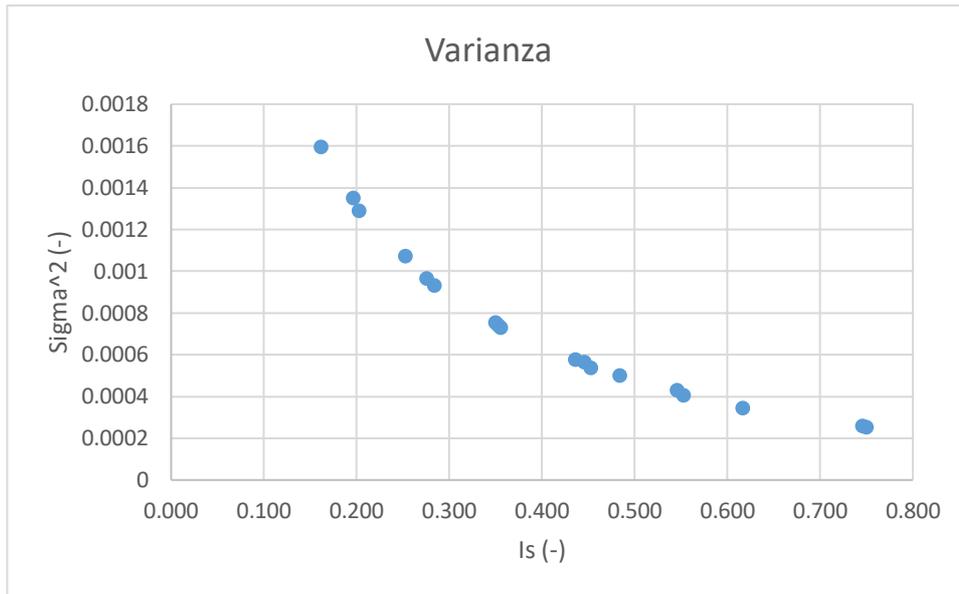


Figura 26: Varianza legata al parametro adimensionale  $I_s$ .

#### 9.1.4 Modello n. 4: verde di prato con arbusti

I risultati sono indicati nei grafici in Figura 27 e Figura 28.

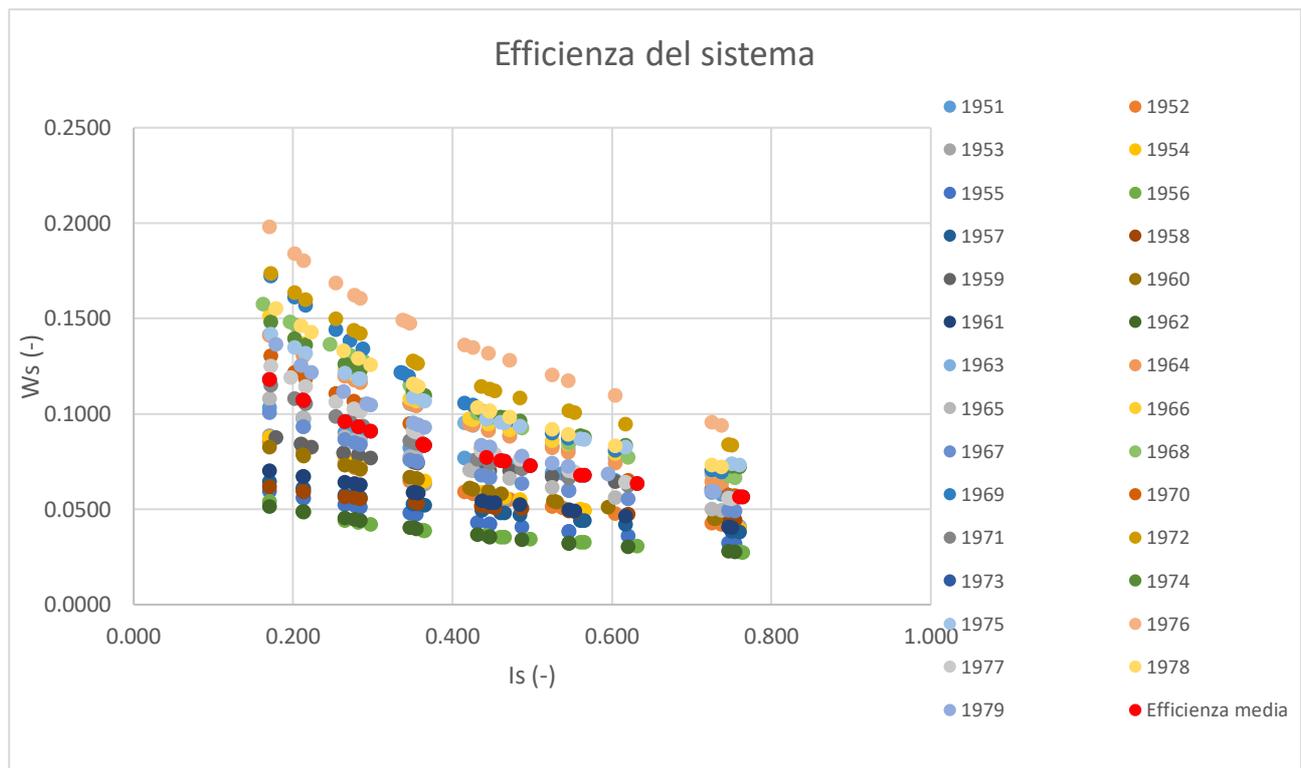


Figura 27: Curva di efficienza media.

L'andamento dell'efficienza in funzione di  $I_s$  è descritto dall'equazione:

$$W_s = 0,0511 \cdot I_s^{-0,481} \quad (9.17)$$

mentre la varianza dall'equazione:

$$\sigma^2 = 0,0004 \cdot I_s^{-1,003}$$

(9. 18)

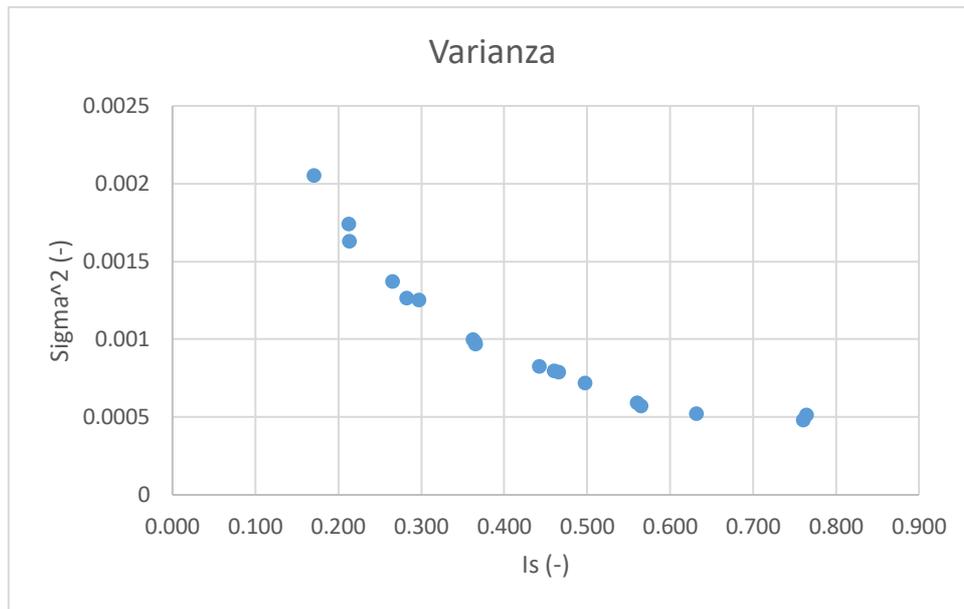


Figura 28: Varianza legata al parametro adimensionale  $I_s$ .

## 9.2 Dimensionamento del sistema di recupero dell'acqua piovana mediante il modello YAS

Come già detto nel Paragrafo 9.1, in questo paragrafo viene trattata la metodologia analitica per il dimensionamento del sistema di raccolta. In particolare viene implementato un modello per valutare l'afflusso, il deflusso e la variazione del volume di stoccaggio di un sistema di raccolta dell'acqua piovana secondo un'equazione di bilancio di massa giornaliera sotto l'osservazione delle serie storiche delle precipitazioni [8]. Il volume della cisterna, per ciascun modello di verde, per ogni anno e per ciascuna sistema ospitante, è lo stesso impiegato nel dimensionamento secondo la metodologia semplificata introdotta con la specifica tecnica UNI/TS 11445:2012. A differenza del metodo precedente, nella valutazione del volume di acqua nella cisterna nel giorno corrente si tiene conto del volume immagazzinato il giorno precedente in modo da avere una valutazione più accurata del volume di acqua recuperabile.

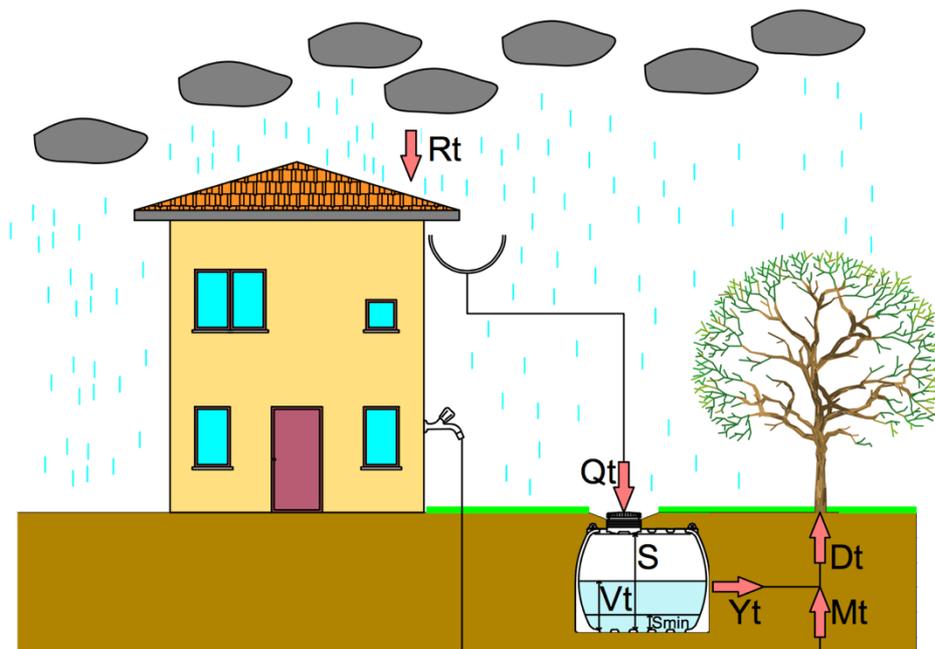


Figura 29: Configurazione del sistema di raccolta dell'acqua piovana utilizzato nel modello YAS.

L'immagine di Figura 29 mostra i vari termini che caratterizzano la progettazione del modello, che sono:

- $R_t [m^3]$  è la pioggia al tempo  $t$ ;
- $V_t [m^3]$  è il volume nel serbatoio al tempo  $t$ ;
- $D_t [m^3]$  è la domanda idrica al tempo  $t$ ;
- $M_t [m^3]$  è l'apporto dell'acquedotto al tempo  $t$ ;
- $O_t [m^3]$  è l'overflow al tempo  $t$ ;
- $Q_t [m^3]$  è la portata affluente al tempo  $t$ ;

- $S [m^3]$  è la capacità del serbatoio;
- $S_{min} [m^3]$  è la capacità minima del serbatoio;

Facendo riferimento alla Figura 29 è possibile scrivere l'equazione di bilancio di massa giornaliero su cui si basa il modello:

$$V_t = Q_t + V_{t-1} - Y_t - O_t \quad (9.19)$$

in cui  $t$  indica il giorno  $t$  -esimo. Assumendo che il serbatoio è coperto, è possibile trascurare le perdite dovute all'evaporazione. La portata affluente  $Q_t$  è data da:

$$Q_t = \varphi \cdot R_t \cdot S_c \quad (9.20)$$

dove  $\varphi [-]$  è il coefficiente di deflusso e  $S_c [m^2]$  è la superficie di raccolta.

Nel modello si assume che l'acqua piovana venga raccolta solo dai tetti, per cui  $S_c$  coincide con la superficie della copertura dell'edificio. I termini di bilancio di massa vengono valutati mediante la regola YAS, ovvero della resa dopo la fuoriuscita:

$$Y_t = \min \left\{ \begin{matrix} D_t \\ V_{t-1} \end{matrix} \right. \quad \& \quad V_t = \min \left\{ \begin{matrix} V_{t-1} - Y_t + Q_t \\ S - Y_t \end{matrix} \right. \quad (9.21)$$

In questo modo si ha una stima conservativa delle prestazioni del sistema indipendentemente dalla scala temporale del modello. Inoltre, l'algoritmo YAS è basato sulla sua minore sensibilità alle variazioni della capacità di stoccaggio e della richiesta di acqua. Il volume iniziale nel serbatoio è assunto pari a  $S_{min} = 0,5 m^3$  indipendentemente dalla capacità di stoccaggio [8]. Tale ipotesi equivale a predisporre un deposito inizialmente vuoto come in genere si raccomanda. Il modello comportamentale implementa anche il periodo di tempo trascorso dell'acqua nel serbatoio, detto tempo di detenzione. Il calcolo di questo periodo ad ogni passo temporale si basa sul fatto che nel caso in cui  $Q_t = 0 m^3$  l'acqua nella vasca invecchia, mentre se  $Q_t \neq 0 m^3$  l'acqua piovana si mescola con quella stoccata determinando un effetto diluente, rendendo quella immagazzinata più giovane. Difatti, ad ogni passo temporale il tempo di detenzione è uguale all'età dell'acqua immagazzinata dopo la fuoriuscita. La miscelazione completa tra  $Q_t$  e l'acqua stoccata è assunta dicendo che dato il passo giornaliero l'ipotesi è considerata rappresentativa del comportamento del sistema.

La progettazione del sistema di raccolta delle acque piovane varia in base alle condizioni locali ambientali e in base alla capacità di stoccaggio legata agli spazi. Per questa ragione si introducono due parametri adimensionali, che sono:

$$\begin{aligned}
 \text{Frazione di domanda} &= \frac{D}{Q} = \frac{\text{Domanda annuale di acqua}}{\text{Inflow annuale}} \\
 \text{Frazione di stoccaggio} &= \frac{S}{Q}
 \end{aligned}
 \tag{9. 22}$$

La valutazione della performance del sistema di raccolta dell'acqua piovana avviene per mezzo di due indici adimensionali:

$$\begin{aligned}
 W_s &= \frac{\sum_{t=1}^T Y_t}{\sum_{t=1}^T D_t} \\
 O_T &= \frac{\sum_{t=1}^T O_t}{\sum_{t=1}^T Q_t}
 \end{aligned}
 \tag{9. 23}$$

dove  $W_s$  è l'efficienza di risparmio idrico, data dal rapporto tra volume di acqua fornito e la richiesta idrica per il mantenimento del verde e  $O_T$  è il rapporto di over-flow di acqua piovana dato dal rapporto tra l'acqua piovana eccedente la capacità del sistema ad ogni step  $t$  e l'in-flow ad ogni step  $t$ .

Nello studio si andranno ad analizzare gli stessi modelli di verde privato realizzati nel Capitolo 7, costituenti i sistemi ospitanti trattati mediante la specifica tecnica UNI/TS 11445: 2012.

Le simulazioni sono state eseguite alla scala temporale giornaliera ed ogni scenario è stato simulato avente come input le medesime serie storiche delle precipitazioni di 30 anni.

Il volume ottimale, con il quale si determina il volume del serbatoio da installare, è stato determinato allo stesso modo della specifica tecnica.

### 9.2.1 Modello n. 1: verde di solo prato

In termini di efficienza del sistema, i risultati ottenuti sono riportati nel grafico sottostante, in cui sull'asse orizzontale vi è la variabile  $I_s = \frac{mq_{coltura}}{S_c} [-]$ .

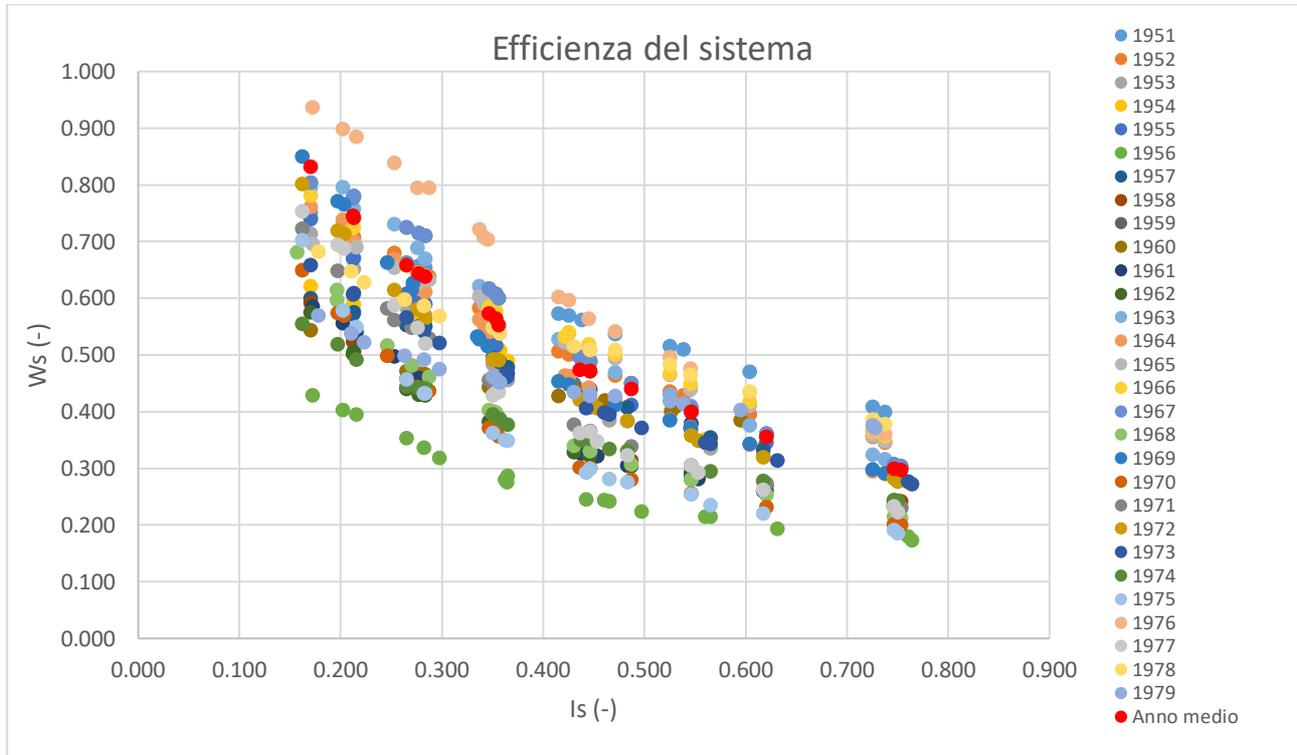


Figura 30: Curve di efficienza.

In questo caso, la media, riportata in Figura 30 è l'andamento ottenuto ipotizzando l'anno medio ottenuto mediando le serie storiche. A differenza del caso precedente, nonostante si siano tagliati i picchi di precipitazione e aumentati i millimetri di pioggia durante i giorni estivi il risultato risulta coerente con quanto accertato mediante le serie storiche. Questo è dovuto al fatto che il volume nel serbatoio nel modello YAS è legato sia alla domanda idrica che all'afflusso meteorico, mentre nella specifica tecnica era determinato o dalla domanda idrica o dall'afflusso meteorico.

L'andamento dell'efficienza in funzione di  $I_s$  è descritto dall'equazione:

$$W_s = 0,2598 \cdot I_s^{-0,698} \quad (9.24)$$

### 9.2.2 Modello n. 2: verde di solo orto

Analogamente al modello 1 i risultati ottenuti sono stati riportati nella Figura 31.

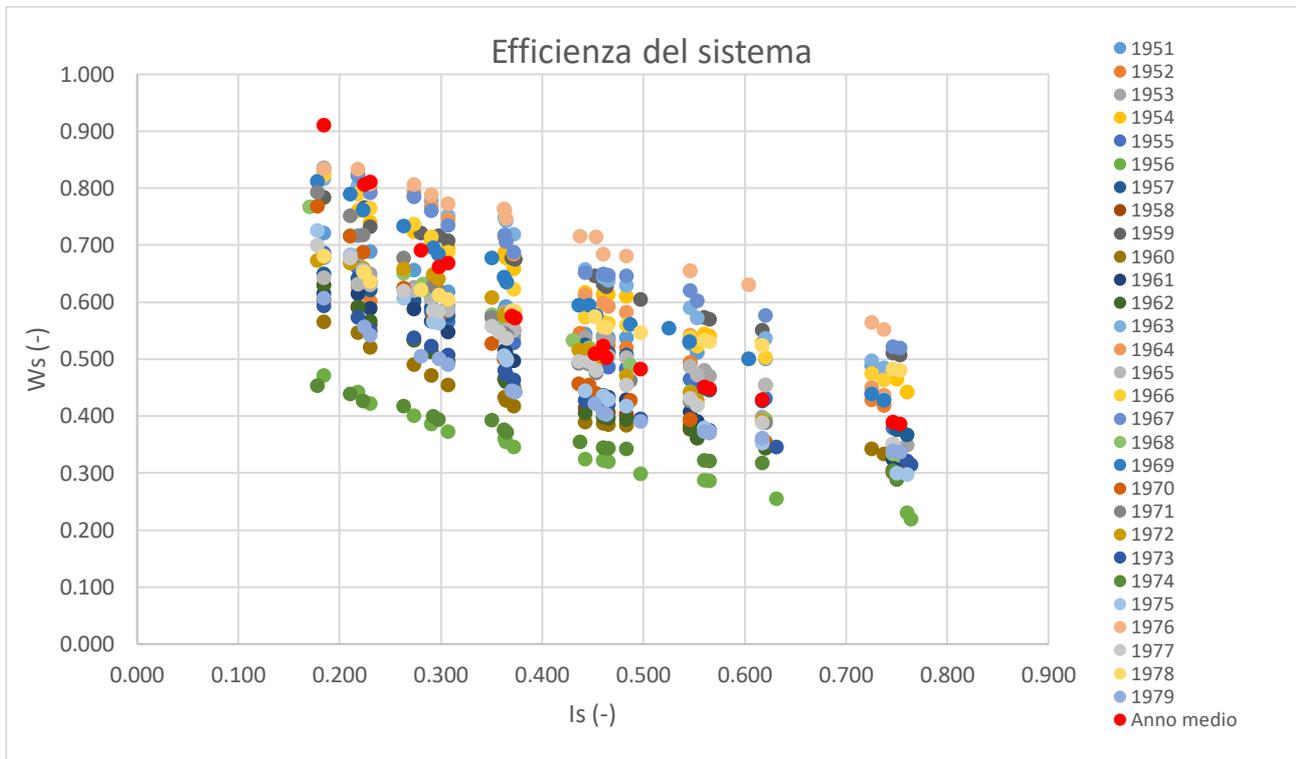


Figura 31: Curve di efficienza.

L'andamento dell'efficienza in funzione di  $I_s$  è descritto dall'equazione:

$$W_s = 0,3169 \cdot I_s^{-0,619} \quad (9. 25)$$

### 9.2.3 Modello n. 3: verde di prato con frutteto

I risultati ottenuti sono in Figura 32.

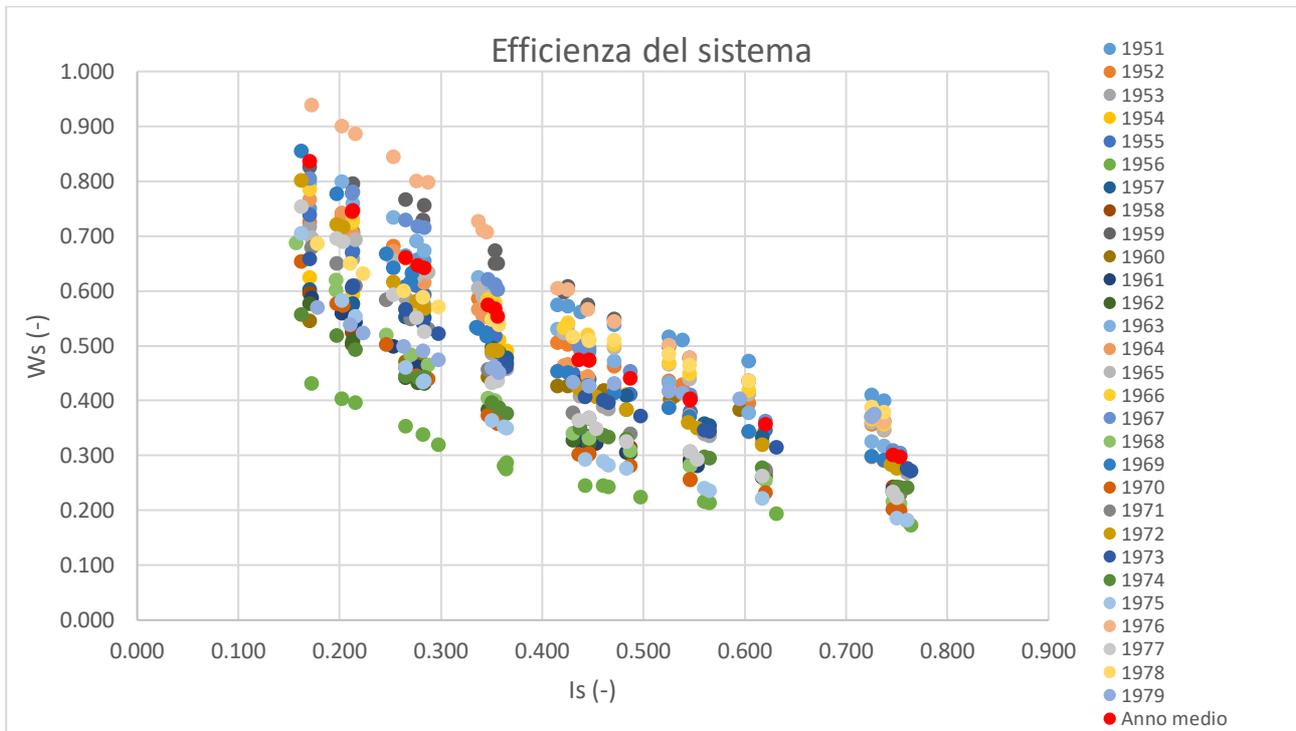


Figura 32: Curve di efficienza.

L'andamento dell'efficienza in funzione di  $I_s$  è descritto dall'equazione:

$$W_s = 0,2613 \cdot I_s^{-0,697} \quad (9. 26)$$

## 9.2.4 Modello n. 4: verde di prato con arbusti

I risultati sono stati riportati in Figura 33.

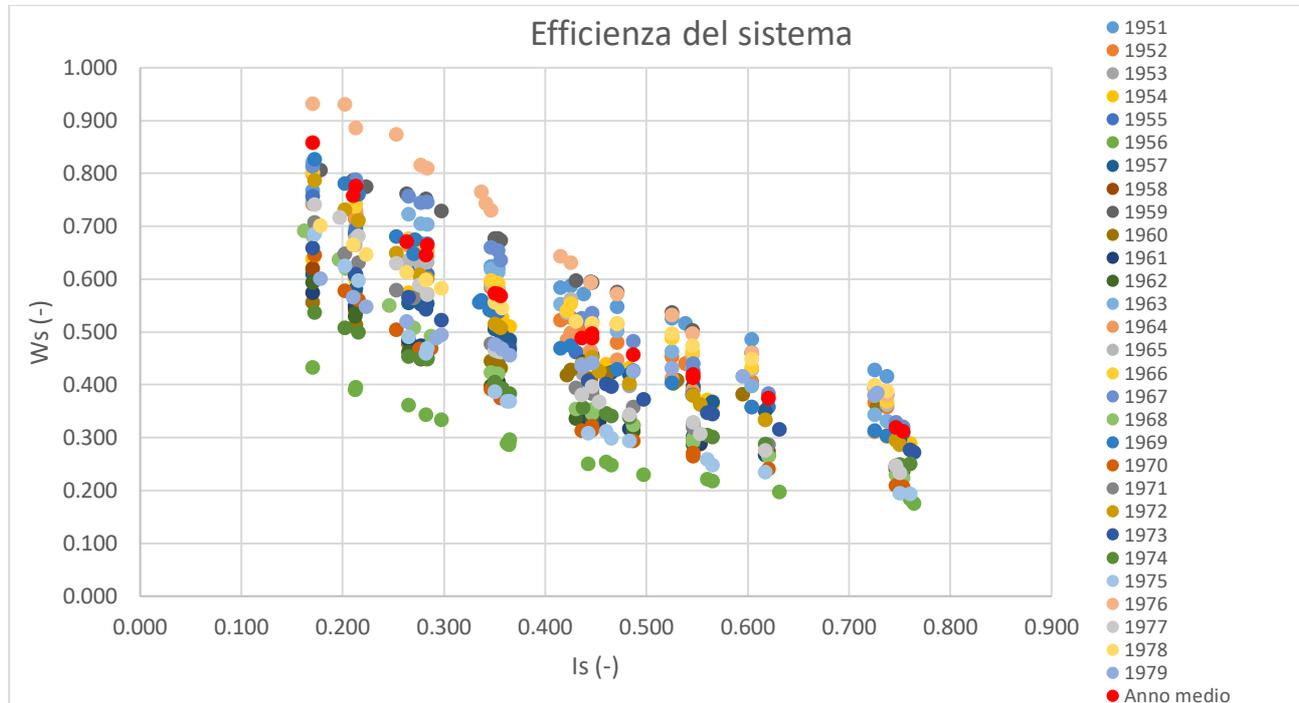


Figura 33: Curve di efficienza.

L'andamento dell'efficienza in funzione di  $I_s$  è descritto dall'equazione:

$$W_s = 0,2749 \cdot I_s^{-0,675} \quad (9.27)$$

## 9.3 Dimensionamento basato sulla minimizzazione dei costi

La tematica trattata in questo paragrafo riguarda l'aspetto economico legato alla realizzazione del sistema di raccolta dell'acqua piovana.

Difatti, si va ad analizzare quanto l'istallazione dei suddetti sistemi risulti conveniente in termini di bolletta idrica.

Non c'è dubbio sul fatto che le soluzioni comportano una riduzione dei volumi idrici prelevati dall'acquedotto con riduzione degli sprechi di acqua potabile.

Nonostante tutto, è lecito chiedersi se la motivazione ambientale deve essere accompagnata da quella economica.

Nell'espressione analitica per il dimensionamento ottimale di una cisterna in funzione della minimizzazione dei costi due sono le voci di costo che si vanno a considerare [7]:

- Costo fisso  $G_f$  che comprende il costo di costruzione e di installazione del serbatoio e dell'acquisto dei semi delle colture scelte;

- Costo distribuito  $G_d$  legato alla fornitura di acqua acquedottistica per riempire il serbatoio quando si verificano periodi di siccità;

La voce dei costi fissi è legata ai materiali impiegati. Al fine di poter procedere con una valutazione numerica si è ipotizzato di realizzare il sistema di raccolta dell'acqua piovana con prodotti di marca KESSEL.

### 9.3.1 Sistema di raccolta KESSEL

Affinché sia possibile installare un sistema di raccolta dell'acqua piovana, bisogna avere a disposizione una superficie di raccolta. Essendo nell'ambito del bilancio idrico a scala di edificio, la superficie di raccolta coincide con la proiezione orizzontale del tetto della struttura. L'acqua piovana, una volta in contatto con la superficie di raccolta, viene incanalata fino ad arrivare ad una canaletta di drenaggio in cui avviene una prima filtrazione che va a separare l'acqua da eventuali residui che la corrente ha portato con sé durante il tragitto. A questo punto viene inviata al sistema di filtraggio vero e proprio dove avviene la seconda filtrazione per poi essere mandata all'interno della cisterna di raccolta interrata. All'interno del serbatoio è presente una pompa che permette il sollevamento dell'acqua per poter essere utilizzata per l'irrigazione. Sia la cisterna che il sistema di filtraggio sono collegati ad un esalatore che ha il compito di garantire un ricircolo dell'aria per evitare il ristagno di cattivi odori.

Il kit completo, come sopra descritto, è riportato in Figura 34.

**Kit completi KESSEL per irrigazione di giardini  
con Pompa ad immersione nel serbatoio di raccolta delle acque piovane,  
Sistema 400 di filtraggio delle acque piovane  
e Serbatoio di raccolta delle acque piovane *Aqabase*® per impieghi in prati / giardini**



L'illustrazione mostra 85930.10

*Figura 34: Sistema di riutilizzo di acqua piovana KESSEL.*

I prezzi delle componenti principali sono disponibili sul sito [www.KESSEL.Italia.com](http://www.KESSEL.Italia.com) e sono stati riportati nelle tabelle e figure sottostanti. [9][VII].

Tabella 12: Serbatoi KESSEL sul mercato, prezzi e misure.

VOLUME		d [m]	h [m]	l [m]	Prezzo [€]
[m <sup>3</sup> ]	[l]				
3	3000	1,2	1,785	2,88	1491
4,5	4500	1,76	2,3	2,282	2001
6	6000	1,76	2,3	3,062	2261
9	9000	2,01	2,37	3,47	3078

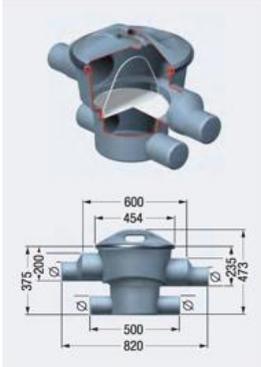
Sistema di filtraggio KESSEL 400		Sc [m <sup>2</sup> ]	Prezzo [€]
Installazione superficiale		fino a 300	454
Installazione interrata	Classe A	fino a 300	570
	Classe B		623

Figura 35: Sistema di filtraggio KESSEL.

Pompe KESSEL per l'irrigazione di giardini		Prezzo [€]
Pompa KESSEL ad immersione multi-strato	 <p> <b>Pompa KESSEL ad immersione per giardini</b>  <b>Pompa ad immersione multi-stadio.</b>            Per il pompaggio di acqua pulita priva di componenti aggressivi o abrasivi da serbatoi o sorgenti.            Raccordo da 1 pollice (25.4 mm) con filettatura interna per condotto pressurizzato, filtro integrato, interruttore a galleggiante per regolazione individuale del livello d'arresto (ON/OFF), protezione termica con cavo di alimentazione da 10 m di lunghezza.            Massima altezza di pompaggio: 55 m            Massima capacità di pompaggio: 4.0 m<sup>3</sup>/h            Tensione: 230 V ~ 50 Hz            Potenza nominale del motore P1: 0.95 kW            Consumo di corrente: 4.1 A            Protezione: IP 68            Massima profondità di immersione: 8 m            Giri/min.: 2800 min<sup>-1</sup>            Peso: 10.5 kg         </p>	200
Pompa KESSEL autodescendente rotativa a getto	 <p> <b>Pompa KESSEL per giardini</b>  <b>Pompa autoadescente rotativa a getto.</b>            Capacità autoadescente fino a 8 m. Per il pompaggio di acqua pulita da serbatoi o sorgenti.            Raccordo da 1 pollice (25.4 mm) con filettatura interna per condotto pressurizzato, raccordo da 1 pollice (25.4 mm) con filettatura interna per condotto d'immissione, con cavo di alimentazione di 2 m e interruttore ON/OFF integrato, protezione termica e impugnatura di trasporto integrata.            Massima altezza di pompaggio: 35 m            Massima capacità di pompaggio: 50 l/min.            Tensione: 230 V ~ 50 Hz            Potenza nominale del motore P1: 0.6 kW            Consumo di corrente: 2.9 A            Protezione: IP 44            Giri/min.: 2900 min<sup>-1</sup>            Peso: 6.5 kg            Temperatura operativa: max. 40°C         </p>	220

Figura 36: Sistema di pompaggio KESSEL.

Esalatore		Prezzo [€]
PVC		15

Figura 37: Esalatore KESSEL.

Canaletta di drenaggio con cestello di raccolta dei residui		Prezzo [€]
	<p> <b>in polimero, Ø ...</b>  <b>Bocca d'uscita laterale 2.5°, portata 4.5 l/sec</b>  <b>Con cestello di raccolta dei residui.</b>            Copertura della bocca d'immissione per acque piovane con condotto protettivo in materiale sintetico.            Con dispositivo di montaggio a parete.         </p> <p> <b>in polimero, Ø ...</b>  <b>Bocca d'uscita verticale, portata 4.5 l/sec</b> </p>	227

Figura 38: Canaletta di drenaggio KESSEL.

Tubi in PVC	Foto	lunghezza [m]	d [mm]	Prezzo [€/Pz.]
Tubo		1	63	2,1
		2	80	4,6
		1	100	2,45
		1	125	3,6
		2	140	7,6
Curva 45°		[-]	63	0,6
		[-]	80	0,9
		[-]	100	1
		[-]	125	2
		[-]	140	[-]
Raccordo		[-]	63-100	2,79
		[-]	80-100	2,49
		[-]	100-140	1,99
		[-]	125-140	3,9
		[-]	120-140	2,9
Derivazione 45°		[-]	63	0,99
		[-]	80	1,99
		[-]	100	1,99
		[-]	125	3,99
		[-]	140	5,9
Curva 87°		[-]	63	0,7
		[-]	80	0,89
		[-]	100	1,09
		[-]	125	2
		[-]	140	3,05

Figura 39: Tubazioni KESSEL.

### 9.3.2 Costi fissi

Come già detto in precedenza, il costo fisso comprende il costo di acquisto del sistema KESSEL, della sua installazione e manutenzione nel tempo e il prezzo per l'acquisto dei semi delle colture scelte.

I prezzi delle componenti del sistema sono quelli riportati nel Paragrafo 9.3.1 i quali comprendono anche il costo relativo al trasporto degli oggetti sul sistema ospitante.

Per quanto concerne l'installazione si è dovuto tener conto del fatto che le cisterne vadano interrato, per cui sono stati stimati i costi relativi a tale lavorazione mediante il prezzario della Regione Abruzzo disponibile sul sito [www.regioneabruzzo.it](http://www.regioneabruzzo.it). A questi costi si vanno ad aggiungere quelli della manodopera per il montaggio del sistema.

I costi di manutenzione, così come quelli delle tubature e dei semi, sono stati stimati nell'ipotesi che si adattino ai costi di costruzione in relazione alla variazione di volume.

Nella Tabella 13 sono stati riportati i valori della spesa totale in relazione ai metri cubi fisici, che corrispondono al quantitativo da scavare, il quale è direttamente proporzionale al volume totale della cisterna.

*Tabella 13: Cisterne con prezzi di acquisto, installazione manutenzione e semina.*

Volume [m <sup>3</sup> ]	mq_s [m <sup>2</sup> ]	mc_fisici [m <sup>3</sup> ]	Costo serbatoi [€]	Costo scavo [€]	costo manutenzione e semi [€]	Totale [€]
3	3,456	6,2	1491	365,8	1210	3066,8
4,5	4,01632	9,2	2001	542,8	1210	3753,8
6	5,38912	12,4	2261	731,6	1210	4202,6
7,5	7,47232	15,4	3492	1097,4	1430	6019,4
9	6,9747	16,5	3078	973,5	1430	5481,5
10,5	9,40544	21,6	4262	1274,4	1430	6966,4
12	10,77824	24,8	4522	1463,2	1430	7415,2
13,5	10,99102	25,7	5079	1516,3	1430	8025,3
15	12,36382	28,9	5339	1705,1	1430	8474,1
16,5	14,79456	34	6523	2006	1650	10179
18	16,16736	37,2	6783	2194,8	1650	10627,8
19,5	16,38014	38,1	7340	2247,9	1650	11237,9
21	17,75294	41,3	7600	2436,7	1650	11686,7

Nella Tabella 13 a differenza della Tabella 12 sono presenti altre cisterne ottenute come combinazione di quelle presenti nella Tabella 12.

La rappresentazione grafica dei dati in Tabella 13 è quella in Figura 40.

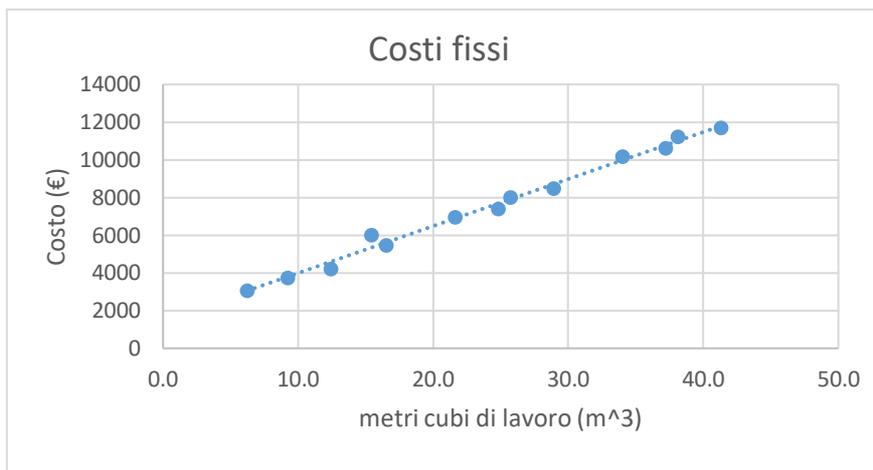


Figura 40: Costi fissi in relazione al volume di scavo.

La funzione di costo fisso, nella zona di studio, è dunque rappresentata dall'equazione:

$$G_f = 249,37 \cdot V_{scavo} + 1500,6 \text{ [€]} \quad (9.28)$$

in cui  $V_{scavo}$  [ $m^3$ ] è il volume dello scavo indicato in Tabella 13 come metri cubi fisici.

### 9.3.3 Costi distribuiti

Il costo distribuito dipende dal prezzo dell'acqua espresso con  $a$  [ $\frac{€}{m^3}$ ]. Nel caso del comune di Celano (AQ), considerando la tariffa a consumo, il prezzo annuale dell'acqua aumenta a scaglioni, come riportato in Figura 41.

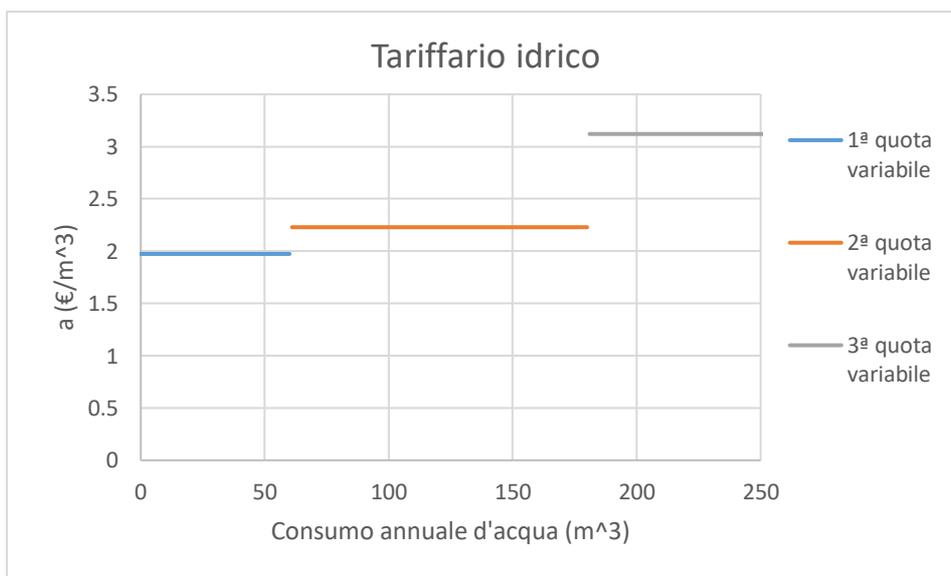


Figura 41: Tariffa a consumo dell'acqua nella Marsica.

Ipotizzando l'assenza di evapotraspirazione per via dell'interramento della cisterna, l'assenza di perdite distribuite e che il coefficiente di deflusso  $\phi = f(i_{tetto}; \text{materiale tetto}; \text{efficienza sistema})$ , il costo distribuito è dato dal costo unitario dell'acqua moltiplicato per la richiesta idrica annua  $M [m^3]$ :

$$G_d = M \cdot a \text{ [€]} \quad (9. 29)$$

### 9.3.4 Funzione di costo: soluzione per la dimensione ottimale di cisterna

Il costo totale può essere calcolato come la somma del costo fisso e quello distribuito. La funzione di costo  $G$  è espressa dall'equazione:

$$G = G_f + G_d = [(249,37 \cdot V_{scavo} + 1500,6) + (M \cdot a)] \quad (9. 30)$$

### 9.3.5 Modello n. 1: verde di solo prato

Visto che il volume del serbatoio per ciascun sistema è lo stesso sia nel modello YAS che nel modello secondo la specifica tecnica UNI/TS 11445: 2012 i costi fissi sono gli stessi per entrambi. Ad essere soggetti a variazioni sono i costi distribuiti in quanto dipendenti dalla richiesta all'acquedotto  $M [m^3]$ . Sulla base delle considerazioni fatte nei capitoli precedenti sono stati analizzati i risultati ottenuti mediante l'impiego dei valori della curva media, sia per la procedura semplificata che per quella analitica, ottenendo il grafico in Figura 42.

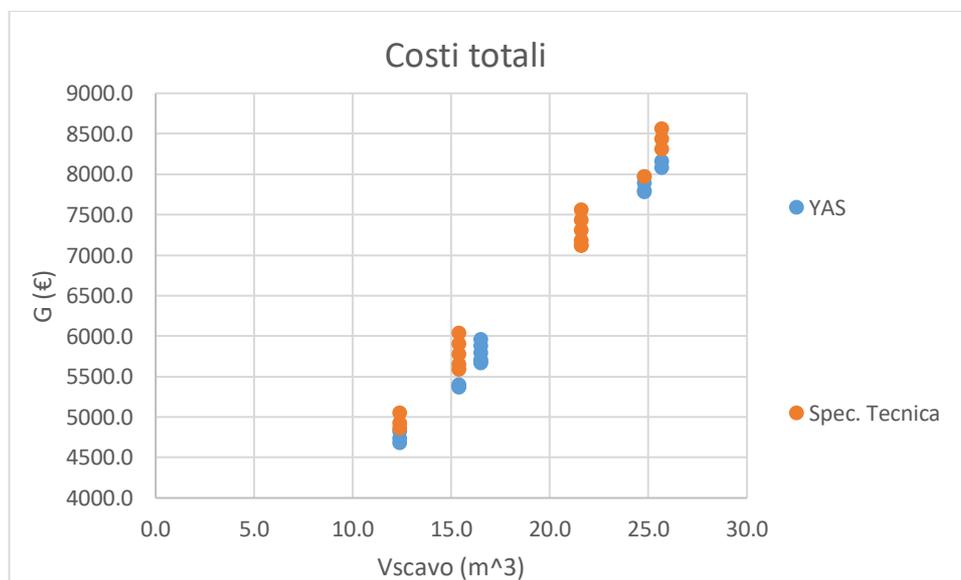


Figura 42: Costi fissi inerenti al modello 1 per le curve medie.

I costi totali possono essere determinati mediante l'impiego delle seguenti equazioni:

$$\begin{aligned} \text{Modello YAS} & \quad G = 254,66 \cdot V_{scavo} + 1553,6 \\ \text{Specifica tecnica} & \quad G = 253,87 \cdot V_{scavo} + 1835 \end{aligned} \quad (9. 31)$$

in cui  $V_{scavo}$  [m<sup>3</sup>] è il volume di scavo che varia in funzione dei metri cubi del serbatoio adottato. In riferimento ai serbatoi della KESSEL già citati in precedenza, i valori di  $V_{scavo}$  sono riportati nella Tabella 14.

Tabella 14: Volumi di scavo in funzione del volume dei serbatoi.

V_serbatoio/i [m <sup>3</sup> ]	V_scavo [m <sup>3</sup> ]
3	6,2
4,5	9,2
6	12,4
7,5	15,4
9	16,5
10,5	21,6
12	24,8
13,5	25,7
15	28,9
16,5	34
18	37,2
19,5	38,1
21	41,3

Dall'osservazione del grafico di Figura si evince come il modello YAS porti a costi leggermente minori della specifica tecnica UNI/TS 11445: 2012.

### 9.3.6 Modello n. 2: verde di solo orto

Analogamente a quanto fatto per il modello 1 sono stati ottenuti i seguenti risultati.

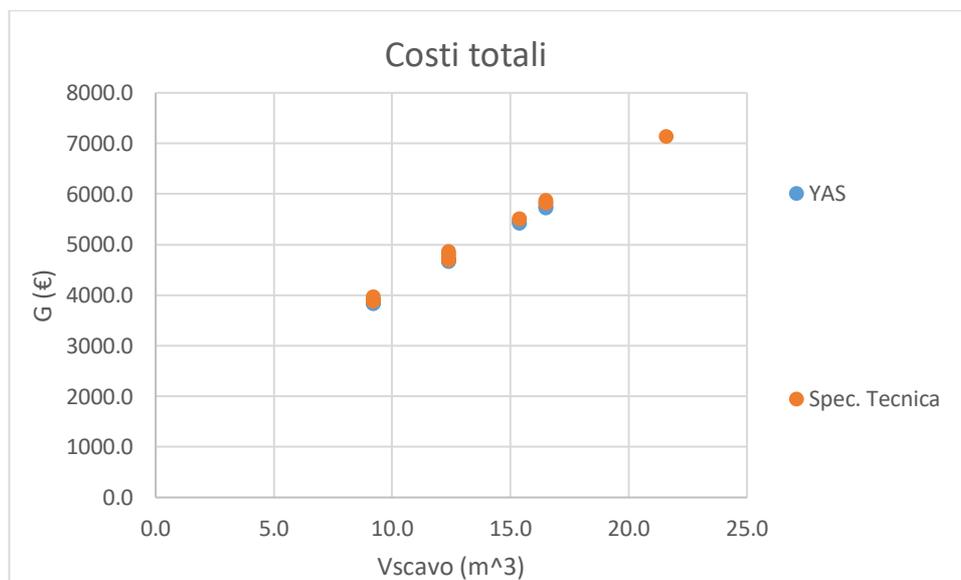


Figura 43: Costi fissi medi per il modello 2.

I costi totali possono essere determinati mediante l'impiego delle seguenti equazioni:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Modello YAS} & G = 257,18 \cdot V_{scavo} + 1485,3 \\
 \text{Specifica tecnica} & G = 261,92 \cdot V_{scavo} + 1498,4
 \end{array}
 \tag{9. 32}$$

### 9.3.7 Modello n. 3: verde di prato con frutteto

Analogamente a quanto fatto per il Modello 1 sono stati ottenuti i seguenti risultati.

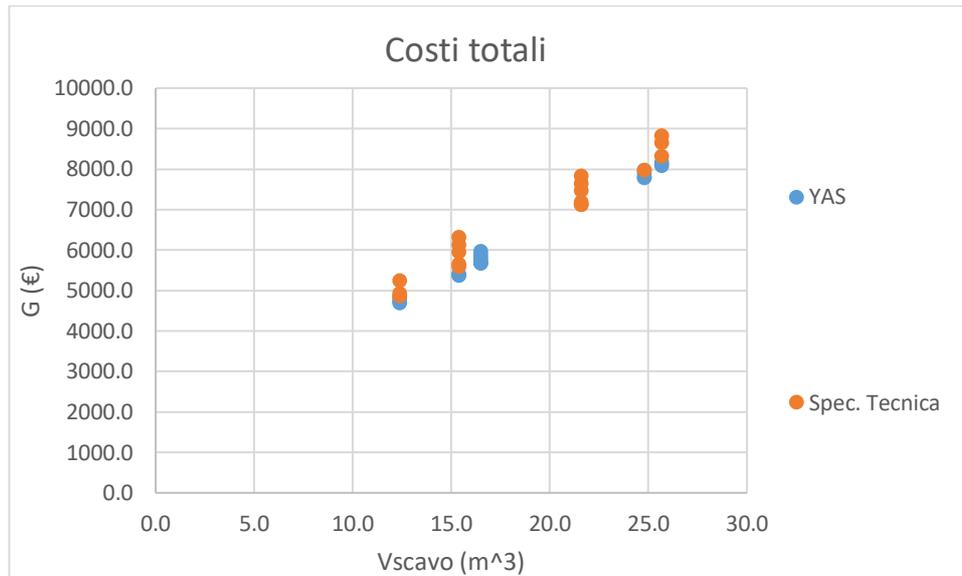


Figura 44: Costi fissi medi per il modello 3.

I costi totali possono essere determinati mediante l'impiego delle seguenti equazioni:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Modello YAS} & G = 254,64 \cdot V_{scavo} + 1552,2 \\
 \text{Specifica tecnica} & G = 255,87 \cdot V_{scavo} + 1902,9
 \end{array}
 \tag{9. 33}$$

### 9.3.8 Modello n. 4: verde di prato con arbusti

Analogamente a quanto fatto per il Modello 1 sono stati ottenuti i seguenti risultati.

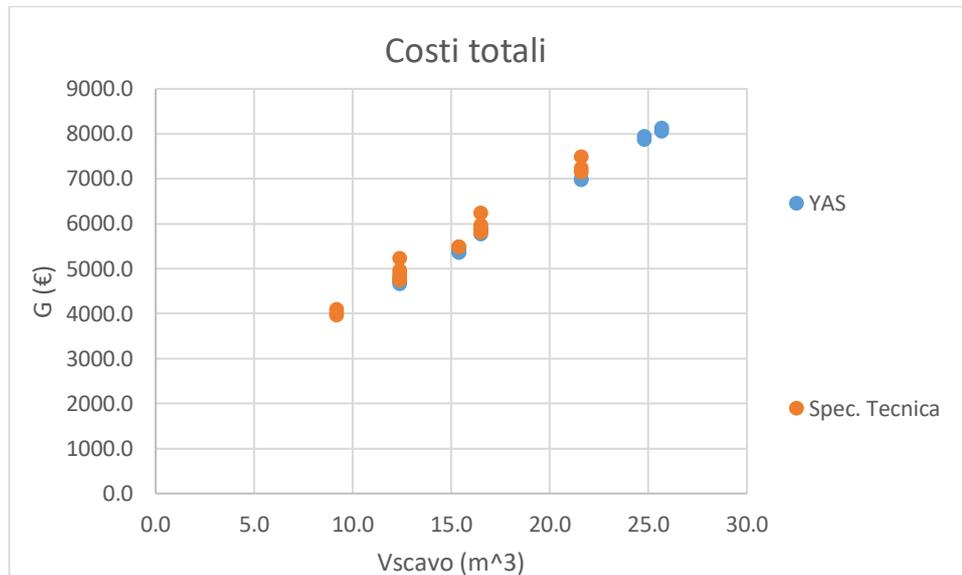


Figura 45: Costi fissi medi per il modello 4.

I costi totali possono essere determinati mediante l'impiego delle seguenti equazioni:

$$\begin{array}{ll} \text{Modello YAS} & G = 256,7 \cdot V_{scavo} + 1503,7 \\ \text{Specifica tecnica} & G = 260,24 \cdot V_{scavo} + 1646,7 \end{array} \quad (9.34)$$

## 10 Considerazioni

In questo capitolo sono stati commentati e confrontati i risultati ottenuti per ciascun modello sia con il modello YAS che con quello relativo alla specifica tecnica UNI/TS 11445: 2012.

### 10.1 Efficienza a confronto

Nel dimensionamento secondo la UNI/TS 11445: 2012 i valori di efficienza, data dal rapporto tra volume annuo recuperabile con la domanda idrica annua, variano nel range  $0,05 \leq W_s \leq 0,2$  per tutti e quattro i modelli studiati, mentre nel modello YAS i valori variano nel range  $0,2 \leq W_s < 0,95$ . Questa differenza è dovuta al fatto che nel modello YAS il volume nel serbatoio al tempo  $t$  è funzione del volume al tempo  $t - 1$  oltre che dell'afflusso meteorico e della richiesta idrica, mentre nel modello a norma di legge il volume recuperabile non ha memoria, ovvero è legato solo ed esclusivamente alla richiesta idrica o all'afflusso meteorico del giorno  $t$ .

In conclusione, per tutti e quattro i modelli, dovendo fare affidamento all'efficienza del sistema si raccomanda il dimensionamento del sistema di raccolta dell'acqua piovana secondo il modello YAS descritto dalle sottostanti equazioni.

$$\begin{aligned} M1 \quad W_s &= 0,2548 \cdot I_s^{-0,698} \\ M2 \quad W_s &= 0,3169 \cdot I_s^{-0,619} \\ M3 \quad W_s &= 0,2613 \cdot I_s^{-0,697} \\ M4 \quad W_s &= 0,2749 \cdot I_s^{-0,675} \end{aligned} \tag{10.1}$$

Queste equazioni possono essere impiegate in due diverse circostanze.

Nel primo caso, nell'ipotesi che il privato abbia già una casa, ovvero una superficie di raccolta  $S_c$  fissata, scelto uno dei modelli è possibile risalire ad una superficie di verde in base al livello di efficienza richiesto in quanto:

$$mq_{verde} = I_s \cdot S_c \tag{10.2}$$

Nel secondo caso, nell'ipotesi in cui il privato sia in possesso di un terreno nudo e vi voglia costruire una casa con giardino e sistema di recupero delle acque meteoriche è possibile trovare una superficie di raccolta  $S_c$  ed una superficie di verde in relazione all'efficienza richiesta per l'eventuale sistema RHW.

### 10.2 Scelta della cisterna

Visti i valori di efficienza più elevati del modello YAS sono state scritte equazioni per calcolare i metri quadrati associati alle cisterne facendo riferimento alla curva media. Infatti, dall'osservazione delle equazioni scritte nel Paragrafo 9.3 si evince che il costo del sistema può essere stimato mediante

il valore del volume di scavo. Per cui, noto il valore dell'indice di superficie  $I_s$  [-], è possibile risalire alla capacità della cisterna da installare mediante l'impiego dell'indice di cisterna  $I_c = \frac{mq_{serbatoio}}{mq_{verde}}$  [-] attraverso il quale si individuano appunto i metri quadri del serbatoio, direttamente proporzionali al volume di scavo come mostrato nella Tabella 13. Le cisterne adottate per ciascun modello sono state riportate nella sottostante figura.

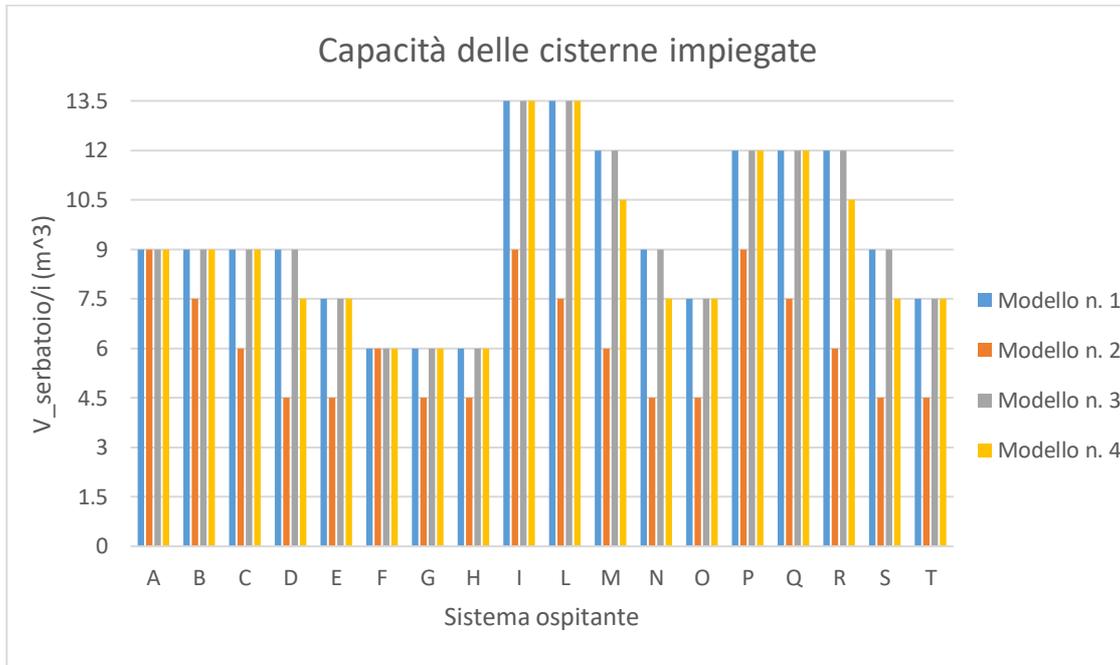


Figura 46: Cisterne identificate per ogni sistema per ciascun modello di verde.

### 10.2.1 Modello n. 1: verde di solo prato

L'andamento dell'indice di superficie in funzione di  $I_c$  è stato riportato nella seguente figura.

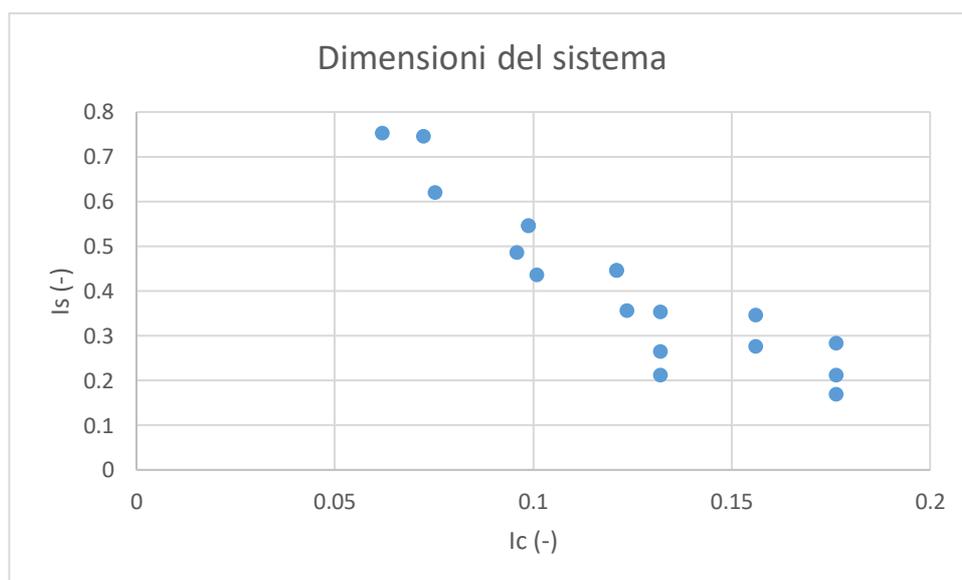


Figura 47: Legame tra gli indici adimensionali.

L'equazione di approssimazione è:

$$I_s = 0,0261 \cdot I_c^{-1,253} \quad (10. 3)$$

### 10.2.2 Modello n. 2: verde di solo orto

L'andamento dell'indice di superficie  $I_s$  in funzione di  $I_c$  è stato riportato nella seguente figura.

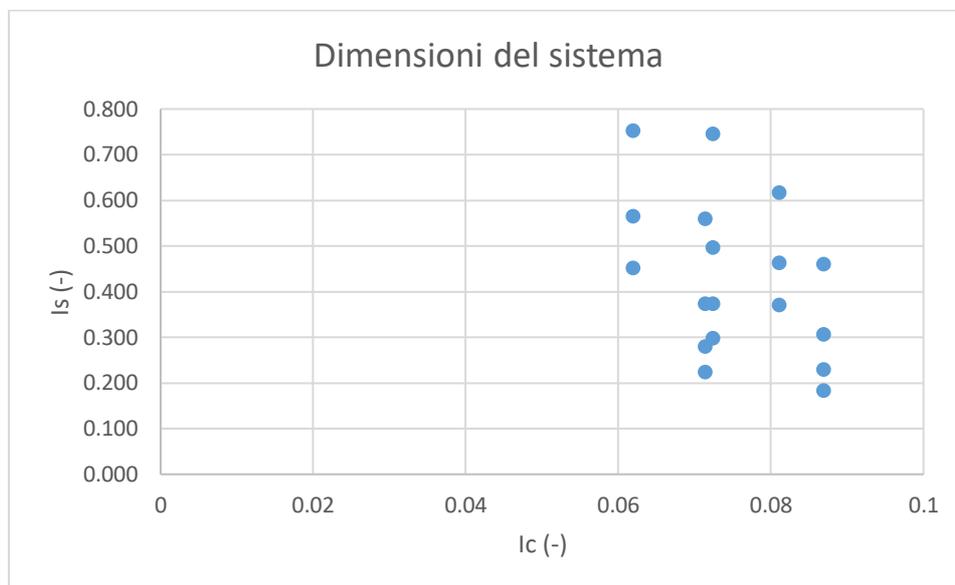


Figura 48: Legame tra gli indici adimensionali.

In questo caso la correlazione tra questi due indici risulta molto bassa, in quanto le colture presenti nel modello n. 2 hanno coefficienti colturali più bassi, che comportano una riduzione della domanda idrica del verde alla quale corrisponde una riduzione del volume ottimale e di conseguenza dei metri quadri di serbatoio. L'equazione di approssimazione è:

$$I_s = 0,006 \cdot I_c^{-1,615} \quad (10. 4)$$

### 10.2.3 Modello n. 3: verde di prato con frutteto

L'andamento dell'indice di superficie  $I_s$  in funzione di  $I_c$  è stato riportato nella seguente figura.

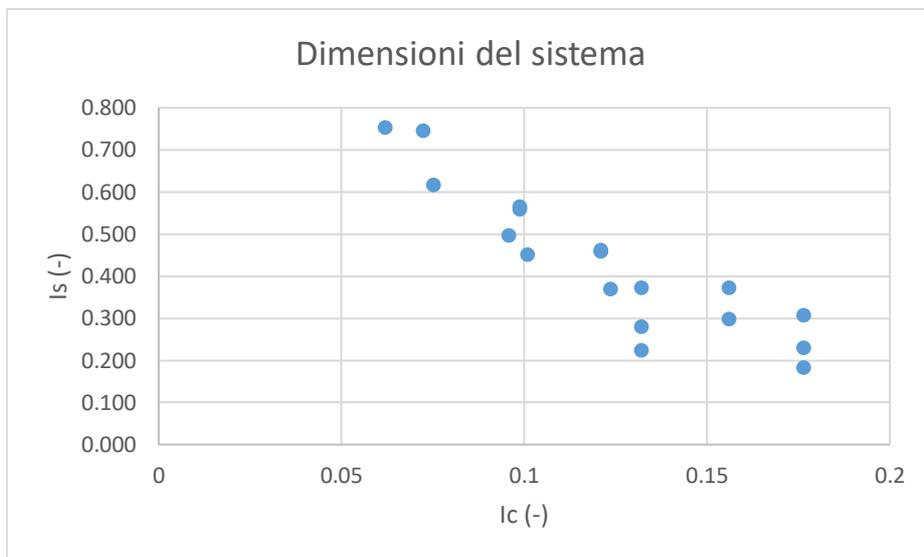


Figura 49: Legame tra gli indici adimensionali.

L'equazione di approssimazione è:

$$I_s = 0,0329 \cdot I_c^{-1,165} \quad (10.5)$$

### 10.2.4 Modello n. 4: verde di prato con arbusti

L'andamento dell'indice di superficie  $I_s$  in funzione di  $I_c$  è stato riportato nella seguente figura.

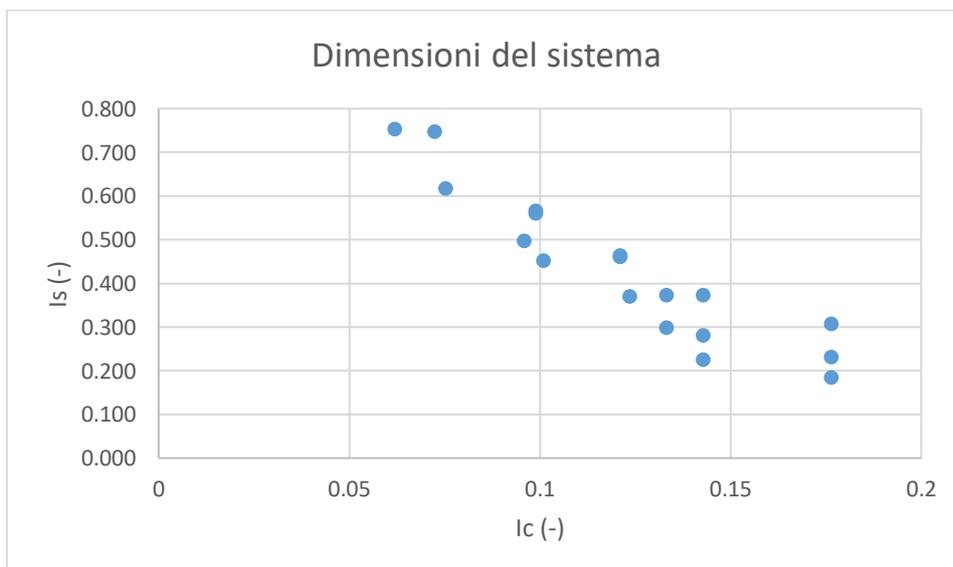


Figura 50: Legame tra gli indici adimensionali.

L'equazione di approssimazione è:

$$I_s = 0,0291 \cdot I_c^{-1,22} \quad (10.6)$$

### 10.3 Costi a confronto

Come già detto in precedenza, essendo il volume delle cisterne lo stesso in entrambi i modelli, ad incidere sui costi totali è il contributo dei costi distribuiti. Nel caso del modello YAS, i valori della richiesta idrica all'acquedotto  $M$  [–] sono minori in quanto la funzione di costo totale YAS, nei grafici presenti nel precedente capitolo, è sempre al di sotto di quella della specifica tecnica. In conclusione, per tutti e quattro i modelli, dovendo fare affidamento all'efficienza del sistema si raccomanda il dimensionamento del sistema di raccolta dell'acqua piovana secondo il modello YAS in cui è possibile valutare le spese mediante le seguenti equazioni in cui inserire il volume ricavato grazie alle equazioni del paragrafo precedente:

$$\begin{array}{ll} M1 & G = 254,66 \cdot V_{scavo} + 1553,6 \\ M2 & G = 257,18 \cdot V_{scavo} + 1485,3 \\ M3 & G = 254,64 \cdot V_{scavo} + 1552,2 \\ M4 & G = 256,7 \cdot V_{scavo} + 1503,7 \end{array} \quad (10.7)$$

### 10.4 Confronto con e senza sistema di raccolta

Facendo riferimento ai risultati relativi ai valori medi relativi al modello YAS si è proceduto ad un'analisi di confronto tra la situazione con e senza sistema di raccolta per ciascun sistema analizzato. Nel caso in cui il sistema di recupero delle acque piovane sia assente la richiesta all'acquedotto coincide con la domanda annuale d'acqua, per cui:

$$M = D \quad (10.8)$$

confrontando  $M$  con  $D$  è stato possibile fare considerazioni riguardo le conseguenze della presenza del sistema di raccolta.

### 10.4.1 Modello n. 1: verde di solo prato

In base ai valori presenti nella Figura 51, la presenza di un sistema di raccolta delle acque meteoriche porta ad una riduzione della richiesta all'acquedotto che va da ~30% a ~85%.

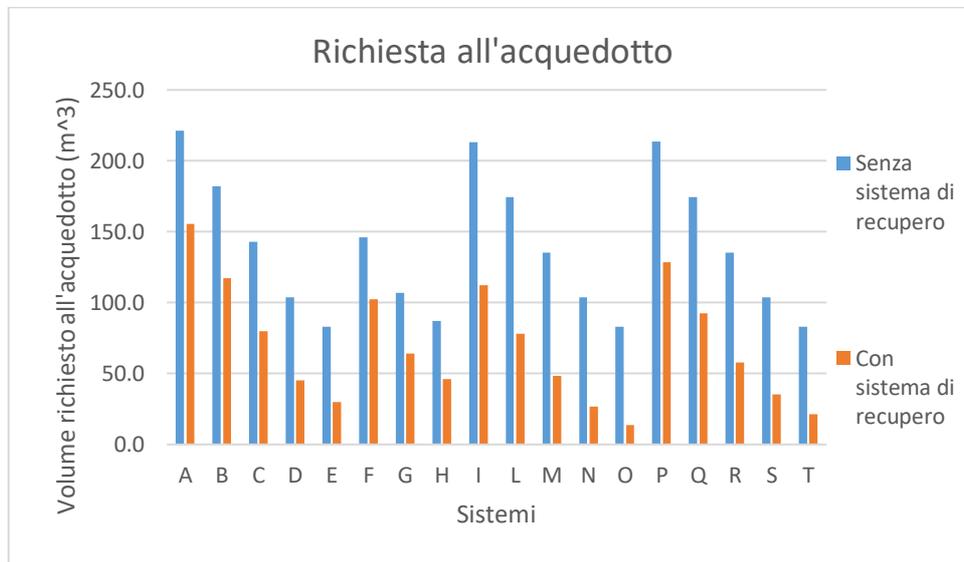


Figura 51: Confronto tra presenza e assenza del sistema di raccolta.

Il grafico mostra come per una fissata superficie di raccolta  $S_c$ , la riduzione di richiesta all'acquedotto aumenta al diminuire della superficie di verde  $m_{q_{coltura}}$ . Inoltre, i risultati migliori si riscontrano al crescere della superficie di raccolta. Questo vale anche per i grafici di Figura 52, Figura 53 e Figura 54.

### 10.4.2 Modello n. 2: verde di solo orto

In base ai valori presenti nella Figura 52, la presenza di un sistema di raccolta delle acque meteoriche porta ad una riduzione della richiesta all'acquedotto che va da ~35% a ~70%.

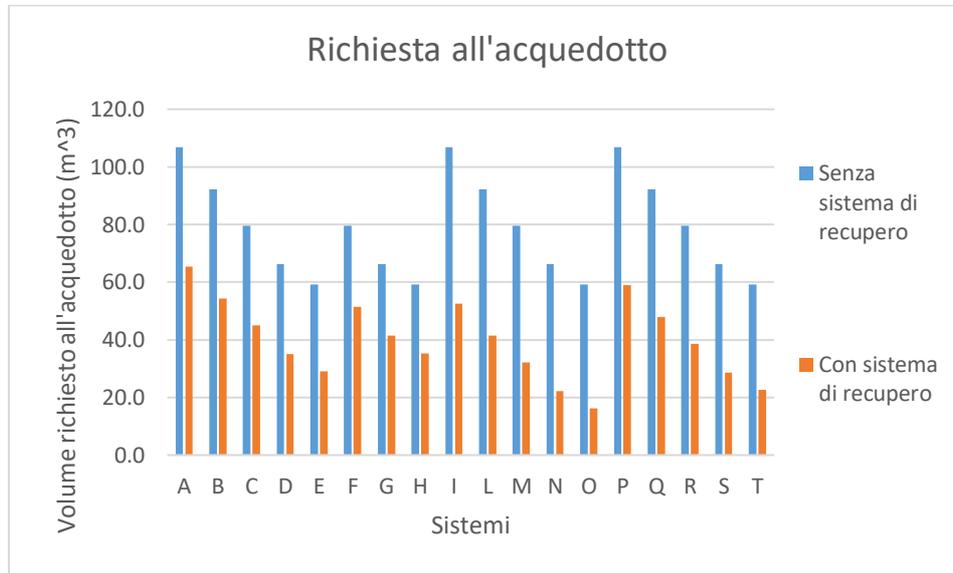


Figura 52: Confronto tra presenza e assenza del sistema di raccolta.

### 10.4.3 Modello n. 3: verde di prato con frutteto

In base ai valori presenti nella Figura 53, la presenza di un sistema di raccolta delle acque meteoriche porta ad una riduzione della richiesta all'acquedotto che va da ~30% a ~85%.

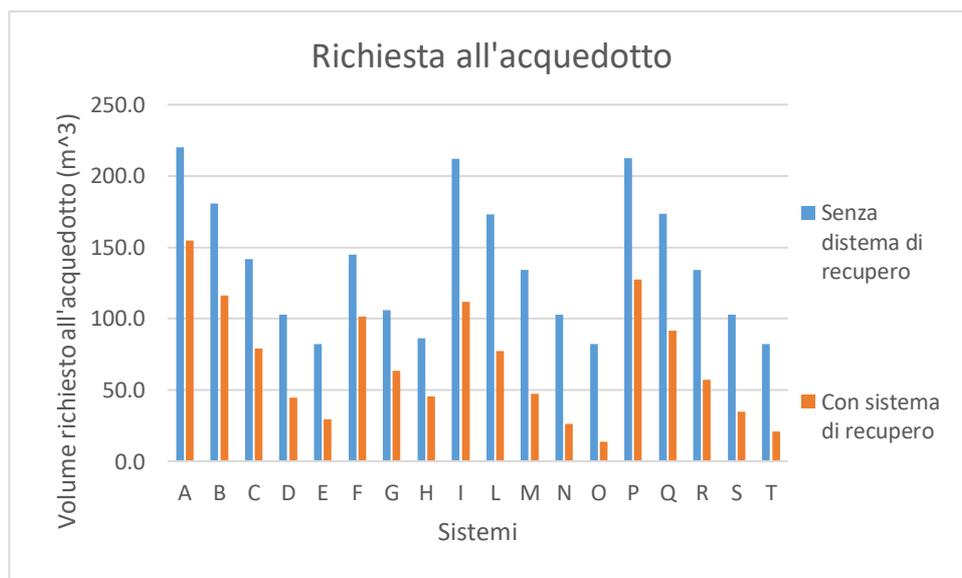


Figura 53: Confronto tra presenza e assenza del sistema di raccolta.

#### 10.4.4 Modello n. 4: verde di prato con arbusti

In base ai valori presenti nella Figura 54, la presenza di un sistema di raccolta delle acque meteoriche porta ad una riduzione della richiesta all'acquedotto che va da ~30% a ~85%.

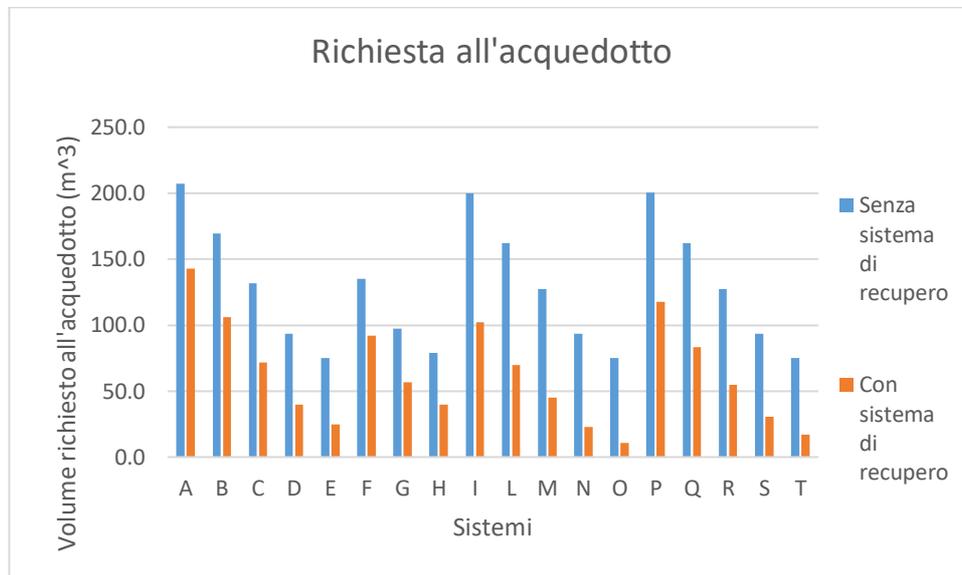


Figura 54: Confronto tra presenza e assenza del sistema di raccolta.

### 10.5 Ammortamento dell'investimento

Il sistema per la raccolta di acqua piovana nella zona di studio per essere ripagato mediante riduzione dei costi distribuiti richiede un numero di anni che varia in base al sistema scelto.

#### 10.5.1 Modello n. 1: verde di solo prato

In riferimento ai risultati ottenuti mediante il modello YAS sui valori medi si è proceduto alla determinazione del periodo di ammortamento.

Per poter stimare in quanti anni è possibile recuperare i soldi investiti nella realizzazione del sistema di raccolta coincidente con il costo fisso  $G_d$  [€] è stato necessario valutare i costi distribuiti sia nel caso in cui sia presente il sistema  $G_{dCON}$  e sia nel caso in cui sia assente  $G_{dSENZA}$  in modo da valutare quanto si va a risparmiare mitigando la richiesta all'acquedotto. Dopodiché è possibile determinare il numero di anni  $n^{\circ}_{anni}$  necessari per azzerare il deficit economico mediante la seguente relazione:

$$n^{\circ}_{anni} = \frac{G_f}{(G_{dSENZA} - G_{dCON})} \quad (10.9)$$

I risultati ottenuti sono riportati nella Tabella 15. Dall'osservazione di questi ultimi per recuperare le spese in base al sistema è necessario un arco temporale che va dai 20 ai ~50 anni.

La lunghezza del periodo di recupero economico è dovuta al fatto che il costo dell'acqua nella zona di studio, così come nel resto della penisola, è molto basso.

Tabella 15: Periodo di tempo per ripagare l'investimento in base al risparmio idrico.

SISTEMA	Gd senza sistema [€]	Gd con sistema [€]	Risparmio [€]	Gf [€]	n° anni per ripagare [-]
A	690,1	346,8	343,3	5615,2	16,4
B	567,8	261,7	306,1	5615,2	18,3
C	318,5	178,5	140,0	5615,2	40,1
D	231,1	89,2	141,9	5615,2	39,6
E	185,4	59,4	126,0	5340,9	42,4
F	325,4	228,0	97,4	4592,8	47,1
G	238,3	143,1	95,2	4592,8	48,3
H	194,6	91,0	103,6	4592,8	44,3
I	665,5	250,5	415,0	7909,4	19,1
L	388,3	173,8	214,5	7909,4	36,9
M	301,8	95,1	206,7	7685,0	37,2
N	231,1	52,7	178,4	5615,2	31,5
O	185,4	27,4	158,0	5340,9	33,8
P	666,7	286,2	380,5	7685,0	20,2
Q	389,2	205,7	183,5	7685,0	41,9
R	301,8	114,2	187,6	7685,0	41,0
S	231,1	70,0	161,1	5615,2	34,8
T	185,4	41,8	143,6	5340,9	37,2

La tabella mostra come per una fissata superficie di raccolta  $S_c$ , il numero di anni per ripagare l'investimento aumenta al diminuire della superficie di verde  $m q_{coltura}$ . Inoltre, i risultati migliori si riscontrano al diminuire della superficie di raccolta. Questo vale anche per la Tabella 16, Tabella 17 e Tabella 18.

### 10.5.2 Modello n. 2: verde di solo orto

Analogamente a quanto detto nel precedente paragrafo per il modello 1 sono stati ottenuti i seguenti risultati per il modello 2, in cui è possibile constatare che per recuperare le spese in base al sistema è necessario un arco temporale che va dai 30 ai ~80 anni.

Tabella 16: Periodo di tempo per ripagare l'investimento in base al risparmio idrico.

SISTEMA	Gd senza sistema [€]	Gd con sistema [€]	Risparmio [€]	Gf [€]	n° anni per ripagare [-]
A	238,0	146,0	92,0	5615,2	61,0
B	205,5	107,3	98,2	5340,9	54,4
C	177,2	88,6	88,6	4592,8	51,8
D	147,5	69,1	78,4	3794,8	48,4
E	116,6	57,2	59,4	3794,8	63,9
F	177,2	101,6	75,6	4592,8	60,8
G	147,5	81,9	65,6	3794,8	57,8
H	116,6	69,7	46,9	3794,8	80,9
I	238,0	103,6	134,4	5615,2	41,8
L	205,5	81,9	123,6	5340,9	43,2
M	177,2	63,3	113,9	4592,8	40,3
N	147,5	44,0	103,5	3794,8	36,6
O	116,6	32,2	84,4	3794,8	45,0
P	238,0	116,2	121,8	5615,2	46,1
Q	205,5	94,5	111,0	5340,9	48,1
R	177,2	76,0	101,2	4592,8	45,4
S	147,5	56,6	90,9	3794,8	41,7
T	116,6	44,6	72,0	3794,8	52,7

### 10.5.3 Modello n. 3: verde di prato con frutteto

Dall'osservazione dei risultati indicati in Tabella 17 è possibile constatare che per recuperare l'investimento iniziale è necessario un periodo che va dai 15 ai ~50 *anni*.

*Tabella 17: Periodo di tempo per ripagare l'investimento in base al risparmio idrico.*

SISTEMA	Gd senza sistema [€]	Gd con sistema [€]	Risparmio [€]	Gf [€]	n° anni per ripagare [-]
A	686,4	344,4	342,0	5615,2	16,4
B	564,4	259,2	305,2	5615,2	18,4
C	316,0	176,5	139,5	5615,2	40,2
D	228,7	87,8	140,9	5615,2	39,9
E	183,0	58,0	125,0	5340,9	42,7
F	323,0	225,8	97,2	4592,8	47,3
G	235,6	140,9	94,7	4592,8	48,5
H	192,1	89,4	102,7	4592,8	44,7
I	473,0	248,7	224,3	7909,4	35,3
L	385,8	172,1	213,7	7909,4	37,0
M	299,3	93,5	205,8	7685,0	37,3
N	228,7	51,9	176,8	5615,2	31,8
O	183,0	26,6	156,4	5340,9	34,2
P	473,8	283,7	190,1	7685,0	40,4
Q	386,7	203,7	183,0	7685,0	42,0
R	299,3	112,7	186,6	7685,0	41,2
S	228,7	68,7	160,0	5615,2	35,1
T	183,0	41,0	142,0	5340,9	37,6

### 10.5.4 Modello n. 4: verde di prato con arbusti

Dall'osservazione dei risultati indicati in Tabella 18 è possibile constatare che per recuperare l'investimento iniziale è necessario un periodo che va dai 15 ai ~50 *anni*.

*Tabella 18: Periodo di tempo per ripagare l'investimento in base al risparmio idrico.*

SISTEMA	Gd senza sistema [€]	Gd con sistema [€]	Risparmio [€]	Gf [€]	n° anni per ripagare [-]
A	647,1	318,1	329,0	5615,2	17,1
B	378,0	236,7	141,3	5615,2	39,7
C	294,0	159,8	134,2	5615,2	41,8
D	208,4	78,7	129,7	5340,9	41,2
E	166,9	49,3	117,6	5340,9	45,4
F	300,7	204,8	95,9	4592,8	47,9
G	217,1	111,7	105,4	4592,8	43,6
H	175,6	78,1	97,5	4592,8	47,1
I	623,7	228,0	395,7	7909,4	20,0
L	361,1	156,0	205,1	7909,4	38,6
M	284,0	89,4	194,6	6887,0	35,4
N	208,4	44,6	163,8	5340,9	32,6
O	166,9	20,9	146,0	5340,9	36,6
P	624,6	261,9	362,7	7685,0	21,2
Q	362,0	185,2	176,8	7685,0	43,5
R	284,0	107,9	176,1	6887,0	39,1
S	208,4	60,6	147,8	5340,9	36,1
T	166,9	33,2	133,7	5340,9	39,9

## 11 Conclusioni

Il dimensionamento del sistema di recupero dell'acqua piovana mediante la procedura semplificata e quella analitica ha portato a risultati differenti. Questo è spiegabile in quanto la prima procedura può essere applicata solo nel caso in cui vi sia un consumo idrico costante durante l'anno, e non essendo questo il caso in questione i calcoli hanno portato a valori contrastanti rispetto a quelli ottenuti mediante procedura analitica, denominata modello YAS, che, applicata ai casi studiati ha portato ai risultati commentati nel Capitolo 10.

L'applicazione della metodologia analitica ha mostrato come, al giorno d'oggi, in termini economici, il sistema di raccolta dell'acqua piovana non risulta essere conveniente. Nell'eventualità che il costo per l'utilizzo della risorsa idrica aumenti nel tempo si potrebbero avere anche dei vantaggi in termini monetari.

In termini di sostenibilità, invece, il sistema ha il pregio di mitigare il consumo di acqua potabile per usi esterni ed allo stesso tempo la riduzione dei volumi di acqua che vanno a sovraccaricare il sistema fognario. Ovviamente, affinché vengano raggiunti risultati soddisfacenti il sistema deve essere presente in tutte quelle proprietà potenzialmente ospitabili. Nel caso in cui, in una determinata zona, siano presenti diversi sistemi di raccolta delle acque meteoriche è possibile riscontrare una riduzione del rischio idraulico per via dell'immagazzinamento temporaneo di importanti volumi di acqua.

## 12 Bibliografia

- [1] SERI e GLOBAL 2000. Verlagsges, M.B.H, Neustiftgasse 36, 1070 Vienna. Quant'acqua sfruttiamo; come il consumo di materie prime minaccia le risorse idriche del pianeta. 36 (23).
- [2] Conte, G., 2008. Nuvole e sciacquoni. 212 (102).
- [3] Romano, B., 2014. Pianificazione sostenibile del territorio. 238 (86-95).
- [4] ARSIA. Scheda di tecnica irrigua per l'agricoltura toscana. 136 (9-12) (123-132).
- [5] Bartolucci, M., 2017. Proposta di una nuova metodologia su base fenologica per la valutazione del bilancio idrogeologico giornaliero di bacino: calibrazione e validazione del modello attraverso misure sperimentali nel medio e nell'alto bacino del fiume Metauro. 205 (84-97).
- [6] Allen, R.G., Pereira, L.S., Dirk, R., Smith, M., 1998. FAO Irrigation and drainage paper No.56, Crop evapotranspiration. 326 (103-126).
- [7] Busca, F., 2018. Bilancio idrico a scala di edificio. 165 (11-17) (110-114).
- [8] Polla, A., Gnecco, I., Lanza, L.G., 2011. Journal of hydrology. Non dimensional parametres performance assessment of rainwater harvesting systems. 12 (1-3).
- [9] KESSEL, 2013. Sfruttare l'acqua piovana per non sprecare l'acqua potabile!.15 (4-14).

## 13 Sitografia

[I] [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)

[II] [www.irsa.cnr.it](http://www.irsa.cnr.it)

[III] [www.cometea.it](http://www.cometea.it)

[IV] [www.cam-spa.com](http://www.cam-spa.com)

[V] [www.miniambiente.it](http://www.miniambiente.it)

[VI] [It.wikipedia.org/wiki/Celano](http://it.wikipedia.org/wiki/Celano)

[VII] [www.lortolano.com](http://www.lortolano.com)

[VIII] [www.leroymerlin.com](http://www.leroymerlin.com)

[IX] [www.viaggioinabruzzo.it/content/florafauna](http://www.viaggioinabruzzo.it/content/florafauna)

[X] [www.regioneabruzzo.it/content/idrografico-mareografico](http://www.regioneabruzzo.it/content/idrografico-mareografico)