POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

In Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

"Analisi tecnico-economica e dimensionamento di serbatoi per il recupero di acqua piovana a scala di edificio"

Relatore

Prof.ssa Ilaria Butera

Correlatore

Prof. Roberto Revelli

Candidato

Antonino Andrea Impelliccieri

Matricola 244418

Anno Accademico 2020/2021

Indice

INTRODUZIONE .....

1 SISTEMI DI SOPRAELEVAZIONE DELL'ACQUA 1

1.1 Gruppi automatici di pressione 2

1.1.1 Funzioni e tipi di pompe 2

1.1.2 Collettori e valvole 3

1.1.3 Sensori: pressostati e trasmettitori elettronici 3

1.1.4 Manometri 7

1.1.5 Autoclavi 7

1.1.6 Quadro elettrico 13

1.1.7 Schemi di installazione di un gruppo di pressione 14

1.1.8 Dimensionamento e scelta del gruppo di pressione 18

1.1.9 Variazione della velocità nei gruppi di pressione 19

1.2 Surpressori 20

1.3 Serbatoi sopraelevati alimentati da pompe 20

2 POMPE 22

2.1 Categorie di pompe 22

2.1.1 Pompe centrifughe 22

2.2 Grandezze fondamentali che caratterizzano le pompe 24

2.2.1 Prevalenza 24

2.2.2 Portata 25

2.2.3 Potenza 26

2.2.4 Rendimento 26

2.2.5 Numero di giri di una pompa 27

2.3 Fenomeno di cavitazione 29

2.3.1 Net Positive Suction Head (NPSH) 30

2.4 Curva caratteristica di un sistema 32

2.5 Curva caratteristica di una pompa 35

2.5.1 Curva caratteristica portata-prevalenza 36

2.5.2 Curve caratteristiche di potenza 38

2.6 Punto di lavoro 38

2.7 Scelta di una pompa 40

2.8 Pompe in serie e pompe pluristadio 41

2.9 Pompe in parallelo 42

3 IMPIANTI DI RECUPERO ACQUA PIOVANA 43

3.1 Funzionamento dell'impianto 43
3.2 Dispositivi presenti nell'impianto 44
3.3 Dimensionamento sistema di accumulo 47
3.3.1 Metodo semplificato 47
3.3.2 Metodo analitico 50
4 ANALISI IMPIANTI DI RECUPERO ACQUA PIOVANA 51
4.1 Dimensionamento serbatoio edificio monofamiliare 51
4.1.1 Afflusso meteorico annuo 52
4.1.2 Richiesta di acqua annua 52
4.1.3 Volume utile del sistema di accumulo 53
4.1.4 Metodo analitico: Yield After Spillage 54
4.2 Dimensionamento serbatoio edificio plurifamiliare 64
4.2.1 Metodo analitico: Yield After Spillage 64
4.3 Impianto di recupero dell'acqua piovana in altri capoluoghi italiani di regione 72
4.3.1 Edificio monofamiliare 72
4.3.2 Edificio plurifamiliare 81
4.4 Analisi economica con costo dell'acqua variabile nel tempo 88
4.4.1 Tempo per ammortizzare gli impianti di recupero dell'acqua piovana con costo acqua variabile 89
4.4.2 Grafici tempo per ammortizzare costo impianti 100
4.5 Influenza costo acqua in bolletta sul tempo per ammortizzare costo impianto 120
4.6 Soldi risparmiati nei 30 anni di vita utile dell'impianto 120
5 CONCLUSIONI 134
Bibliografia 135
Sitografia 136

Indice Figure

Figura 1.1 – pressione disponibile nelle reti di distribuzione degli edifici [fonte: “Claudio Ardizzoia et al – CALEFFI S.P.A. La pressione di distribuzione nelle reti di acqua sanitaria – pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale. Centrostampa S.r.l. Novara, 2018.”] 1
Figura 1.2 – Gruppo di pressione [fonte: “Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013.”] 2
Figura 1.3 – posizioni delle valvole [fonte: “Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013.”] 3
Figura 1.4 – Pressostati con e senza differenziale [fonte: “Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013.”] 4
Figura 1.5 – campo di lavoro del pressostato [fonte: “https://www.braccioni.com/Pressostato-trifase-ATE-3-12”] 5
Figura 1.6 – variazione posizione curva portata-prevalenza in funzione della condizione di aspirazione [fonte: “Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013.”] 6
Figura 1.7 – Autoclave a cuscino d’aria con compressore [fonte: “Calza, Francesco. Manuale Degli Impianti Termici E Idrici. Milano: Tecniche Nuove, 2005.”] 8
Figura 1.8 – Autoclave a cuscino d’aria con alimentatore d’aria [fonte: “Calza, Francesco. Manuale Degli Impianti Termici E Idrici. Milano: Tecniche Nuove, 2005.”] 9
Figura 1.9 – Alimentatore d’aria [fonte: “https://www.pippohydro.com/prodotto-1732-0-Pippo_Alimentatore_automatico_aria.html”] 9
Figura 1.10 – Funzionamento alimentatore d’aria [fonte: “Claudio Ardizzoia et al – CALEFFI S.P.A. La pressione di distribuzione nelle reti di acqua sanitaria – pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale. Centrostampa S.r.l. Novara, 2018”] 10
Figura 1.11 – funzionamento membrana di un’autoclave [fonte: “https://idraulica.caleffi.com/articolo/autoclavi-membrana”] 11
Figura 1.12 – Autoclave a membrana [fonte: “Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013.”] 12
Figura 1.13 – vasca di prima raccolta interposta tra gruppo di pressione e acquedotto [fonte: “Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013.”] 14
Figura 1.14 - disconnettore, o valvola di ritegno, interposto tra gruppo di pressione e acquedotto [fonte: “Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013.”] 15
Figura 1.15 - disconnettore, o valvola di ritegno, con riduttore di pressione interposto tra gruppo di pressione e acquedotto [fonte: “Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013.”] 15
Figura 1.16 - preautoclave interposta tra gruppo di pressione e acquedotto [fonte: “Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013.”] 15

Figura 1.17 – prima configurazione di installazione di un gruppo di pressione [fonte: “Claudio Ardizzoia et al – CALEFFI S.P.A. La pressione di distribuzione nelle reti di acqua sanitaria – pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale. Centrostampa S.r.l. Novara, 2018.”] 16
Figura 1.18 – seconda configurazione di installazione di un gruppo di pressione [fonte: “Claudio Ardizzoia et al – CALEFFI S.P.A. La pressione di distribuzione nelle reti di acqua sanitaria – pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale. Centrostampa S.r.l. Novara, 2018.”] 16
Figura 1.19 - terza configurazione di installazione di un gruppo di pressione [fonte: “Claudio Ardizzoia et al – CALEFFI S.P.A. La pressione di distribuzione nelle reti di acqua sanitaria – pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale. Centrostampa S.r.l. Novara, 2018.”] 17
Figura 1.20 - quarta configurazione di installazione di un gruppo di pressione [fonte: “Claudio Ardizzoia et al – CALEFFI S.P.A. La pressione di distribuzione nelle reti di acqua sanitaria – pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale. Centrostampa S.r.l. Novara, 2018.”] 17
Figura 1.21 – prevalenza minima in funzione dell’aspirazione [fonte: “Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013.”] 18
Figura 2.1 – sezione di una pompa centrifuga con diffusore [fonte: “Bianchi, Alberto, and Umberto Sanfilippo. Pompe E Impianti Di Sollevamento Manuale Di Progettazione E Realizzazione. Milano: Hoepli, 2001.”] 23
Figura 2.2 – componenti della velocità del fluido [fonte: “Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006.”] 23
Figura 2.3 – schema per il calcolo prevalenza di una pompa sotto battente [fonte: ”Salvini Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013”] 24
Figura 2.4 – schema per il calcolo della prevalenza manometrica [fonte: “Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006.”] 25
Figura 2.5 – potenza assorbita [fonte: "Bianchi, Alberto, and Umberto Sanfilippo. Pompe E Impianti Di Sollevamento Manuale Di Progettazione E Realizzazione. Milano: Hoepli, 2001. Print. Biblioteca Tecnica Hoepli."] 26
Figura 2.6 – curva rendimento [fonte: “https://www.irriworks.com/wiki/lib/exe/detail.php/irrigazione:curva_rendimento.png?id=irrigazione%3Acurva_caratteristica_di_una_pompa_centrifuga”] 27
Figura 2.7 – curve caratteristiche della prevalenza e della potenza [fonte: “Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006.”] 28
Figura 2.8 – variazione di pressione del liquido in una condotta [fonte: "Bianchi, Alberto, and Umberto Sanfilippo. Pompe E Impianti Di Sollevamento Manuale Di Progettazione E Realizzazione. Milano: Hoepli, 2001. Print. Biblioteca Tecnica Hoepli."] 29
Figura 2.9 – variazione curva caratteristica portata prevalenza in funzione della cavitazione [fonte: "Bianchi, Alberto, and Umberto Sanfilippo. Pompe E Impianti Di Sollevamento Manuale Di Progettazione E Realizzazione. Milano: Hoepli, 2001. Print. Biblioteca Tecnica Hoepli."] 30
Figura 2.10 – danni alla girante dovuti alla cavitazione [fonte: "https://www.asvstubbe.it/blog/fenomeno-della-cavitazione-nelle-pompe/"] 30
Figura 2.11 – curva $NPSH_r$ [fonte: "https://www.slideshare.net/LuizAndr7/aula-bombas"] 30
Figura 2.12 – altezza di aspirazione [fonte: ”Salvini Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013”] 31
Figura 2.13 – curva caratteristica di un sistema [fonte: "http://www.termoinrete.com/vscriptpompe.htm"] 32

Figura 2.14 – diagramma di Moody [fonte: "http://www-9.unipv.it/webidra/materialeDidattico/gallati/abacoMoody.pdf"] 33
Figura 2.15 – diagramma variazione curva caratteristica esterna in funzione dell'altezza geodetica H_g [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."] 34
Figura 2.16 – curva caratteristica esterna [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."] 35
Figura 2.17 – curve caratteristiche di prevalenza, rendimento, potenza e NPSH [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."] 35
Figura 2.18 – curva caratteristica prevalenza ripida e piatta [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."] 36
Figura 2.19 – variazione andamenti curve caratteristiche portata-prevalenza [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."] 36
Figura 2.20 – curva portata-prevalenza stabile e instabile [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."] 37
Figura 2.21 – diagramma punto di lavoro stabile e instabile [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."] 37
Figura 2.22 – curva di potenza [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."] 38
Figura 2.23 – esempio determinazione del punto di lavoro [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."] 39
Figura 2.24 – modifica curva caratteristica esterna in funzione della scabrezza [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."] 40
Figura 2.25 – campo di impiego delle pompe [fonte: "https://www.asvstubbe.it/blog/come-scegliere-la-pompa-giusta/"] 40
Figura 2.26 – diagramma a mosaico scelta pompe e curve caratteristiche [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."] 41
Figura 2.27 – pompe in serie [fonte: "Bianchi, Alberto, and Umberto Sanfilippo. Pompe E Impianti Di Sollevamento Manuale Di Progettazione E Realizzazione. Milano: Hoepli, 2001. Print. Biblioteca Tecnica Hoepli."] 41
Figura 2.28 – curve caratteristiche interne di pompe in serie [fonte: "Bianchi, Alberto, and Umberto Sanfilippo. Pompe E Impianti Di Sollevamento Manuale Di Progettazione E Realizzazione. Milano: Hoepli, 2001. Print. Biblioteca Tecnica Hoepli."] 42
Figura 2.29 – pompe in parallelo [fonte: "Bianchi, Alberto, and Umberto Sanfilippo. Pompe E Impianti Di Sollevamento Manuale Di Progettazione E Realizzazione. Milano: Hoepli, 2001. Print. Biblioteca Tecnica Hoepli."] 42
Figura 2.30 - curve caratteristiche interne di pompe in parallelo [fonte: "Bianchi, Alberto, and Umberto Sanfilippo. Pompe E Impianti Di Sollevamento Manuale Di Progettazione E Realizzazione. Milano: Hoepli, 2001. Print. Biblioteca Tecnica Hoepli."] 42
Figura 3.1 – campi di utilizzo acqua potabile e acqua piovana [fonte: "https://www.abitazioniecologiche.it/tecnica-e-servizi/impianti/recupero-acque-piovane.html"] 43
Figura 3.2 – dispositivi che costituiscono il sistema [fonte: "https://termoidraulica.elbi.it/prodotti/serbatoi-in-polietilene-per-interro-e-acque-reflue/rain-system-sistemi-di-recupero-acqua-piovana/"] 44
Figura 3.3 – filtro autopulente e semplice [fonte: "Rewatec – Soluzioni ecologiche per lo sfruttamento dell'acqua piovana. Sistemi completi e soluzioni individuali. Catalogo completo 2020."] 45
Figura 3.4 – terminale decantatore [fonte: "https://www.expoclima.net/focus/aziende/rain_system_elbi_vantaggi_di_recuperare_e_riutilizzare_acqua_piovana.htm"] 45

Figura 3.5 – sifone [fonte: "Rewatec – Soluzioni ecologiche per lo sfruttamento dell'acqua piovana. Sistemi completi e soluzioni individuali. Catalogo completo 2020."] 46
Figura 3.6 – cartello acqua non potabile [fonte: "Luigi Fanizzi – ECOACQUE. Impianti per la raccolta e l'utilizzo dell'acqua piovana per usi domestici diversi dal consumo umano: la nuova specifica tecnica UNI/TS 11445:2012."] 47
Figura 3.7 – cartina precipitazione media annua (1961 – 1990) [fonte: "Centro di informazioni sul PVC. Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana. UNI EN 11445"] 48
Figura 3.8 – proiezione superficie di captazione [Fonte: "Luigi Fanizzi – ECOACQUE. Impianti per la raccolta e l'utilizzo dell'acqua piovana per usi domestici diversi dal consumo umano: la nuova specifica tecnica UNI/TS 11445:2012."] 48
Figura 4.1 - edifico monofamiliare 51
Figura 4.2 - pianta piano interrato e piano terra..... 53
Figura 4.3 - livelli di efficienza idrica del sistema di accumulo [fonte: "Luigi Fanizzi – ECOACQUE. Impianti per la raccolta e l'utilizzo dell'acqua piovana per usi domestici diversi dal consumo umano: la nuova specifica tecnica UNI/TS 11445:2012."] 56
Figura 4.4 – diagramma a mosaico per scelta pompa per edificio monofamiliare [fonte: " Elbi – Pompe autoadescanti e centrifughe multistadio. ACTIVE SWITCH – impianti per l'utilizzo dell'acqua piovana"] 59
Figura 4.5 – descrizione componenti unità "active switch" [fonte: "Elbi – Pompe autoadescanti e centrifughe multistadio. ACTIVE SWITCH – impianti per l'utilizzo dell'acqua piovana"] 60
Figura 4.6 - diagramma riduzione picchi di volume in fognatura dovuto a un impianto 1000 l 62
Figura 4.7 - diagramma riduzione picchi di volume in fognatura dovuto a un impianto 3000 l 62
Figura 4.8 - diagramma riduzione picchi di volume in fognatura dovuto a un impianto 5000 l 63
Figura 4.9 - diagramma riduzione picchi di volume in fognatura dovuto a un impianto 10000 l 63
Figura 4.10 - pianta primo, secondo, terzo e quarto piano edifico plurifamiliare 64
Figura 4.11 - diagramma a mosaico per scelta pompa per edificio plurifamiliare [fonte: " Elbi – Pompe autoadescanti e centrifughe multistadio. ACTIVE SWITCH – impianti per l'utilizzo dell'acqua piovana"] 69
Figura 4.12 - diagramma riduzione picchi di volume dovuto a un impianto 5000 l 70
Figura 4.13 - diagramma riduzione picchi di volume dovuto a un impianto 10000 l 71
Figura 4.14 - diagramma riduzione picchi di volume dovuto a un impianto 25000 l 71
Figura 4.15 - diagramma riduzione picchi di volume dovuto a un impianto 40000 l 72
Figura 4.16 – grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare ad Ancona... 100
Figura 4.17 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare ad Aosta 101
Figura 4.18 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Bari 101
Figura 4.19 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Bologna..... 102
Figura 4.20 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Cagliari..... 102
Figura 4.21 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Campobasso 103
Figura 4.22 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Catanzaro . 103
Figura 4.23 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Firenze..... 104
Figura 4.24 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Genova 104
Figura 4.25 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Milano 105
Figura 4.26 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Napoli 105
Figura 4.27 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Palermo 106
Figura 4.28 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Perugia 106
Figura 4.29 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Potenza..... 107
Figura 4.30 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Roma 107
Figura 4.31 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Torino 108
Figura 4.32 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Trento..... 108

Figura 4.33 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Trieste..... 109
Figura 4.34 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Venezia..... 109
Figura 4.35 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare ad Ancona 110
Figura 4.36 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare ad Aosta 110
Figura 4.37 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Bari 111
Figura 4.38 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Bologna..... 111
Figura 4.39 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Cagliari..... 112
Figura 4.40 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Campobasso 112
Figura 4.41 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Catanzaro ... 113
Figura 4.42 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Firenze..... 113
Figura 4.43 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Genova 114
Figura 4.44 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Milano 114
Figura 4.45 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Napoli 115
Figura 4.46 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Palermo 115
Figura 4.47 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Perugia..... 116
Figura 4.48 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Potenza..... 116
Figura 4.49 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Roma 117
Figura 4.50 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Torino 117
Figura 4.51 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Trento..... 118
Figura 4.52 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Trieste..... 118
Figura 4.53 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Venezia..... 119
Figura 4.54 - grafico relazione tra il costo dell'acqua in bolletta e il relativo tempo per ammortizzare il costo dell'impianto di recupero dell'acqua piovana per ciascun capoluogo di regione..... 120

INTRODUZIONE

La scelta dell'argomento sviluppato nella tesi è legata al corso di studi frequentato in questi anni, che mi ha appassionato e permesso di conoscere il percorso che l'acqua compie, e i fenomeni a cui le reti idriche sono sottoposte, per essere disponibile all'interno delle singole abitazioni. Nell'elaborato vengono trattati gli impianti utili alla distribuzione dell'acqua all'utenza, considerando i problemi di carattere idraulico e ambientale che si possono avere.

Ci sono dei casi in cui l'altezza di un edificio, oppure la sua ubicazione, è richiesta una pressione maggiore rispetto quella disponibile per portare l'acqua nei punti di utilizzo. Motivo per cui, in un primo momento, sono stati trattati gli impianti di sopraelevazione che permettono all'acqua di arrivare ai punti di erogazione che si trovano ad una quota per cui la sola pressione dell'acquedotto non sarebbe sufficiente. In merito, si è svolto un lavoro di ricerca volto ad acquisire le informazioni necessarie al fine di una migliore conoscenza degli impianti. All'interno dell'elaborato sono descritti le diverse tipologie di impianti e di ognuna di queste ne viene descritto il funzionamento. Questi sono costituiti da numerosi dispositivi, ma senza dubbio un ruolo fondamentale è ricoperto dalla pompa, ragione per cui si è effettuato un maggiore approfondimento della macchina idraulica, per spiegarne le diverse tipologie presenti in commercio e i parametri che determinano il loro funzionamento. Questa macchina idraulica permette di sollevare o spostare un fluido, nei punti in cui viene richiesto.

L'acqua rappresenta da sempre una risorsa fondamentale per l'ecosistema. Negli ultimi decenni, si è evidenziata una scarsità d'acqua, provocata da alcuni fattori che hanno causato un aumento della richiesta idrica: cambiamento climatico, aumento della popolazione, ampliamento delle attività umane e miglioramento del tenore di vita. Quanto appena detto, spinge l'uomo a progettare e migliorare gli impianti, o le opere, che permettono di limitare gli sprechi e a salvaguardare le risorse idriche dall'inquinamento. L'uomo utilizza l'acqua per svolgere diverse attività, alcune di queste potrebbero essere eseguite evitando di utilizzare l'acqua potabile derivante dall'acquedotto, ma utilizzando la pioggia. Attraverso gli "impianti di recupero dell'acqua piovana" negli edifici, è possibile raccogliere e convogliare la pioggia in un serbatoio di accumulo per poi essere ridistribuita, attraverso tubazioni esclusivamente dedicate, all'interno degli edifici. L'acqua piovana rappresenta un prezioso contributo in quanto può sostituire circa il 50% dell'acqua potabile, limitando i costi dell'acqua in bolletta.

Per gli impianti di recupero dell'acqua piovana, oltre ad un lavoro di ricerca per descriverne componenti e funzionamento, si è effettuata un'analisi numerica attua a dimensionare gli impianti, considerando due diverse tipologie di edificio in cui potrebbe essere installato. Oltre al dimensionamento, particolare attenzione è stata posta all'aspetto economico dell'impianto, in quanto è importante andare a capire se installare un sistema che permette di accumulare quantità di acqua maggiori, ha il giusto rapporto tra costi e benefici. L'analisi è stata condotta nei capoluoghi italiani di regione, utilizzando quindi i regimi pluviometrici di ciascun capoluogo.

1 SISTEMI DI SOPRAELEVAZIONE DELL'ACQUA

I sistemi di sopraelevazione dell'acqua vengono utilizzati quando la pressione fornita all'acqua risulta insufficiente per raggiungere, nella quantità richiesta, gli apparecchi erogatori presenti negli edifici oppure quando il serbatoio, utilizzato per l'accumulo d'acqua, viene collocato in un punto che risulta ad un'altezza uguale o minore rispetto la rete di distribuzione.

Una delle applicazioni più frequenti dei sistemi di sopraelevazione, riguarda la rete ti distribuzione degli edifici multipiano, in quanto la pressione necessaria per alimentare le utenze aumenta all'aumentare della quota del piano: si può ritenere di perdere una pressione circa uguale a 0,3 ÷ 0,4 bar [5] per ogni piano. Si distinguono due casi: un primo caso (Figura 1.1a), dove la pressione a disposizione è necessaria ad alimentare i punti più sfavoriti negli edifici, mentre, nel secondo caso (Figura 1.1b), la pressione a disposizione non si riesce a fornire l'acqua nei punti più sfavoriti, quindi è necessario installare dei sistemi di sopraelevazione dell'acqua.

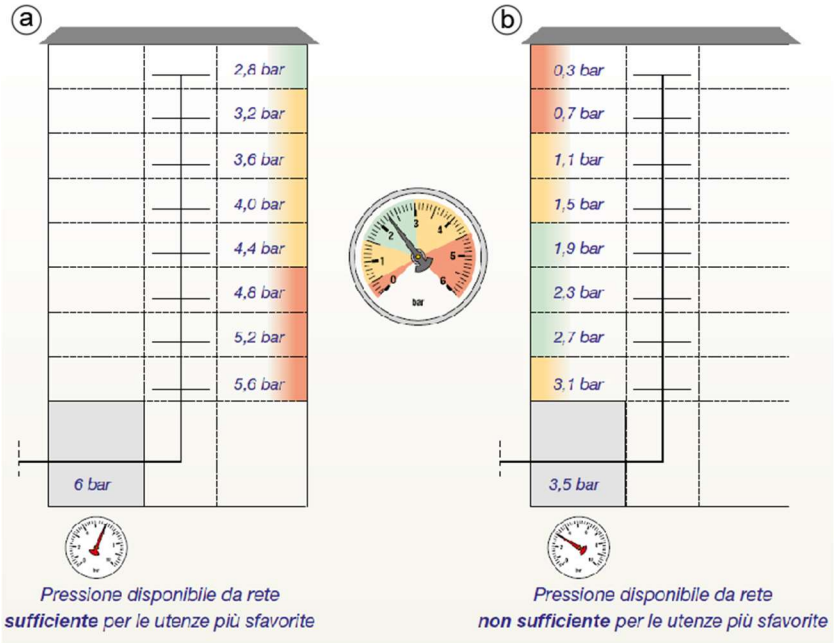

Figura 1.1 – pressione disponibile nelle reti di distribuzione degli edifici [fonte: "Claudio Ardizzoia et al – CALEFFI S.P.A. La pressione di distribuzione nelle reti di acqua sanitaria – pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale. Centrostampa S.r.l. Novara, 2018."]

1.1 Gruppi automatici di pressione

Il gruppo di pressione è uno dei sistemi che permette all'acqua di avere la pressione richiesta per essere erogata dall'utenza. Questo sistema è costituito da diversi componenti (Figura 1.2):

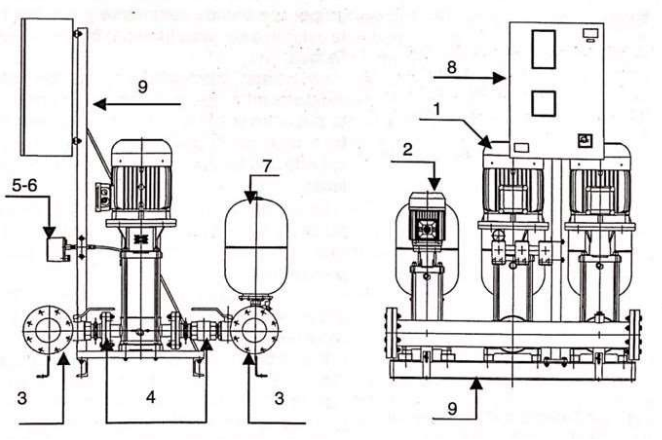

Figura 1.2 – Gruppo di pressione [fonte: "Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013."]

1) una o più elettropompe di *servizio*, chiamate anche principali;
2) eventuale presenza di una elettropompa *pilota*;
3) collettori di aspirazione e mandata;
4) valvole di intercettazione e di non ritorno, quest'ultima denominata di *ritegno*;
5) presenza di sensori, generalmente rilevano la pressione della rete di distribuzione;
6) uno o più manometri;
7) uno o più serbatoi di acqua in pressione, per diminuire il numero di avviamenti orari delle pompe;
8) quadri elettrici, per il comando e il controllo delle pompe;
9) basamenti e staffe per il fissaggio del quadro elettrico;
10) elementi idraulici di collegamento e intercettazione da collocare a monte o a valle del gruppo (non è presente nel disegno).

1.1.1 Funzioni e tipi di pompe

Le pompe sono delle macchine idrauliche impiegate per trasmettere all'acqua la giusta quantità di energia per giungere, con la portata e pressione richiesta, nel punto di utilizzo. In base al volume d'acqua richiesto dalle utenze e al tipo di utilizzo, si stabiliscono il numero di pompe che devono essere presenti in un gruppo di pressione. Generalmente, si installa una singola pompa quando si deve alimentare un appartamento o una villetta. Quando con una singola pompa non è possibile fornire la portata richiesta dalle utenze, si installano due o più pompe aventi le stesse caratteristiche idrauliche di portata e prevalenza.

Per gli edifici di civile abitazioni, o ospedalieri, si predispongono *n* pompe più 1 di riserva; la presenza di quest'ultima è fondamentale in caso di mancato funzionamento di una delle pompe o per disattivazione, di una di esse, causa manutenzione. Durante la fase di esercizio, nessuna delle pompe viene lasciata ferma ma vengono fatte lavorare a rotazione, per avere la certezza del corretto funzionamento di ciascuna di esse.

Quanto appena detto, viene distinto dagli anglosassoni in *duty-pump* (pompa di servizio) e la *stand-by pump* (pompa di riserva). Di conseguenza, la pompa di riserva si distingue in:

- *attiva,* quando è collegata al gruppo e l'attivazione viene effettuata attraverso il quadro elettrico;
- *passiva,* quando è collegata al gruppo ma l'attivazione non può essere effettuata attraverso il quadro elettrico, quindi bisogna utilizzare l'interruttore posto su di esso.

Alcune volte la portata richiesta dall'utenza è di modesta entità, motivo per cui è consigliato installare una *pompa pilota* all'interno del gruppo di pressione in modo da evitare l'avviamento delle pompe di servizio. In base al rapporto tra la portata della pompa pilota e quella di servizio, è possibile distinguere:

- *pilota di pressione,* quando la sua portata risulta uguale, o inferiore, al 30% della portata della pompa di servizio e deve solamente garantire che l'impianto sia in pressione;
- *pilota di portata,* quando, oltre a garantire che l'impianto sia in pressione, deve cooperare alla portata totale del gruppo. In questo caso, la sua portata è uguale, o inferiore, al 50% della portata della pompa di servizio.

1.1.2 Collettori e valvole

I collettori sono degli elementi tubolari che permettono il collegamento della pompa con la rete di distribuzione. Vengono prodotti attraverso la saldatura di elementi (tubi o manicotti) in acciaio, che successivamente subiscono un trattamento di elettrozincatura, in acciaio inossidabile EN 1.4301 (AISI 304) oppure EN 1.4401 (AISI 316), per proteggere il materiale dalla corrosione. In base al tipo di impianto in cui vengono installati, cambiano le pressioni a cui saranno sottoposti nella fase di installazione e di esercizio, motivo per cui si possono avere attacchi filettati o flangiati.

Esistono diversi tipi di valvole, ognuna svolge una specifica funzione (Figura 1.3):

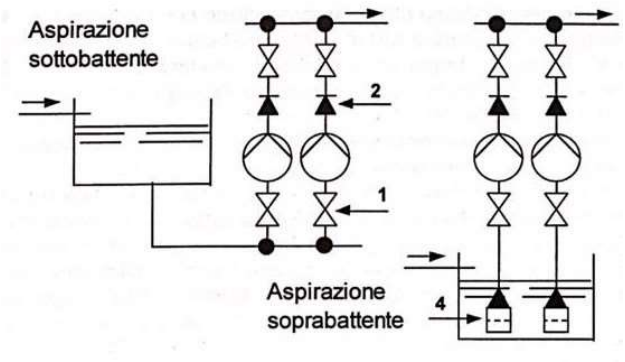

Figura 1.3 – posizioni delle valvole [fonte: "Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013."]

1) *valvole di intercettazione,* interrompono il collegamento tra la pompa e la rete idrica. Vengono adoperate durante il primo avviamento e quando si deve agire sulla pompa a causa di possibili danneggiamenti subiti durante i periodi di funzionamento. Generalmente, vengono realizzate in ottone, bronzo, acciaio cromato e acciaio inossidabile;

2-4) *valvole di impedimento del riflusso dell'acqua,* permettono il movimento in una sola direzione del flusso d'acqua. In questo modo l'acqua non può tornare indietro e la rete di distribuzione conserva l'acqua presente al suo interno, evitando una rotazione inversa delle pale della pompa. Tali valvole possono essere installate sul lato di aspirazione o di mandata delle pompe e sono conosciute anche come *valvole di ritegno*.

3) *valvole di sicurezza,* serve per ridurre il cuscino d'aria quando la pressione aumenta fino a superare il valore di pressione massima definito dal costruttore dell'autoclave, evitando così circostanze pericolose per le persone e gli impianti. Solitamente, si montano nella zona dell'involucro dell'autoclave occupata dal cuscino d'aria, possibilmente in sommità, e sono denominate *valvole di sfiato* (non è rappresentata nel disegno).

1.1.3 Sensori: pressostati e trasmettitori elettronici

L'intervento delle pompe è comandato da sensori che, attraverso la variazione di pressione registrata nella rete, ne permettono l'avvio e l'arresto.

1.1.3.1 Pressostati

I *pressostati* hanno la funzione di comandare l'avvio o l'arresto delle pompe, quando gli elementi costituenti un impianto (tubazioni, valvolame, apparecchi erogatori, ecc.) possono sopportare variazioni della pressione dell'ordine di 1,5 ÷ 2,5 bar [1]. Tali dispositivi possono essere installati direttamente sull'autoclave, oppure sul collettore di mandata delle pompe.

Tenendo presente la loro struttura meccanica, è possibile distinguere due categorie (Figura 1.4):

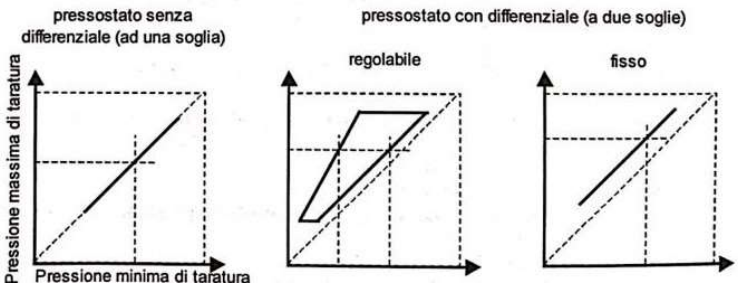

Figura 1.4 – Pressostati con e senza differenziale [fonte: "Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013."]

- *Pressostati senza differenziale,* quando la pressione che permette la chiusura e la riapertura del contatto sono le medesime;
- *Pressostati con differenziali,* quando la pressione che permette la chiusura e la riapertura del contatto sono diverse. In questo caso, l'intervallo tra i due valori di pressione è chiamato *differenziale;* tale valore può essere modificato con le viti, o i dadi, presenti sul dispositivo oppure si può avere anche un valore fisso del differenziale.

I pressostati con differenziale regolabile dipendono dal campo in cui essi lavorano, quindi per assicurare l'adeguato funzionamento dell'impianto è fondamentale scegliere un differenziale opportuno: un differenziale troppo piccolo comporta frequenti interventi da parte della pompa e rischio di oscillazioni, mentre un differenziale troppo elevato provoca grandi oscillazioni di pressione. Le aziende produttrici forniscono i pressostati con i valori già settati di fabbrica, ma è possibile modificare tali valori attraverso due viti di regolazione presenti sul dispositivo. La taratura del pressostato viene modificata in funzione del dimensionamento dell'impianto: la pressione minima per l'attivazione della pompa viene presa circa uguale al valore calcolato della prevalenza della pompa, mentre la pressione massima, che comporta lo spegnimento della pompa, deve essere aumentata di circa un minimo di 1 bar (100 kPa) a un massimo di 2 bar (200 kPa) [4]; quanto appena detto significa che si impone una limitazione al differenziale del pressostato.

Per evitare che insorga il fenomeno del colpo d'ariete, provocato da un istantaneo arresto della pompa, bisogna scegliere un valore opportuno della pressione massima di spegnimento. Dal momento che tale fenomeno dipende dal volume di acqua in gioco, si può ridurre o evitare il seguente problema posticipando l'arresto della pompa attraverso un *temporizzatore* o utilizzando dei dispositivi che governano la velocità del motore elettrico (*convertitori di frequenza).* Se si dovesse optare per il temporizzatore, bisogna accertarsi che gli elementi che costituiscono l'impianto (tubazioni, valvolame, giunzioni, ecc.) possano resistere alla pressione massima a cui sarà sottoposto l'impianto.

Per capire meglio il funzionamento di questo dispositivo si fa riferimento alla figura 1.5, dove è rappresentato, con un'aerea blu, il campo di lavoro del pressostato. L'area in questione si ottiene tenendo presente le pressioni minime e massime, o del differenziale, presenti sul catalogo del pressostato; i suddetti parametri dipendono dalle caratteristiche meccaniche del pressostato.

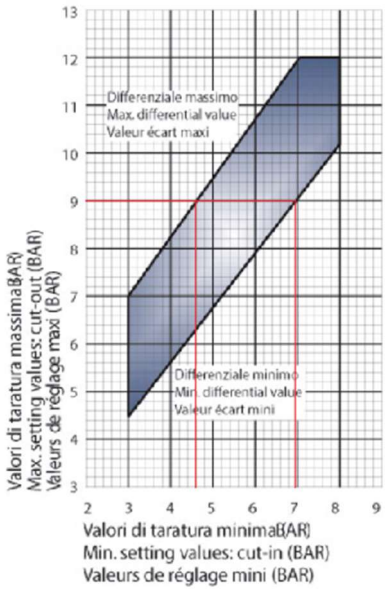

Figura 1.5 – campo di lavoro del pressostato [fonte: "https://www.braccioni.com/Pressostato-trifase-ATE-3-12"]

Se consideriamo di lavorare ad una pressione massima di 9 bar, possiamo determinare sul grafico un range di valori minimi di pressione compresi tra 4,6 bar e 7 bar. Di conseguenza, si potrà scegliere qualunque valore di pressione minima del pressostato nell'intervallo di questi due valori.

Normalmente il costruttore assegna dei valori di taratura ai pressostati, appartenenti al gruppo di pressione, nella condizione di *aspirazione neutra,* cioè l'acqua e la bocca di aspirazione della pompa si trovano all'incirca alla stessa quota (Figura 1.6*a*). Un'altra configurazione si ha quando la pompa è collegata ad un serbatoio, o un acquedotto, posto ad un'altezza superiore (Figura 1.6*b* e 1.6*c*). In questo caso si deve alzare la curva portata-prevalenza di una quantità pari alla pressione di ingresso o al dislivello geodetico. A questo punto bisogna valutare se i pressostati scelti possano essere ritarati, considerando la nuova posizione della curva caratteristica, oppure se è opportuno scegliere nuovi pressostati per evitare che si abbiano problemi di funzionamento come, ad esempio, il mancato intervento delle pompe. Questa configurazione del sistema si definisce *aspirazione sottobattente.* Nel caso contrario, quando la pompa si trova ad un'altezza superiore (Figura 1.6*d*) rispetto al serbatoio a cui è collegata, si parla di *aspirazione soprabattente.* In questa circostanza, si deve abbassare la curva portata-prevalenza di una quantità pari al dislivello geodetico e il mancato controllo della taratura dei pressostati ammetterebbe la possibilità che le pompe non interrompano il proprio funzionamento.

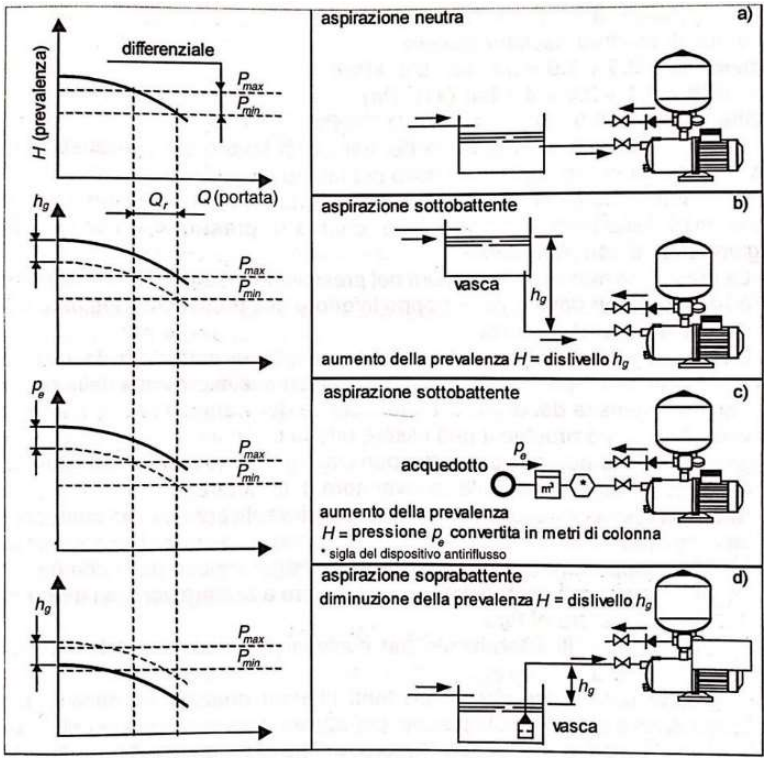

Figura 1.6 – variazione posizione curva portata-prevalenza in funzione della condizione di aspirazione [fonte: "Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013."]

Quando si ha un impianto con due pompe in sequenza, la taratura del pressostato della seconda pompa deve essere impostato col medesimo differenziale del primo ma con una pressione minima di intervento inferiore di circa 0,3 ÷ 0,5 bar rispetto al primo [4]. Se il sistema fosse composto da 2+*n* pompe, le tarature dei diversi pressostati dovranno essere impostati a scalare con una differenza di circa 0,3 ÷ 0,5 bar tra di loro [1].

All'interno del gruppo di pressione è possibile installare sia dei pressostati di segnalazione che di protezione; quest'ultimi impediscono l'avviamento del compressore quando all'interno del serbatoio si supera la pressione massima di sopraelevazione.

1.1.3.2 Trasmettitori elettronici di pressione

È possibile avere dei valori non ammissibili, in alcune installazioni, del differenziale totale di un gruppo di pressione. In questi casi, il differenziale del gruppo viene modificato utilizzando dei sistemi elettronici composti da un *trasmettitore* che, connesso a una *scheda elettronica*, permette di scegliere le pressioni di attivazione delle pompe. Le pressioni di attivazione, o fermata, delle pompe vengono settate per mezzo di un'interfaccia; tali valori vengono convertiti in valori elettrici chiamate *soglie*. Nella fase di esercizio, la pressione registrata nelle condotte della rete di distribuzione viene trasmessa sotto forma di segnale dal trasmettitore ad una scheda elettronica. Di conseguenza, la scheda elettronica confronta i valori ricevuti dal segnale con le soglie prefissate durante l'installazione e stabilisce se accendere o spegnere una o più pompe.

Il sistema appena descritto offre il vantaggio di mantenere il differenziale ad un valore di 0,5 bar [1] di ognuna delle pompe che costituisce il sistema per mezzo di un solo sensore, invece di un pressostato per ciascuna di esse.

È opportuno installare una valvola di intercettazione nell'allaccio tra il gruppo e i trasmettitori per effettuare le verifiche di manutenzione o rimpiazzare quest'ultimi evitando di rimuovere l'acqua presente nell'impianto.

1.1.4 Manometri

È uno strumento che permette di misurare il valore della pressione dei fluidi o dei gas con un'istantanea lettura su un quadrante.

È indicato installare una valvola di intercettazione nell'allaccio tra il gruppo e il manometro per effettuare le verifiche di manutenzione o rimpiazzare quest'ultimo evitando di rimuovere l'acqua presente nell'impianto.

1.1.5 Autoclavi

L'impianto d'autoclave può essere installato in: abitazioni singole, impianti condominiali, impianti industriali e acquedotti.

L'autoclave è un serbatoio al cui interno è presente acqua e aria in pressione. Ha il compito di soddisfare la richiesta idrica fornendo alle utenze una parte del volume d'acqua contenuto al suo interno, limitando così il numero di avviamenti orari delle pompe. È importante capire il funzionamento di un impianto con autoclave: nel momento in cui viene aperto un rubinetto diminuisce la pressione della rete di distribuzione e, di conseguenza, l'autoclave, avendo una pressione maggiore della rete, alimenta le utenze attraverso l'acqua in pressione presente al suo interno. Man mano che il volume d'acqua all'interno de serbatoio diminuisce, si ha una riduzione di pressione nel serbatoio fin quando non verrà eguagliata la pressione della rete, cioè la pressione minima di taratura del pressostato. A questa situazione non si arriva mai perché il pressostato attiva le pompe che alimentano sia le utenze che l'autoclave. Nel momento in cui verrà chiuso il rubinetto, la pompa non si spegnerà immediatamente, ma continuerà a ripristinare il volume d'acqua all'interno dell'autoclave. Solamente quando il volume d'acqua all'interno dell'autoclave sarà tale da far registrare la pressione massima di taratura del pressostato la pompa verrà spenta. Le fasi appena descritte, si ripetono ogni qualvolta che l'utenza usufruisce dell'acqua. Le autoclavi maggiormente utilizzate per gli impianti di sopraelevazione idrica sono: autoclave a cuscino d'aria e autoclave a membrana.

1.1.5.1 Autoclavi a cuscino d'aria

Il sistema è costituito da una pompa che attinge acqua da un acquedotto, o un serbatoio di accumulo, e alimenta un serbatoio contenente un cuscino d'aria. Quando inizia la fase di consumo, il cuscino d'aria si dilata fornendo all'acqua l'energia immagazzinata e necessaria a soddisfare le richieste d'acqua degli utenti. È fondamentale ripristinare all'interno del serbatoio il cuscino d'aria, in quanto, quest'ultima, tende a solubilizzarsi nell'acqua. É evidente, che il rendimento dell'autoclave dipendono dalle dimensioni del cuscino d'aria, il che richiede l'impiego di dispositivi diversi per immettere aria nel serbatoio:

- *compressore d'aria,* l'attivazione del dispositivo può essere manuale o automatica; in quest'ultimo caso è comandata da un *livellostato di controllo* e un *pressostato di sicurezza.* Il collegamento del compressore si esegue, come mostrato in Figura 1.7, allacciandolo nella parte alta del serbatoio, in cui va inserita una valvola di ritegno.

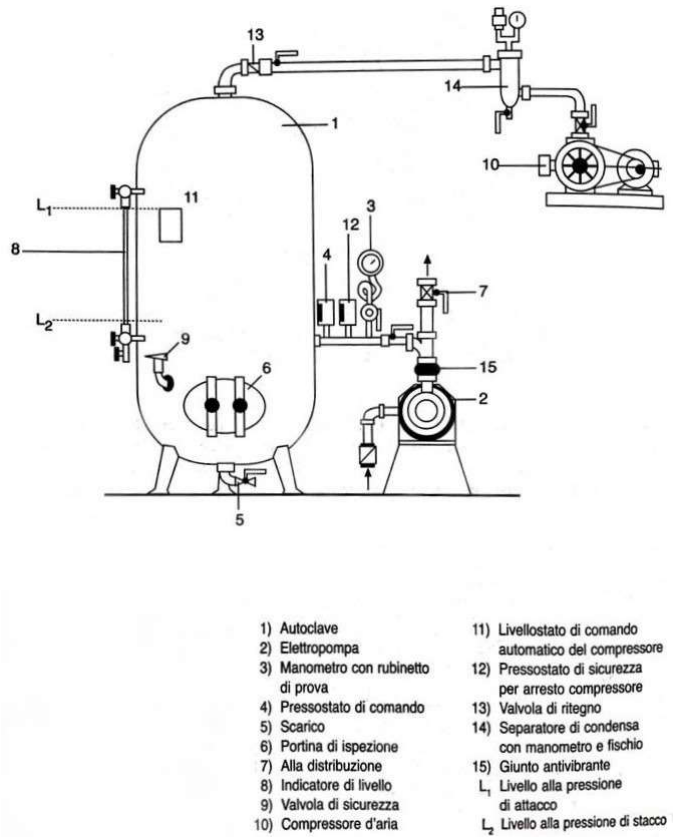

Figura 1.7 – Autoclave a cuscino d'aria con compressore [fonte: "Calza, Francesco. Manuale Degli Impianti Termici E Idrici. Milano: Tecniche Nuove, 2005."]

Il livellostato (Figura 1.7, elemento n°11) è un dispositivo con galleggiante che tiene sotto controllo il livello del cuscino d'aria all'interno del serbatoio. Ha il compito di arrestare il funzionamento del compressore quando l'acqua, presente all'interno del serbatoio, è a un livello talmente basso da poter essere aspirata dalla pompa. In questo modo si evita la sua diffusione nell'impianto.

L'avvio del compressore non dipende solo dal livello del galleggiante, ma contemporaneamente il pressostato deve mostrare il proprio consenso misurando la pressione minima di taratura, cioè all'interno del serbatoio non si ha la pressione necessaria per permettere il moto dell'acqua.

La norma "UNI 9182:2014 – *Impianti di alimentazione e distribuzione d'acqua fredda e calda - Progettazione, installazione e collaudo"* suggerisce di "*adottare compressori d'aria preferibilmente non lubrificati, con serbatoio di riserva, provvisti di organi di regolazione, intercettazione e sicurezza omologati e di dispositivi di protezione contro ogni tipo di contaminazione."*

I compressori devono avere una capacità tale da pressurizzare il sistema nella prima fase di avviamento in 2 ore.

- *Alimentatore d'aria tradizionale,* nella fase di attivazione della pompa la circolazione dell'acqua provoca una depressione con conseguente entrata da parte dell'aria nell'alimentatore. Pertanto, il suo utilizzo non è possibile quando il gruppo di pressione si trova a livello inferiore rispetto all'alimentazione (acquedotto o serbatoio di gravità).

Nella Figura 1.8 si può osservare lo schema di un'autoclave con alimentatore d'aria:

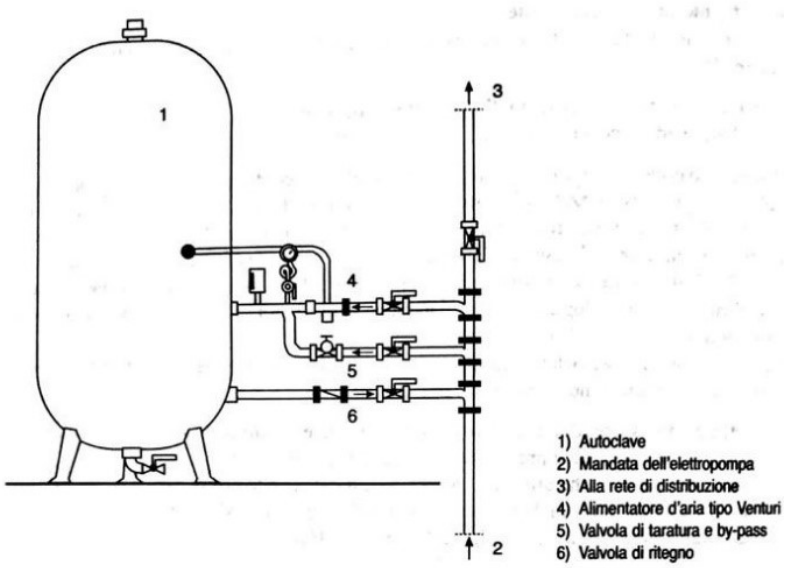

Figura 1.8 – Autoclave a cuscino d'aria con alimentatore d'aria [fonte: "Calza, Francesco. Manuale Degli Impianti Termici E Idrici. Milano: Tecniche Nuove, 2005."]

L'alimentatore ad aria è costituito da diversi elementi (Figura 1.9):

Figura 1.9 – Alimentatore d'aria [fonte: "https://www.pippohydro.com/prodotto-1732-0-Pippo_Alimentatore_automatico_aria.html"]

È possibile comprendere meglio il funzionamento dell'alimentatore d'aria osservando la Figura 1.10. In un primo momento, la pompa è spenta e l'alimentatore è pieno d'acqua perché il livello, di quest'ultima, all'interno dell'autoclave è al di sopra dell'attacco con l'alimentatore (Figura 1.10a). L'azionamento della pompa provoca una depressione che innesca il movimento dell'acqua dall'autoclave all'ingresso di aspirazione della pompa. Di conseguenza, si ha un flusso all'interno dell'alimentatore che, attraverso l'ugello Venturi, attiva la valvola di aspirazione che permette all'aria di entrare e riempire l'alimentatore (Figura 1.10b). Quando il dispositivo è occupato dall'aria, la sfera di gomma si posiziona sul fondo impedendo il passaggio dell'aria nella pompa (Figura 1.10c). Infine, appena la pompa si ferma, per il principio dei vasi comunicanti si innesca un flusso d'acqua di senso contrario che, risalendo attraverso la pompa e lungo il tubo flessibile, passa nell'alimentatore spingendo l'aria all'interno dell'autoclave (Figura 1.10d).

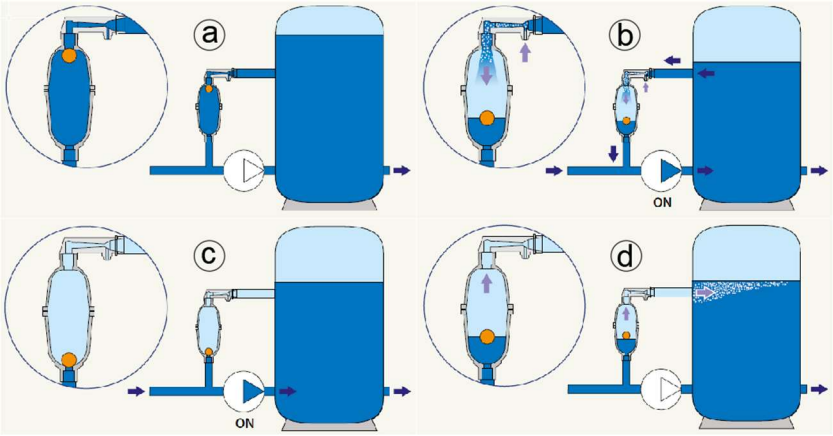

Figura 1.10 – Funzionamento alimentatore d'aria [fonte: "Claudio Ardizzoia et al – CALEFFI S.P.A. La pressione di distribuzione nelle reti di acqua sanitaria – pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale. Centrostampa S.r.l. Novara, 2018"]

Per non ostacolare il regolare funzionamento è importante non posizionare valvole di intercettazione, o di ritegno, nel collegamento della pompa con il tubo flessibile dell'alimentatore. La valvola di ritegno si posiziona a monte del collegamento per consentire il movimento inverso del flusso, quando la pompa è spenta, per mezzo del tubo flessibile.
Terminata l'installazione, nella fase di primo avviamento, all'interno dell'autoclave non è presente la quantità di aria necessaria, quindi si avranno, in presenza di richieste d'acqua, ripetuti avviamenti della pompa di durate sempre maggiori. Per evitare questo problema è preferibile realizzare un cuscino d'aria iniziale attraverso un compressore portatile.

Normalmente, si utilizzano le autoclavi con compressore d'aria fino ad un massimo di 2000 l di capacità, solamente in casi eccezionali si utilizzano le autoclavi con compressore d'aria per capacità maggiori. Invece, le autoclavi con alimentatori d'aria vengono installate fino ad una capacità massima di 5000 l [1].

In aggiunta, non è possibile utilizzare gli alimentatori d'aria nei gruppi in cui è presente una pompa sommersa installata in una vasca o in un pozzo, ma è consigliabile optare per un'autoclave a cuscino d'aria alimentato da un compressore oppure per un'autoclave a membrana.

Generalmente, il sistema con autoclave deve svolgere la propria funzione in un range di pressioni variabile, in funzione di com'è costituito l'impianto, compreso tra 1,5 bar (150 kPa) e 2,5 bar (250 kPa) [3].

1.1.5.1.1 Dimensionamento volume autoclave a cuscino d'aria

La norma "UNI 9182:2014 – *Impianti di alimentazione e distribuzione d'acqua fredda e calda - Progettazione, installazione e collaudo"* fornisce la sola formula (2.1) per calcolare il volume di un'autoclave a cuscino d'aria con compressore [3]:

$$V = 30\,\frac{q_{max}\cdot 60}{a}\cdot\frac{P_1+100}{P_1-P_2} \qquad (1.1)$$

I termini presenti nella formula sono:

- *V*: volume totale del serbatoio in l;
- 30: costante;
- q_{max}: portata massima contemporanea da fornire alle utenze in l/s;
- 60: coefficiente per convertire la portata in l/min;
- *a*: numero massimo di avviamenti orari per la pompa;

- P_1: pressione massima di esercizio in kPa. È data dalla somma della pressione minima, del differenziale di pressione, del dislivello positivo o negativo tra l'autoclave e il punto di erogazione più favorito;
- P_2: pressione minima di esercizio in kPa;
- 100: coefficiente per convertire la pressione minima in assoluta.

1.1.5.2 Autoclavi a membrana

Le autoclavi a membrana, conosciute anche come *idroaccumulatori,* sono composte da un involucro, una flangia di accoppiamento e da una membrana costituita da un materiale elastico.

L'autoclave, al suo interno, si divide in una parte in cui si trova l'acqua delimitata dalla membrana e un'altra in cui è presente una precarica di gas inerte confinata dalla stessa membrana e dall'involucro dell'autoclave (Figura 1.11).

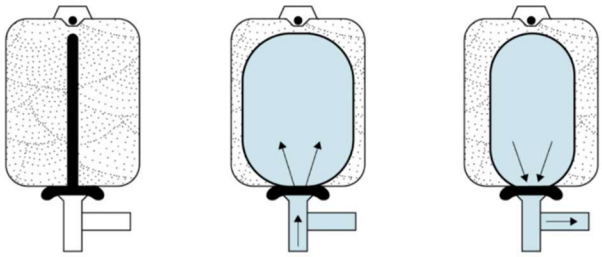

Figura 1.11 – funzionamento membrana di un'autoclave [fonte: "https://idraulica.caleffi.com/articolo/autoclavi-membrana"]

Quando si avviano le pompe, l'acqua entra all'interno del serbatoio comprimendo il gas fin quando, quest'ultimo, non eguaglia la massima pressione prestabilita. La pressione "conservata" nel gas viene dissipata quando inizia la richiesta idrica dell'utenza, nell'intervallo di tempo in cui le pompe non sono in funzione. È essenziale proteggere le pompe dalla marcia a secco andando a inserire nel sistema un dispositivo di blocco.

È importante che l'acqua potabile da fornire all'utenza sia contenuta da una membrana costituita da un materiale che non altera le caratteristiche chimiche dell'acqua. Inoltre, l'acqua non deve entrare a contatto con le pareti dell'involucro. Per evitare la corrosione delle pareti metalliche interne del serbatoio, si utilizza l'azoto come gas di precarica, in quanto, al contrario dell'aria, non provoca problemi di ossidazione alle pareti. La pressione del gas di precarica dell'autoclave deve essere circa uguale alla pressione minima dell'impianto e più bassa della pressione minima di taratura del pressostato, mentre la pressione massima che si ha durante la fase di esercizio deve essere maggiore della pressione massima di taratura del pressostato. Per l'involucro dell'autoclave vengono utilizzate delle superfici a forme cilindriche a fondi bombati e sferici.

Un sistema con autoclave a membra è formato dai dispositivi presenti in Figura 1.12:

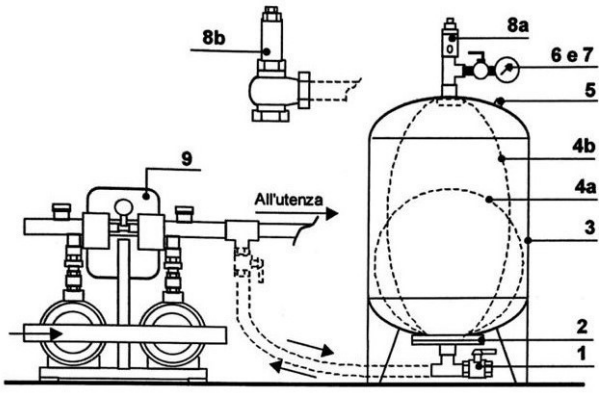

Figura 1.12 – Autoclave a membrana [fonte: "Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013."]

1) Scarico del serbatoio;
2) Flangia di collegamento, normalmente è realizzato in acciaio stampato o saldato e in seguito verniciato;
3) Involucro esterno, è in acciaio stampato, calandrato, saldato e in seguito verniciato. In commercio si trovano a installazione verticale o orizzontale;
4) Membrana in materiale elastico, è definita di tipo *chiuso* quando è bloccata solo dalla flangia di collegamento inferiore (4a), oppure di tipo *aperto* (4b) se è bloccata, oltre che dalla flangia inferiore, anche da una flangia superiore;
5) Valvola per la ricarica dell'aria, può essere collocata sulla parte superiore o inferiore del serbatoio;
6) Manometro;
7) Rubinetto di intercettazione con flangia di taratura per effettuare la verifica nel luogo di installazione dell'autoclave;
8) Valvola di sicurezza, può essere a *scarico libero* (8a) o *convogliato* (8b). Quest'ultima viene scelta quando si vuole smaltire l'eventuale acqua o aria di sfiato immediatamente nello scarico fognario;
9) Gruppo di pressione.

Per il corretto funzionamento dell'autoclave è importante l'integrità della membrana: se si dovesse forare ci sarebbe un aumento del numero di avviamenti della pompa.

Bisogna prestare molta attenzione alla pressione del gas perché se è molto superiore rispetto alla pressione ceduta dalla pompa all'acqua, quest'ultima, non è in grado di entrare nel serbatoio. Nel caso contrario, cioè quando la pressione del gas è molto inferiore, viene erogata una quantità d'acqua molto bassa e di conseguenza si ha un aumento del numero di avviamenti della pompa.

Rispetto alle autoclavi a cuscino d'aria, la manutenzione nelle autoclavi a membrana si limita a controlli periodici della pressione di precarica del gas, che deve essere minore di 0,2 bar (20 kPa) rispetto la pressione che danno il consenso all'avvio delle pompe. Per evitare di svuotare l'impiato durante la fase di verifica si predispone una valvola di intercettazione tra il serbatoio e il condotto del gruppo di pressione.

Negli impianti in cui si installano gli idroaccumulatori si ha un risparmio di spazio perché, a differenza delle autoclavi con cuscino d'aria, non è necessario predisporre un compressore, in quanto il gas non si disperde essendo confinato tra la membrana e l'involucro. Potendo usufruire di tutto il volume presente nell'autoclave a membrana, a parità di prestazioni, si potrà inserire nell'impianto un serbatoio con una capacità minore rispetto a quello a cuscino d'aria.

L'autoclave a membrana viene utilizzato per abitazioni a uso unifamiliare e non per condomini perché all'aumentare del numero di utenti, si ha numero maggiore di avviamenti della pompa che generano delle sollecitazioni sulla membrana che ne procurano un repentino deterioramento.

1.1.6 Quadro elettrico

Il quadro elettrico viene collocato nei gruppi di pressione con il compito di gestione, protezione e di comando per la fase di avvio e fermata delle pompe. La fase di avvio è permessa grazie alla presenza dei sensori nel gruppo che misurano la pressione nella rete. Questo parametro è fondamentale perché determina l'avvio o la fermata delle pompe per mezzo del quadro elettrico.

1.1.6.1 Circuiti ausiliari

I circuiti ausiliari si occupano, principalmente, della sicurezza di funzionamento di un impianto. Tra le diverse funzioni che svolgono, quattro hanno raggiunto negli ultimi anni una maggiore rilevanza:

1) *Inversione automatica*, ad ogni fase lavorativa viene utilizzata una pompa diversa durante la fase di attivazione e di fermata per scongiurare una maggiore usura di una singola pompa;
2) *Protezione contro la marcia a secco,* permette di fermare la pompa quando non è presente l'acqua all'interno della macchina idraulica, evitando così danni irreversibili alla girante o alla tenuta meccanica. Esistono diversi dispositivi che svolgono la funzione appena descritta, tra cui il pressostato (come descritto nel paragrafo 1.1.3.1), utilizzato quando il gruppo preleva l'acqua da un'alimentazione (acquedotto) in cui è in pressione. Il funzionamento del pressostato contro la protezione della marcia a secco è praticamente l'opposto di quello utilizzato per l'avvio e la fermata delle pompe, in quanto: il pressostato apre il suo contatto elettrico provocando lo spegnimento della pompa nel momento in cui la pressione diminuisce fino al valore minimo di taratura e chiude il contatto, provocando l'attivazione della pompa, quando la pressione raggiunge il valore massimo di taratura;
3) *Temporizzatori,* vengono installati insieme ad autoclavi di volumi modesti, circa 24 l [1], quando non si ha abbastanza spazio per installare autoclavi di grandi volumi. Questi dispositivi ritardano lo spegnimento della pompa per molti secondi quando termina la richiesta d'acqua da parte delle utenze, nonostante si registri un aumento di pressione nella rete. Di conseguenza ci troveremo in due differenti situazioni:
   - Quando l'intervallo di tempo che intercorre tra la chiusura e la successiva apertura del rubinetto è minore, o uguale, del ritardo di spegnimento della pompa provocato dal temporizzatore, la macchina idraulica continua il suo ciclo di lavoro senza la necessità di un avviamento aggiuntivo. Se all'atto della successiva chiusura il temporizzatore ha finito il suo periodo d'intervento, la pompa si spegnerà immediatamente dopo la chiusura del rubinetto.
   - Quando l'intervallo di tempo che intercorre tra la chiusura e la successiva apertura del rubinetto è maggiore del ritardo di spegnimento della pompa provocato dal temporizzatore, la macchina idraulica ripristina il volume d'acqua in pressione all'interno dell'autoclave fin quando non viene raggiunta nella rete la massima pressione di taratura che provoca lo spegnimento della pompa.

   I temporizzatori, ogni qual volta terminano un ciclo di lavoro, devono essere azzerati così da risultare pronti per il ciclo successivo;
4) *Supervisione,* è opportuno avere informazioni in merito alla condizione di funzionamento del gruppo di pressione in una posizione differente rispetto dove viene collocata. A tale scopo, è necessario usufruire di uno strumento di telerilevamento e controllo remoto.

1.1.7 Schemi di installazione di un gruppo di pressione

È importante descrivere le diverse tipologie di collegamento tra il gruppo di pressione e l'alimentazione (lato aspirazione) e vedere i diversi schemi che si hanno quando il gruppo di pressione viene progettato per fornire l'acqua ad un singolo edificio multipiano (lato mandata).

1.1.7.1 Collegamento lato aspirazione

L'acqua che giunge al gruppo di pressione viene prelevata da un acquedotto, da una vasca o da un pozzo.

Per la sopraelevazione idrica di edifici, normalmente, si collega il gruppo di pressione all'acquedotto. Dovendo evitare la contaminazione dell'acqua della rete di distribuzione cittadina, bisogna seguire le disposizioni emanate dalle autorità locali sui dispositivi da inserire nell'impianto per evitare riflussi d'acqua proveniente dagli appartamenti.

Esistono diversi schemi di collegamento tra il gruppo di pressione e l'acquedotto. Vengono descritti di seguito:

- *Collegamento indiretto attraverso una vasca di prima raccolta,* che si trova tra la presa di derivazione dell'acquedotto e il gruppo di pressione, come in Figura 1.13. L'acqua, prima di arrivare al gruppo, viene fatta convogliare nella vasca e ciò comporta un utilizzo di pompe con pressioni maggiori, in quanto non è possibile usufruire della pressione dell'acquedotto. In compenso, l'installazione della vasca di prima raccolta assicura una pressione costante in aspirazione per la pompa.

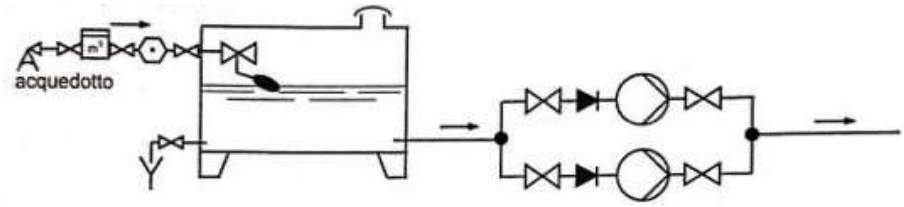

Figura 1.13 – vasca di prima raccolta interposta tra gruppo di pressione e acquedotto [fonte: "Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013."]

- *Collegamento diretto attraverso una valvola di ritegno o disconnettore,* installato tra le presa di derivazione dell'acquedotto e il gruppo di pressione (Figura 1.14). La norma "UNI EN 806-2:2008 – *specifiche relative agli impianti all'interno di edifici per il convogliamento di acque destinate al consumo umano"* afferma che il collegamento diretto senza l'installazione di un serbatoio a pressione sul lato di aspirazione delle pompe è possibile se *"la differenza massima della velocità di flusso nel tubo di servizio e nel tubo di distribuzione del sistema di sopraelevazione della pressione, generata da ogni pompa o valvola sulla pompa in funzione o meno, è minore di 0,15 m/s. Per evitare colpi d'ariete inaccettabili, anche in presenza di un'interruzione dell'energia elettrica, la differenza della velocità di flusso nel tubo di servizio e nel tubo di distribuzione verso il sistema di sopraelevazione della pressione in caso di guasto di tutte le pompe di servizio non deve essere maggiore di 0,5 m/s*". Questo schema, avendo un collegamento diretto con l'acquedotto, può sfruttare la pressione derivante dall'acquedotto, ma, contemporaneamente, è soggetto alle oscillazioni della pressione che si hanno nel corso di una giornata. Inoltre, essendo un sistema chiuso, non c'è il rischio di contaminazione dell'acqua potabile da fornire alle utenze. Quando la variazione tra la pressione massima e minima è maggiore di 1 bar (100 kPa), si suggerisce di montare a valle una valvola che provochi la riduzione di pressione (Figura 1.15).

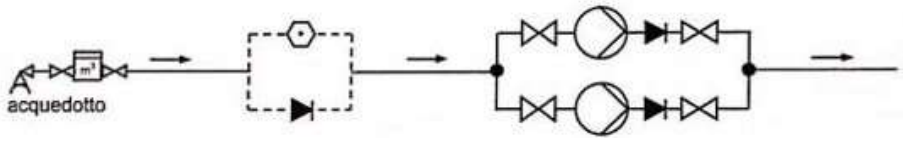

Figura 1.14 - disconnettore, o valvola di ritegno, interposto tra gruppo di pressione e acquedotto [fonte: "Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013."]

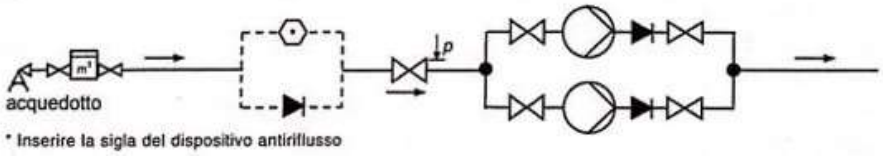

Figura 1.15 - disconnettore, o valvola di ritegno, con riduttore di pressione interposto tra gruppo di pressione e acquedotto [fonte: "Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013."]

- *Collegamento diretto attraverso la preautoclave,* anch'esso, come nei precedenti schemi, è posto tra la presa di derivazione dell'acquedotto e il gruppo di pressione (Figura 1.16). Anche questo schema ha il beneficio di sfruttare la pressione derivante dall'acquedotto, ma risente delle oscillazioni di pressione che si hanno nel corso di una giornata e che devono essere inferiori a 1 bar (100 kPa).

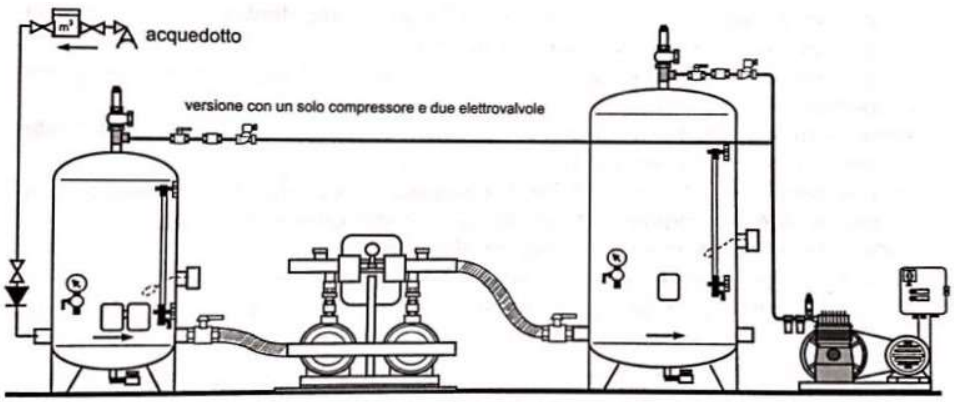

Figura 1.16 - preautoclave interposta tra gruppo di pressione e acquedotto [fonte: "Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013."]

Per l'impiego di preautoclavi, la norma "UNI 9182:2014 – *Impianti di alimentazione e distribuzione d'acqua fredda e calda - Progettazione, installazione e collaudo"* afferma che "*il serbatoio preautoclave deve avere una capacità pari al 50% circa della capacità delle autoclavi installate con un minimo di 300 l, salvo diversa prescrizione delle Autorità competenti. Il serbatoio deve essere dotato di pressostato atto a interrompere il funzionamento del sistema di sopraelevazione quando la pressione dell'acquedotto è minore di 100 kPa."*

Il serbatoio preautoclave è costituito da diversi dispositivi: pressostato della pressione minima (normalmente tarato a 1 bar) per fermare le pompe, livellostato, pressostato per il compressore, indicatore di livello e una valvola di sicurezza.

1.1.7.2 Collegamento lato mandata

Rispettando le pressioni minime e massime a cui possono essere soggetti gli apparecchi erogatori, è possibile pensare a quattro differenti configurazioni per l'installazione dei gruppi di pressione negli edifici:

1) La pressione a disposizione può alimentare solo i piani più bassi dell'edificio, quindi, in questo caso, è possibile dividere le colonne di adduzione per installare un gruppo di pressione che permetta l'alimentazione dei pianti più alti (Figura 1.17):

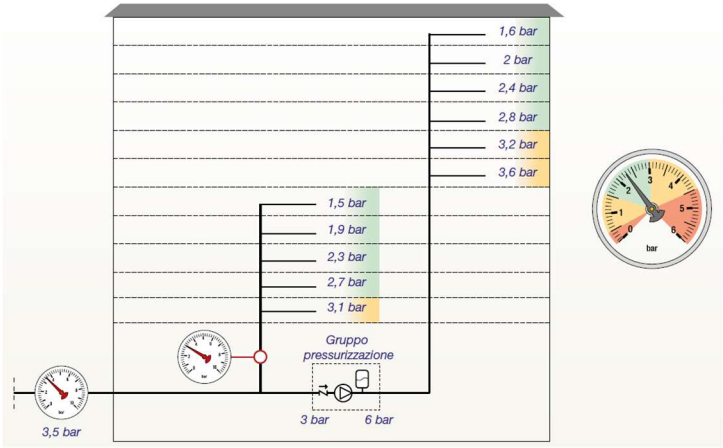

Figura 1.17 – prima configurazione di installazione di un gruppo di pressione [fonte: "Claudio Ardizzoia et al – CALEFFI S.P.A. La pressione di distribuzione nelle reti di acqua sanitaria – pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale. Centrostampa S.r.l. Novara, 2018."]

Il gruppo di pressione viene dimensionato considerando non la portata di progetto dell'intero edificio ma solo l'aliquota riferita ai piani a cui il gruppo fornisce l'acqua;

2) Nel seguente caso, la pressione dell'alimentazione non è sufficiente per fornire l'acqua ai diversi piani dell'edificio, quindi si installa un gruppo di pressione a ciascuna colonna di adduzione (Figura 1.18):

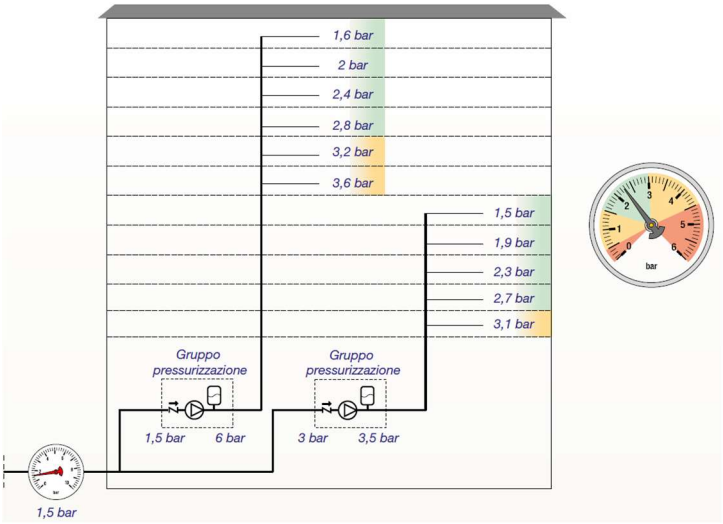

Figura 1.18 – seconda configurazione di installazione di un gruppo di pressione [fonte: "Claudio Ardizzoia et al – CALEFFI S.P.A. La pressione di distribuzione nelle reti di acqua sanitaria – pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale. Centrostampa S.r.l. Novara, 2018."]

I gruppi vengono dimensionati considerando la portata che deve distribuire ciascuna colonna di adduzione;

3) In alternativa al caso 2, è possibile installare un singolo gruppo di pressione sulla linea principale accompagnato da un riduttore di pressione per i piani più bassi dell'edificio (Figura 1.19):

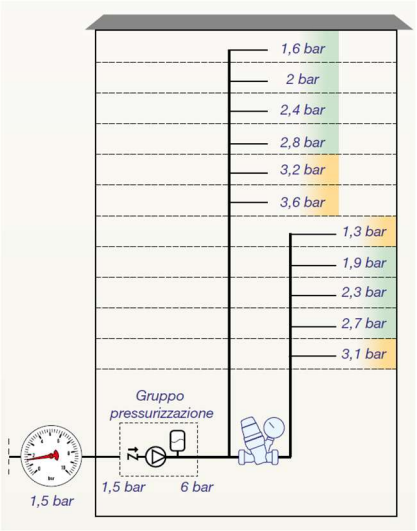

Figura 1.19 - terza configurazione di installazione di un gruppo di pressione [fonte: "Claudio Ardizzoia et al – CALEFFI S.P.A. La pressione di distribuzione nelle reti di acqua sanitaria – pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale. Centrostampa S.r.l. Novara, 2018."]

Per questo schema il gruppo di pressione si dimensiona considerando la portata di progetto dell'intero edificio e la pressione opportuna per alimentare la colonna più sfavorita;

4) Infine, è possibile utilizzare una sola colonna di adduzione e un unico gruppo di pressione per servire i diversi piani dell'edificio, installando, ad ogni piano, un riduttore di pressione. (Figura 1.20):

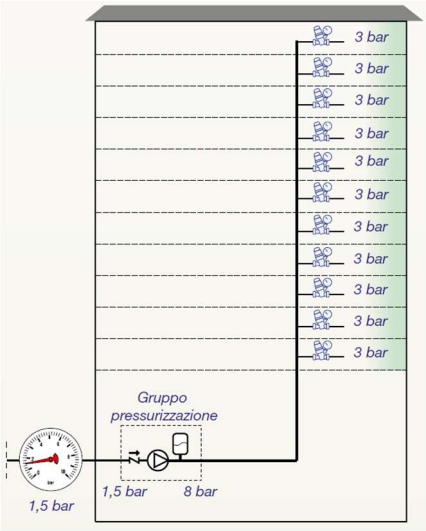

Figura 1.20 - quarta configurazione di installazione di un gruppo di pressione [fonte: "Claudio Ardizzoia et al – CALEFFI S.P.A. La pressione di distribuzione nelle reti di acqua sanitaria – pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale. Centrostampa S.r.l. Novara, 2018."]

Nei punti di prelievo più sfavorevoli degli edifici, bisogna assicurare una pressione minima di 15 ÷ 20 m c.a. per permette di erogare delle portate richieste dall'utente. Al contempo, bisogna evitare pressioni troppo elevate in quando avremmo problemi di rumori, possibilità di guasti degli apparecchi erogatori e un eccessivo consumo d'acqua in quanto risulta più difficile la regolazione dei rubinetti. Al fine di evitare i problemi appena descritti, è bene non avere pressioni maggiori di 50 m c.a. nei punti di prelievo più favorevoli.

1.1.8 Dimensionamento e scelta del gruppo di pressione

I parametri fondamentali che ci permettono di soddisfare le richieste delle utenze e, di conseguenza, selezionare il gruppo di pressione più opportuno sono: la portata massima richiesta dalle utenze e la pressione minima e massima per soddisfare le medesime richieste.

In particolare, la società metropolitana acque Torino S.p.A (SMAT) afferma nel documento "*il regolamento del servizio idrico integrato – 20 dicembre 2018*" che "*la pressione minima di fornitura della somministrazione idrica equivale a 0,5 Kg/cm², corrispondente ad un carico idraulico di 5 m, misurato al punto di consegna (la saracinesca di presa), relativo al solaio di copertura del piano abitabile più elevato dello stabile servito; la pressione massima è invece pari a 7 Kg/cm², corrispondente ad un carico idraulico di 70 m, riferito al punto di consegna, rapportato al piano stradale.*"

Per calcolare la pressione di erogazione è importante considerare lo schema di aspirazione del gruppo di pressione, il quale dipende dal tipo di alimentazione idrica a cui il gruppo è collegato e dalla posizione che occupa rispetto ad esso. Per una migliore comprensione si fa riferimento alla Figura 1.21, in cui sono presenti quattro differenti schemi:

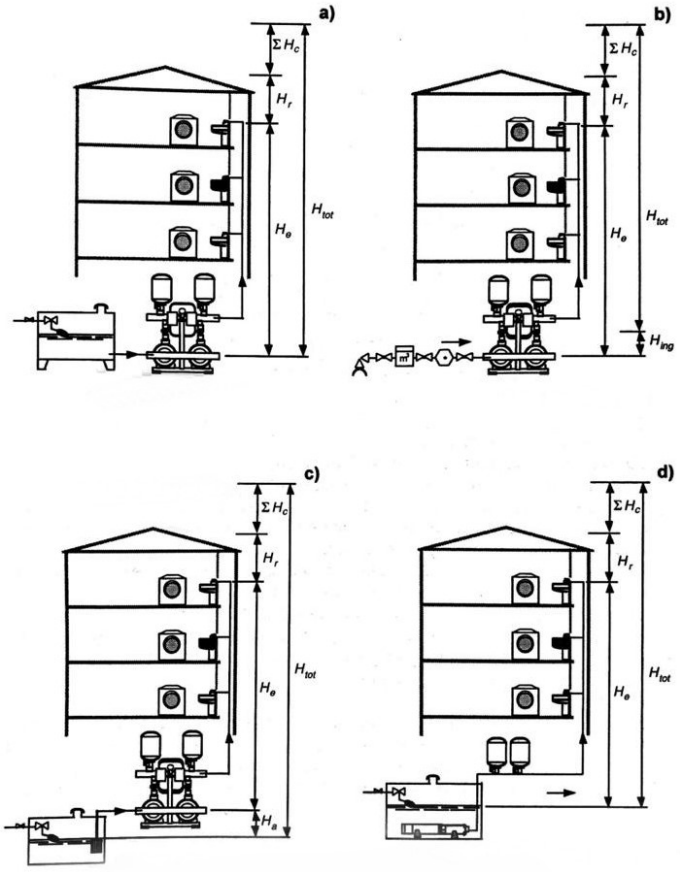

Figura 1.21 – prevalenza minima in funzione dell'aspirazione [fonte: "Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013."]

1) La vasca è posta alla stessa quota del gruppo di pressione (Figura 1.21a), quindi la prevalenza minima viene determinata utilizzando la seguente formula [1]:

$$H_{tot} = H_e + \sum H_c + H_r \qquad (1.1)$$

I termini presenti nella formula sono:

- H_e: è la differenza di quota tra il punto di prelievo più alto, o dell'edificio, al piano di posa del gruppo di pressione;
- $\sum H_c$: rappresenta le perdite di carico, cioè la pressione fornita dal gruppo di pressione all'acqua, che viene persa durante il percorso. Si hanno perdite di carico distribuite lungo le tubazioni e concentrate in corrispondenza degli organi (valvole, filtri, diramazioni) posizionati lungo le condotte;
- H_r: è la pressione minima che si deve garantire nel punto di prelievo più sfavorevole;

2) Il gruppo di pressione aspira l'acqua dall'acquedotto o da una vasca posta ad un'altezza superiore rispetto il gruppo (Figura 1.21b). In questo caso la prevalenza minima si determina con la seguente formula [1]:

$$H_{tot} = H_e + \sum H_c + H_r - H_{ing} \qquad (1.2)$$

Rispetto alla formula (1.2) si può notare la presenza del termine H_{ing} che rappresenta la pressione proveniente dall'acquedotto o la differenza di quota tra la vasca e il gruppo;

3) Il gruppo di pressione si trova ad una quota superiore rispetto alla vasca da cui aspira l'acqua, o da un pozzo (Figura 1.21c). La prevalenza minima si calcola come la somma di quattro diversi contributi [1]:

$$H_{tot} = H_e + \sum H_c + H_r + H_a \qquad (1.4)$$

con H_a si definisce la differenza di quota tra la vasca e il gruppo. Tale parametro è definito come *massima altezza di aspirazione*;

4) Il gruppo di pressione è costituito da pompe sommerse (Figura 1.21d). In questo caso, nella formula non è presente la massima altezza di aspirazione e la prevalenza minima viene calcolata con la seguente formula [1]:

$$H_{tot} = H_e + \sum H_c + H_r \qquad (1.5)$$

L'altezza H_e si determina riferendosi al pelo libero dell'acqua presente nella vasca o nel pozzo.

Calcolato il valore della prevalenza minima e noto il valore della portata massima richiesta dalle utenze, è possibile scegliere il gruppo di pressione da installare nell'impianto. Il punto di lavoro della pompa è preferibile che non sia prossimo alla prevalenza in chiusura o alla prevalenza minima a cui corrisponde, sul grafico portata-prevalenza, la portata massima. Quando la pompa lavora vicino al punto di massima portata, possono manifestarsi fenomeni di cavitazione che, oltre a provocare una diminuzione della portata e della prevalenza, causa dei problemi alla macchina idraulica.

1.1.9 Variazione della velocità nei gruppi di pressione

Tra i sistemi a velocità variabile, che non presentano componenti in moto, si distinguono i *convertitori di frequenza* (o *inverter*) che producono tensioni e frequenza variabili: il primo, mantiene continuo il flusso magnetico al traferro del motore, quindi anche la coppia, mentre il secondo varia il numero di giri del motore. Questi sistemi possono modificare la rotazione del motore in qualunque momento al contrario del *soft start* che è un dispositivo che fornisce il suo apporto solo quando la pompa si mette in moto o arresta il suo

funzionamento. La corrente alternata che arriva al convertitore viene trasformata in corrente continua e successivamente viene ritrasformata, all'uscita, in corrente alternata con tensione e frequenza variabile. Il motore non viene costantemente alimentato dal sistema ma da una serie di impulsi che hanno una tensione e frequenza variabile. La somma degli impulsi mandati al motore in un secondo viene definito *chopper*.

Oggigiorno, si fabbricano dei convertitori che possono essere applicati direttamente sul motore della pompa purché, quest'ultima, sia di piccole dimensioni. In funzione del numero dei convertitori installati e delle funzioni aggiuntive inserite nel quadro, si possono distinguere gruppi in cui:

- ogni pompa presente nel sistema è controllata dal convertitore;
- una singola pompa è controllata dal convertitore, quindi la sua velocità è variabile, mentre le altre mantengono la stessa velocità. In questo caso il circuito di inversione della sequenza di avvio può interessare solo le pompe che mantengono invariata la propria velocità, oppure può interessare anche le pompe controllate dal convertitore.

Quando il convertitore è accoppiato a un sensore, il sistema si può definire di regolazione in quanto deve conservare, uguale al valore prefissato, una grandezza fisica che può subire variazioni: il sensore misura il valore della velocità di rotazione che rappresenta la grandezza soggetta a variazioni. Successivamente il valore della velocità di rotazione viene paragonato al valore prefissato per verificare se è presente uno scostamento che dovrà essere eliminato.

Il convertitore deve essere collocato in una zona in cui sia assicurata la necessaria ventilazione per smaltire il calore generato durante il funzionamento.

1.2 Surpressori

Al contrario dei gruppi di pressione (paragrafo 1.1), il seguente sistema non è composto da serbatoi di accumulo di acqua ma da una o più pompe. Almeno una delle pompe lavora senza sosta per assicurare, costantemente, la pressione di progetto nella rete anche se non vi è consumo d'acqua. Nel momento in cui è richiesta una quantità d'acqua maggiore rispetto a quella che può fornire la singola pompa, il sistema, controllato dal pressostato e da programmatori automatici, attiva a cascata le altre pompe per soddisfare la richiesta idrica dell'utenza. Ovviamente, tenendo costantemente in pressione l'impianto, si ha un grande consumo di energia che, insieme ai costi di installazione, rappresenta lo svantaggio nell'utilizzo dei surpressori. Di conto, bisogna tenere in considerazione i vantaggi che si hanno nell'utilizzo dei suddetti impianti: pressione costante in ogni momento in cui viene erogata acqua, occupano uno spazio minore, facilità di montaggio e ridotti interventi di manutenzione.

Il sistema lavora senza problemi in condizioni di continua richiesta d'acqua, anche con elevate variazioni di portata, ma escludendo improvvisi salti.

Contrariamente a quanto visto per le autoclavi, la pressione massima di esercizio è minore e varia in un intervallo compreso tra 100 kPa e 200 kPa [3] in quanto il sistema lavora continuamente.

1.3 Serbatoi sopraelevati alimentati da pompe

Il sistema è composto da serbatoi d'accumulo d'acqua posto ad una determinata quota per garantire la pressione minima alla distribuzione. Generalmente vengono installati quando:

- bisogna alimentare elevate superfici di terreno con bassa concentrazione di utenza;
- la fornitura d'acqua riservata al consumo umano non è constante nel corso delle 24 h.

I serbatoi vengono dimensionati per contenere un volume d'acqua utile a soddisfare la richiesta delle utenze per circa 24 ore.

Le pompe installate nel sistema lavorano circa 10 ÷ 14 ore nel corso di una giornata e, mentre convogliano acqua nel serbatoio, fornisco anche acqua alla rete.

I serbatoi sottotetto hanno il vantaggio di fornire acqua alle utenze quando l'alimentazione è interrotta, per gravità, evitando l'installazione di una macchina idraulica che comporta dei costi durante il funzionamento. Tuttavia, oggi questo sistema è sempre meno utilizzato perché ha bisogno una manutenzione periodica e una notevole resistenza della soletta su cui poggia.

2 POMPE

Le pompe sono delle macchine idrauliche costituite da un motore che, producendo energia meccanica, permette il movimento delle pale presenti all'interno del corpo pompa. L'energia meccanica si trasforma in energia cinetica e viene somministrata al fluido quando entra in contato con la girante. Allontanandosi dalla girante, il fluido perde velocità ed inizia la trasformazione dell'energia cinetica in energia di pressione, che permette al fluido di raggiungere la sezione desiderata con la pressione e portata richiesta. Le pompe si costruiscono in funzione del lavoro per cui verranno impiegate e si distinguono in due categorie:

- *Pompe di superficie,* in commercio sono presenti sia ad asse verticale che orizzontale. Le prime, sono costituite da 1+n giranti, motivo per cui sono definite pluristadio, mentre le seconde possono essere costituite da una sola girante (monostadio) o da più giranti (pluristadio);
- *Pompe sommerse,* vengono impiegate quando si deve prelevare acqua da un pozzo e vengono costruite per essere immerse nell'acqua. La pompa è costituita da un asse verticale ed è composta da più giranti (pluristadio).

2.1 Categorie di pompe

I fluidi che richiedono l'ausilio delle pompe per il proprio moto sono molti e di diversa natura. Considerato quanto appena detto, e le differenti condizioni di esercizio, sono state costruite molte tipologie di pompe. È possibile raccogliere le diverse tipologie in due categorie:

- *Pompe centrifughe,* aumentano la velocità di moto del fluido trasferendo ad esso energia cinetica $\frac{V^2}{2g}$ che, a sua volta, si trasforma in energia di pressione quando il fluido rallenta il proprio moto;
- *Pompe volumetriche,* fanno parte di questa categoria le *pompe a pistone.* Il liquido entra nella pompa attraverso la condotta di aspirazione e riempie il corpo della pompa di una quantità di volume pari a quello del pistone. Successivamente, viene spinto verso la condotta di mandata quando il pistone inverte il proprio moto.

La tipologia di pompa da utilizzare in un impianto dipende dal campo di applicazione che può essere civile o industriale. Le pompe centrifughe sono maggiormente utilizzate quando si vuole trasferire l'acqua da: un serbatoio posto ad una quota minore ad uno a quota maggiore, una rete a un serbatoio posto a una quota maggiore, una rete a diversi punti di erogazione (rubinetti, ecc.) o per la circolazione dell'acqua all'interno di un circuito chiuso.

2.1.1 Pompe centrifughe

Le pompe centrifughe sono costituite da un corpo pompa al cui interno è presente una girante che ruotando trasferisce l'energia al fluido pompato. Mediante la condotta di aspirazione, il fluido entra nella pompa fino ad arrivare alla girante dove viene accelerato con direzione radiale, dalla zona centrale a quella esterna della girante, e successivamente rilasciato nel corpo della pompa. La trasformazione tra energia cinetica a energia di pressione inizia nel corpo pompa in quanto si ha un aumento graduale, nel verso del moto, della dimensione della sezione del corpo pompa. Infine, il liquido carico di energia esce dalla pompa attraverso la condotta di mandata. In alcune pompe, è presente un anello con palle fisse che contorna la girante ed ha il compito di, oltre a contribuire alla riduzione di velocità del fluido, modificare la direzione del fluido in uscita dalla girante, diminuendo il suo impatto con le pareti del corpo della pompa. In questo modo, si ha un miglioramento del rendimento della macchina. L'elemento appena descritto si chiama *diffusore* (figura 2.1).

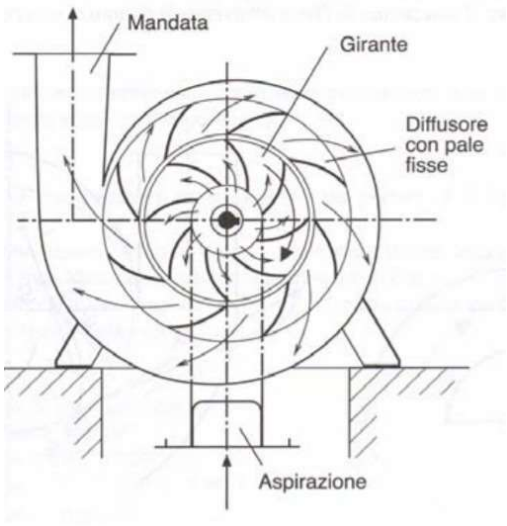

Figura 2.1 – sezione di una pompa centrifuga con diffusore [fonte: "Bianchi, Alberto, and Umberto Sanfilippo. Pompe E Impianti Di Sollevamento Manuale Di Progettazione E Realizzazione*. Milano: Hoepli, 2001."]*

Ovviamente, si trovano sul mercato differenti tipologie costruttive di pompe centrifughe, ma tutte hanno in comune lo stesso principio di funzionamento e le stesse caratteristiche fluidodinamiche.

Le pompe centrifughe, rispetto le altre categorie di pompe, presentano il vantaggio di avere dei costi contenuti sia per l'acquisto dell'impianto che per la bassa quantità di energia consumata durante il funzionamento.

Le pompe centrifughe si classificano a seconda della cinematica dei filetti del fluido nella girante della pompa. Ovviamente, la direzione del fluido è influenzata dalla geometria della girante. Per comprendere meglio l'origine di tale classificazione, è importante conoscere le 3 componenti di velocità che possiede il fluido all'interno della girante: una prima componente che ha una direzione parallela all'asse della girante ed è chiamata *assiale* (figura 2.2c), una seconda componente che è in direzione ortogonale all'asse della girante ed è chiamata *radiale* (figura 2.2a) ed una terza componente che risulta ortogonale alle prime 2 che è chiamata *tangenziale* (figura 2.2b).

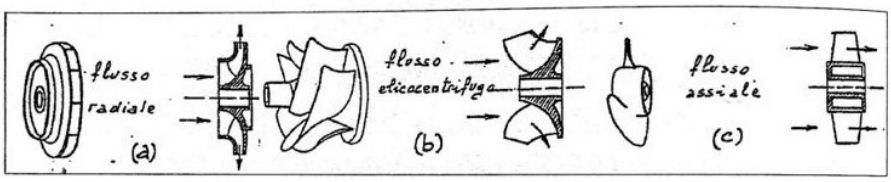

Figura 2.2 – componenti della velocità del fluido [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."]

Considerando quanto appena detto è possibile capire come le pompe si distinguono:

- *Radiale,* quando la componente assiale della velocità è praticamente nulla. Normalmente, queste tipologie di pompe possiedono prevalenze elevate e portate modeste;
- *Assiale,* quando la componente radiale della velocità è praticamente nulla. Normalmente, queste tipologie di pompe possiedono prevalenze basse e portate elevate;
- *Elicocentrifughe,* quando è presente sia la componente assiale che quella radiale della velocità. Normalmente, queste tipologie di pompe possiedono prevalenze medie e portate medie.

2.1.1.1 Pompe autoadescanti

Le *pompe autoadescanti* vengono utilizzate in aspirazione soprabattente, cioè quando sono installate ad una quota superiore rispetto al serbatoio da cui prelevano l'acqua. Affinché ciò si verifichi, si deve avere una depressione necessaria per sollevare il liquido e le suddette pompe si adescano da sole, creando una depressione anche in assenza di liquido al loro interno.

Negli impianti in cui vengono predisposte pompe centrifughe *non autoadescanti*, nella sezione terminale della condotta di aspirazione si installa una valvola di ritegno per impedire lo svuotamento della condotta che causerebbe il disinnescarsi della pompa. Invece, quando si utilizzano pompe centrifughe *autoadescanti*, non vengono predisposte le valvole di ritegno perché, come detto precedentemente, la condotta non deve essere piena di liquido.

Le pompe autoadescanti hanno il vantaggio di aspirare l'acqua ad un dislivello di 8 m dal serbatoio, al contrario delle altre pompe centrifughe che si limitano ad un'altezza di aspirazione di 5-6 m [32].

2.2 Grandezze fondamentali che caratterizzano le pompe

2.2.1 Prevalenza

La prevalenza *H* è una grandezza fisica che rappresenta l'energia totale che la pompa cede all'unità di peso del fluido. Nella maggior parte dei casi, l'unità di misura utilizzata è in [m] di colonna di liquido. Per comprendere meglio il significato di tale grandezza, si prende come riferimento la figura 2.3:

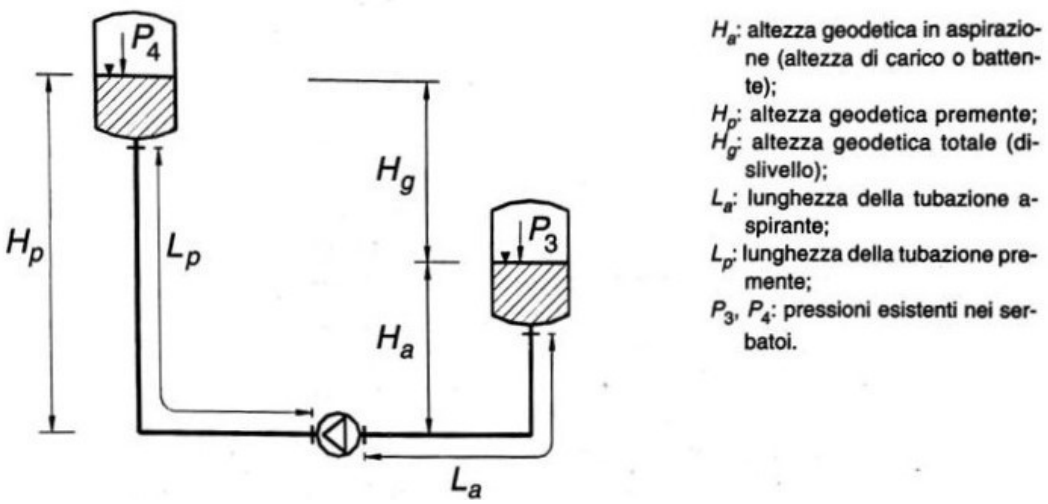

Figura 2.3 – schema per il calcolo prevalenza di una pompa sotto battente [fonte: "Salvini Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013"]

Attraverso la figura 2.3, è possibile scrivere la prevalenza *H* della pompa come la somma dei seguenti termini [1]:

$$H = H_g + \frac{P_4 - P_3}{\gamma} + Y \quad (2.1)$$

Dove:

- H_g: è la differenza del livello dell'acqua contenuto all'interno del serbatoio di aspirazione H_a e del serbatoio di mandata H_p. Tale parametro prende il nome di *altezza geodetica totale;*
- P_4 e P_3: sono rispettivamente le pressioni assolute nel serbatoio di mandata e di aspirazione. Se i due serbatoi non fossero in pressione, il valore delle due pressioni assolute sarebbe pari a 0;

- γ: è il peso specifico del liquido;
- Y: rappresenta la somma delle perdite di carico distribuite e concentrate. Le prime, si sviluppano lungo il percorso del fluido fino al punto richiesto, mentre, le seconde sono causate dalla presenza di ostacoli (curve, valvole, ecc.) lungo le tubazioni. Bisogna considerare all'interno delle perdite di carico il termine dell'altezza cinetica $\frac{V^2}{2g}$ che si dissipa una volta che il fluido raggiunge il serbatoio di mandata.

Oltre a quanto appena detto, è possibile calcolare l'aumento di energia che subisce il fluido tra la sezione 1 (sezione di ingresso nella pompa) e la sezione 2 (sezione di uscita dalla pompa). L'energia appena menzionata prende il nome di *Prevalenza manometrica* e viene ricavata grazie alla presenza di un manometro nella sezione di ingresso e uno in quella di uscita dalla pompa (figura 2.4).

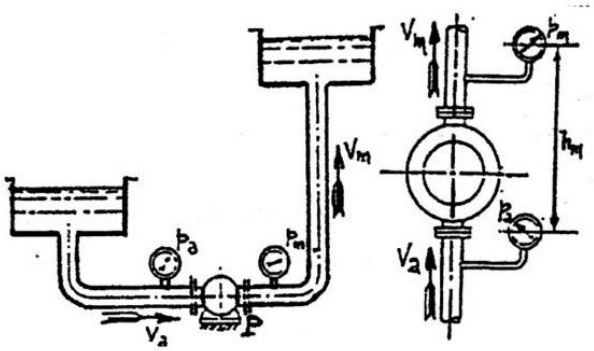

Figura 2.4 – schema per il calcolo della prevalenza manometrica [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."]

Essendovi una differenza di quota tra i punti di installazione dei due manometri (figura 2.4), è presente il termine h_m all'interno della formula della prevalenza manometrica [14]:

$$H_m = \frac{P_m - P_a}{\gamma} + h_m \quad (2.2)$$

Se si considera nulla la differenza di quota di installazione tra dei due manometri, il termine h_m è nullo.

Quando si richiede una prevalenza maggiore, a parità di portata, di quella che può fornire una pompa con singola girante (pompa monostadio), è possibile montare più giranti sullo stesso albero (pompa pluristadio) fino a raggiungere la prevalenza desiderata. La prevalenza totale della pompa si calcola sommando la prevalenza di ciascuna girante.

2.2.2 Portata

La portata di una pompa è la quantità di fluido erogato nell'unità di tempo dalla macchina. Nel sistema internazionale l'unità di misura della portata è [m^3/s]. Non tutto il fluido che entra nella pompa, per mezzo dalla condotta di aspirazione, giunge a quella di mandata, in quanto una parte di volume viene utilizzato come liquido di scarico dei dischi equilibratori, un'altra per abbassare la temperatura dei cuscinetti e delle bronzine dell'unità ed infine bisogna considerare le perdite di fluido dovuti agli spazi presenti tra la parte fissa e variabile della pompa.

Con *portata reale* si definisce la quantità di fluido effettivo prelevato dal serbatoio di aspirazione e che giunge fino a quello di mandata.

2.2.3 Potenza

La potenza W è definita come la quantità di energia che viene fornita nell'unità di tempo dalla pompa al fluido. L'unità di misura di questa grandezza nel sistema internazionale è il [Watt]. Non tutta l'energia disponibile viene trasferita al fluido, motivo per cui si considera un rendimento totale η_p nella formula della potenza assorbita W_a dalla pompa [31]:

$$W_a = \frac{\gamma \cdot H \cdot Q}{\eta_p} \quad (2.3)$$

Dove:

- H: è la prevalenza della pompa;
- Q: è la portata;
- γ: è il peso specifico del liquido;
- η_p: è il rendimento totale della pompa.

In figura 2.5 è rappresentata la curva caratteristica della potenza assorbita W_a in funzione della portata Q.

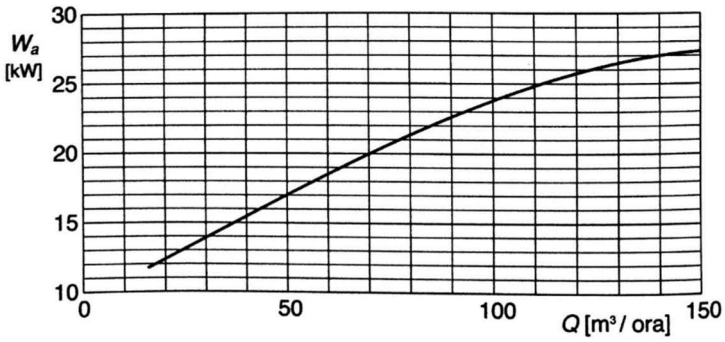

Figura 2.5 – potenza assorbita [fonte: "Bianchi, Alberto, and Umberto Sanfilippo. Pompe E Impianti Di Sollevamento Manuale Di Progettazione E Realizzazione. Milano: Hoepli, 2001. Print. Biblioteca Tecnica Hoepli."]

2.2.4 Rendimento

Il rendimento totale η_p di una pompa dipende dalle perdite di energia che si hanno nella macchina idraulica. Il suddetto parametro viene determinato attraverso il prodotto di tre rendimenti parziali [14]:

$$\eta_p = \eta_i \cdot \eta_v \cdot \eta_m \quad (2.4)$$

Dove:

- η_i: è il rendimento idraulico. Questo parametro è funzione delle perdite di energia di natura idrodinamica, per esempio: attrito del fluido con gli elementi meccanici interni costituenti la pompa e durante la conversione dell'energia cinetica in energia di pressione all'interno della macchina idraulica. Per pompe ben progettate e che svolgono la propria funzione correttamente, si possono osservare dei valori orientativi del rendimento idraulico di una pompa centrifuga (tabella 2.1).

Tabella 2.1 – valori orientativi rendimento idraulico di una pompa centrifuga [Fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."]

Pompa	η_i
senza diffusore	0,70 ÷ 0,85
con diffusore	0,80 ÷ 0,90
con doppia chiocciola	0,75 ÷ 0,90

– η_v: è il rendimento volumetrico. Rappresenta le perdite di liquido che si hanno all'interno della pompa dovute agli spazi tra la componente fissa e la girante, che causano il ritorno di una percentuale di liquido dall'uscita all'ingresso della girante. Si possono osservare dei valori orientativi del rendimento (tabella 2.2), che variano in base al tipo di girante che è presente nella pompa centrifuga.

Tabella 2.2 – valori orientativi rendimento volumetrico di una pompa centrifuga [Fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."]

Pompa	η_v
con semplice girante	0,88 ÷ 0,95
con girante a doppio ingresso	0,90 ÷ 0,95

– η_m: è il rendimento meccanico. Tale rendimento è in funzione della potenza che si perde a causa dell'attrito tra il corpo pompa e la girante durante la propria rotazione. Anche in questo caso, si possono osservare dei valori orientativi che dipendono dal tipo di girante presente nella pompa centrifuga (tabella 2.3).

Tabella 2.3 - valori orientativi rendimento meccanico di una pompa centrifuga [Fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."]

Pompa	η_m
con semplice girante	0,90 ÷ 0,95
con girante a doppio ingresso	0,90 ÷ 0,96

Il rendimento totale di una pompa, indicato in figura 2.6 con la lettera η, viene rappresentato in un diagramma cartesiano in funzione della portata.

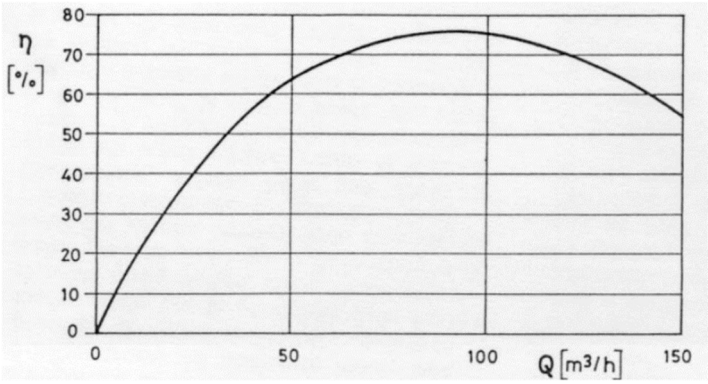

Figura 2.6 – curva rendimento [fonte: "https://www.irriworks.com/wiki/lib/exe/detail.php/irrigazione:curva_rendimento.png?id=irrigazione%3Acurva_caratteristica_di_una_pompa_centrifuga"]

Considerando i valori dei rendimenti parziali di una pompa centrifuga, è possibile affermare che il rendimento totale η_p di una pompa centrifuga ha un valore compreso nell'intervallo tra 0,50 ÷ 0,85 [14].

2.2.5 Numero di giri di una pompa

La grandezza fondamentale che definisce il funzionamento ti una pompa centrifuga (macchina idraulica) è il *numero di giri N* che la girante compie nell'unità di tempo. Nella maggior parte dei casi, la macchina idraulica è accoppiata direttamente al motore elettrico trifase e il numero di giri è in funzione dei seguenti parametri [14]:

$$N = \frac{60 \cdot f}{p_c} \quad (2.5)$$

Dove:

- f: frequenza della rete elettrica;
- p_c: coppie polari.

Nella fase di progettazione di una pompa, risulta fondamentale il numero di giri *N* scelto, in quanto influenza molti parametri: geometria della pompa, curva caratteristica portata-prevalenza della pompa, il rendimento massimo, il net positive suction head, i costi di impianto, i costi di esercizio e l'affidabilità.

Generalmente, all'aumentare del numero di giri *N* diminuiscono le dimensioni della macchina, in quanto, a parità di potenza da cedere al liquido, quella che ha un valore di *N* maggiore dovrà cedere una coppia minore al liquido, quindi il diametro dell'albero della pompa sarà minore.

Se si considerano due pompe che hanno le stesse prestazioni, cioè i medesimi valori di portata e prevalenza, si può dire che quella che possiede un maggiore numero di giri *N* della girante, avrà un diametro minore della girante e un valore del rendimento superiore.

Un aspetto negativo è legato al net positive suction head, perché all'aumentare del numero di giri *N* aumenta il valore richiesto del *NPSH*.

Anche la manutenzione della pompa è influenzata dal numero di giri, in quanto all'aumentare di quest'ultimo si ha una maggiore usura dei cuscinetti della pompa.

Oggigiorno, nella fase di progettazione della pompa i costruttori tendono ad aumentare quanto più possibile il numero di giri *N* della girante, cercando di contenere la rumorosità e le sollecitazioni dinamiche.

Attraverso i grafici in figura 2.7, si può osservare come si modifica la posizione delle curve caratteristiche di portata-prevalenza e di potenza al variare del numero di giri *N*.

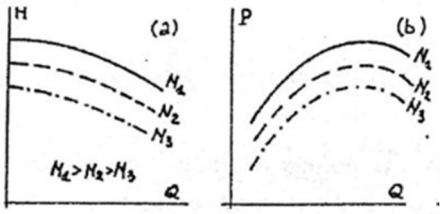

Figura 2.7 – curve caratteristiche della prevalenza e della potenza [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."]

Nello specifico, all'aumentare del numero di giri le curve traslano verso l'alto mantenendo quasi la stessa forma.

2.2.5.1 Numero di giri caratteristico

Il *numero di giri caratteristico* N_c è un parametro fondamentale che viene utilizzato nella fase di progettazione e non è in funzione delle dimensioni della macchina [14]:

$$N_c = N \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (2.6)$$

Dove:

- N: è il numero di giri [giri/min];
- Q: è la portata [m^3/s];
- H: è la prevalenza [m].

Tale parametro rappresenta macchine idrauliche della stessa famiglia ma di diverse dimensioni e indica la condizione di rendimento massimo. Nella fase di progetto si determina il numero di giri caratteristico attraverso i dati di progetto e, con il valore calcolato, si seleziona la famiglia di pompe più idonea per il caso in esame: normalmente, per bassi valori del numero di giri caratteristico si utilizzano pompe radiali e, all'aumentare del numero di giri caratteristico, si passa progressivamente a pompe miste fino ad arrivare alle pompe assiali.

2.3 Fenomeno di cavitazione

Quando si ha una riduzione del diametro di una condotta, per il principio di conservazione dell'energia descritto dal teorema di Bernoulli, in un liquido a moto permanente si ha un aumento della velocità del fluido a cui coincide una diminuzione di pressione. Praticamente, affinché sia soddisfatto tale teorema, il termine cinetico aumenta a discapito della quota piezometrica nel tratto di condotta in cui il diametro è minore. Lo stesso principio avviene quando un liquido transita in una pompa centrifuga, in quanto le sezioni della macchina idraulica sono molto inferiori rispetto alle sezioni delle condotte di aspirazione e di mandata, quindi, in prossimità di questi punti, la pressione del liquido si riduce drasticamente (figura 2.8).

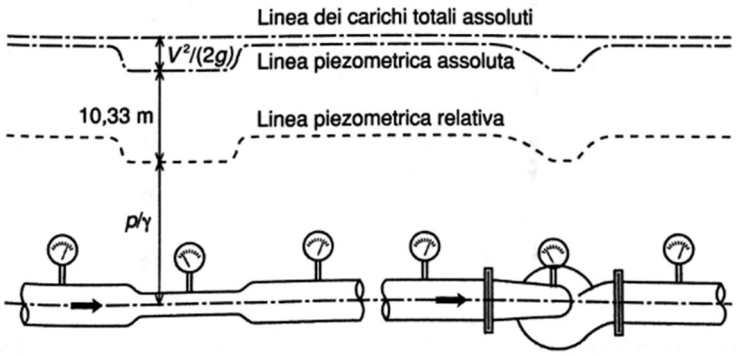

Figura 2.8 – variazione di pressione del liquido in una condotta [fonte: "Bianchi, Alberto, and Umberto Sanfilippo. Pompe E Impianti Di Sollevamento Manuale Di Progettazione E Realizzazione. Milano: Hoepli, 2001. Print. Biblioteca Tecnica Hoepli."]

Quando la pressione del liquido eguaglia il valore della propria tensione di vapore, ha origine il fenomeno di *cavitazione* per cui il liquido si trasforma in vapore. Le bolle di vapore, trasportate dall'acqua, passano attraverso la girante e raggiungono il corpo pompa dove si ha un aumento di pressione con conseguente riconversione del vapore in liquido. Questa trasformazione prende il nome di *implosione,* avviene molto velocemente ed è seguito da uno scoppiettio. L'intensità con cui avviene l'implosione può provocare gravi danni alla pompa, specialmente alla girante (figura 2.10). La cavitazione influenza anche le prestazioni della pompa, in quanto all'aumentare della quantità di bolle presenti nel flusso, diminuisce la quantità di parte liquida presente in esso. Di conseguenza, si ha una riduzione delle prestazioni della pompa, manifestato dall'avvicinamento all'origine della curva caratteristica portata-prevalenza all'aumentare del fenomeno di cavitazione, come mostrato in figura 2.9.

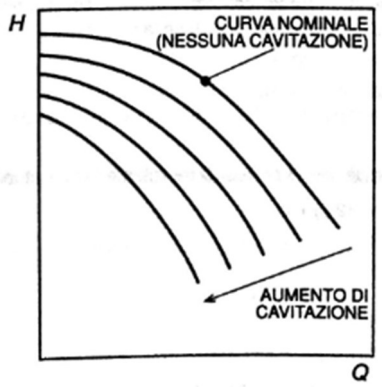

Figura 2.9 – variazione curva caratteristica portata prevalenza in funzione della cavitazione [fonte: "Bianchi, Alberto, and Umberto Sanfilippo. Pompe E Impianti Di Sollevamento Manuale Di Progettazione E Realizzazione. Milano: Hoepli, 2001. Print. Biblioteca Tecnica Hoepli."]

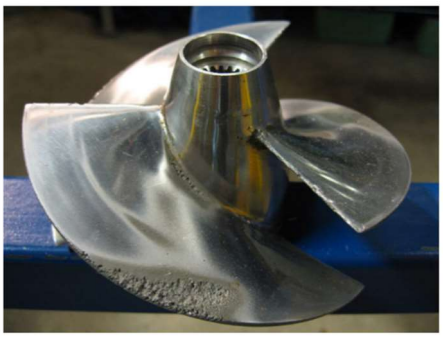

Figura 2.10 – danni alla girante dovuti alla cavitazione [fonte: "https://www.asvstubbe.it/blog/fenomeno-della-cavitazione-nelle-pompe/"]

2.3.1 Net Positive Suction Head (NPSH)

Normalmente il costruttore, per ciascuna pompa, realizza la curva del *net Positive Suction Head* (carico assoluto netto all'aspirazione) *richiesto* dalla pompa, $NPSH_r$, che fornisce indicazioni sulla soglia che non bisogna superare per evitare che nella pompa insorga il fenomeno della cavitazione. La curva *NPSH* viene tracciata in un digramma cartesiano ed è in funzione della portata (figura 2.11). I punti vengono tracciati sperimentalmente, diminuendo gradualmente il livello d'acqua all'interno del serbatoio da cui la pompa attinge fino a raggiunge il valore per cui si innesca il fenomeno di cavitazione.

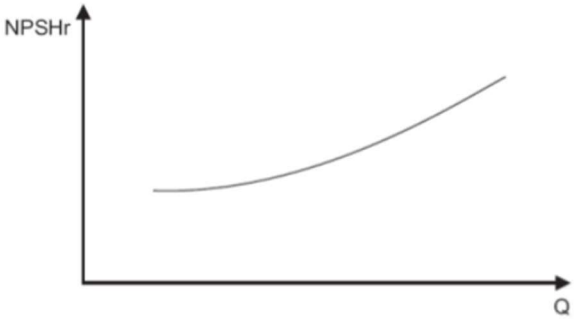

Figura 2.11 – curva $NPSH_r$ [fonte: "https://www.slideshare.net/LuizAndr7/aula-bombas"]

Osservando la figura 2.12, si può ricavare la formula per determinare il *Net Positive Suction Head disponibile* ($NPSH_{disp}$) alla pompa.

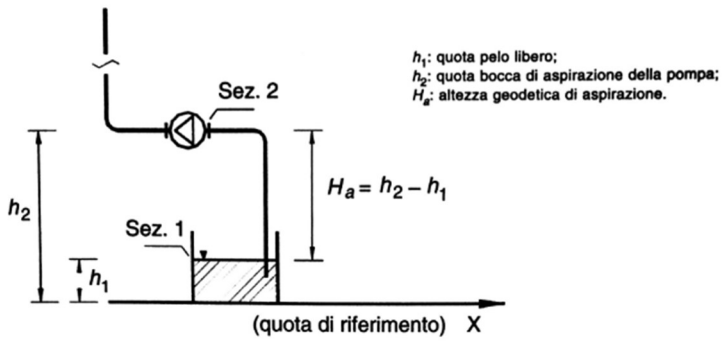

Figura 2.12 – altezza di aspirazione [fonte: "Salvini Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013"]

Applico il teorema di Bernoulli tra la sezione 1 e 2 (figura 2.12). Avendo un fluido reale, cioè con dissipazioni viscose, bisogna considerare le perdite di carico che si hanno nell'impianto [1]:

$$h_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - R = h_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \qquad (2.7)$$

Dove:

- P_1, P_2: sono rispettivamente le pressioni sulla superficie libera del liquido contenuto nel serbatoio e la pressione in corrispondenza della sezione 2;
- v_1, v_2: sono rispettivamente la velocità del liquido sulla superficie del serbatoio e nella sezione 2;
- h_1, h_2: sono rispettivamente le altezze della sezione 1 e 2 rispetto alla quota di riferimento;
- R: rappresenta le perdite di carico;
- γ: è il peso specifico del liquido.

Essendo la pressione P_1=P_{atm}, si ragiona in termini di pressione assolute così da avere la pressione P_{atm}≠0. Inoltre, la velocità v_1 è nulla, in quanto l'acqua è ferma all'interno del serbatoio. La formula (2.7) viene scritta come [1]:

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_{atm}}{\gamma} - (h_2 - h_1) - R - \frac{v_2^2}{2g} \qquad (2.8)$$

La pressione P_2 non deve essere inferiore alla tensione di vapore P_{vap} del liquido alla temperatura di esercizio nella sezione 2, cioè $\frac{P_2}{\gamma} > \frac{P_{vap}}{\gamma}$; il suddetto rapporto non è altro che il $NPSH_{disp}$ [1]:

$$NPSH_{disp} = \frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_{atm}}{\gamma} - (h_2 - h_1) - R - \frac{v_2^2}{2g} \qquad (2.9)$$

Il termine $\frac{P_{atm}}{\gamma}$ nel caso di acqua è circa pari a 10,33. Dalla formula si può osservare come il $NPSH_{disp}$ diminuisce all'aumentare dell'altezza della pompa rispetto alla superficie libera dell'acqua e all'aumentare delle perdite. In questo caso incidono maggiormente le perdite concentrate rispetto a quelle distribuite, in quanto la pompa non viene posizionata lontano dal serbatoio. Conoscendo la portata a cui la pompa lavora, bisogna ricavare il valore del $NPSH_r$, utilizzando il grafico in figura 2.12, e confrontarlo con il valore del $NPSH_{disp}$. Per non avere problemi di cavitazione, deve risultare che:

$$NPSH_{disp} > NPSH_r \qquad (2.10)$$

2.4 Curva caratteristica di un sistema

La *curva caratteristica di un sistema*, denominata anche *curva caratteristica esterna,* ha un andamento parabolico, con pendenze positive, e ha origine sull'asse verticale delle prevalenze, in corrispondenza della prevalenza geodetica H_g. In funzione della portata Q presente nel sistema si può ricavare la quantità di energia per unità di peso (carico totale H del sistema) che bisogna fornire alla medesima portata per spostarsi da una posizione iniziale a una finale dell'impianto (figura 2.13).

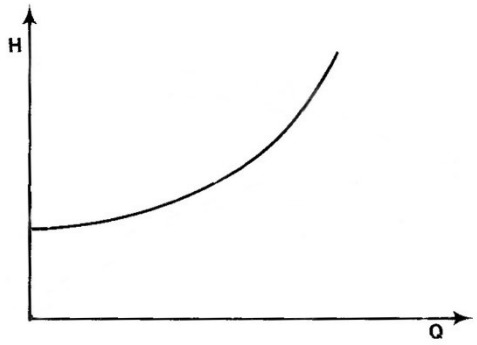

Figura 2.13 – curva caratteristica di un sistema [fonte: "http://www.termoinrete.com/vscriptpompe.htm"]

Normalmente, la curva caratteristica del sistema viene determinata considerando le perdite di energia che subisce un liquido all'interno di una condotta in pressione durante il moto. Queste perdite si distinguono in due grandi categorie: *perdite distribuite* e *perdite concentrate.*

Le perdite distribuite Δh_d sono causate dagli attriti che incrocia un liquido durante il moto in una condotta rettilinea di diametro costante. Tale perdita è funzione del quadrato della portata Q, solo nel caso di moto totalmente turbolento che d'altra parte è quello che si riscontra nella maggior parte degli impianti di sopraelevazione dell'acqua, e di un coefficiente K_d [14]:

$$\Delta h_d = K_d \cdot Q^2 \rightarrow K_d = \frac{8 \cdot f \cdot L}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5} \quad (2.11)$$

Dove:

- f: coefficiente di attrito ed è adimensionale;
- L: lunghezza della condotta [m];
- g: accelerazione di gravità [m/s^2];
- D: diametro della condotta [m].

Il coefficiente di attrito può essere determinato attraverso formulazioni empiriche, oppure utilizzando in diagramma di Moody (figura 2.14).

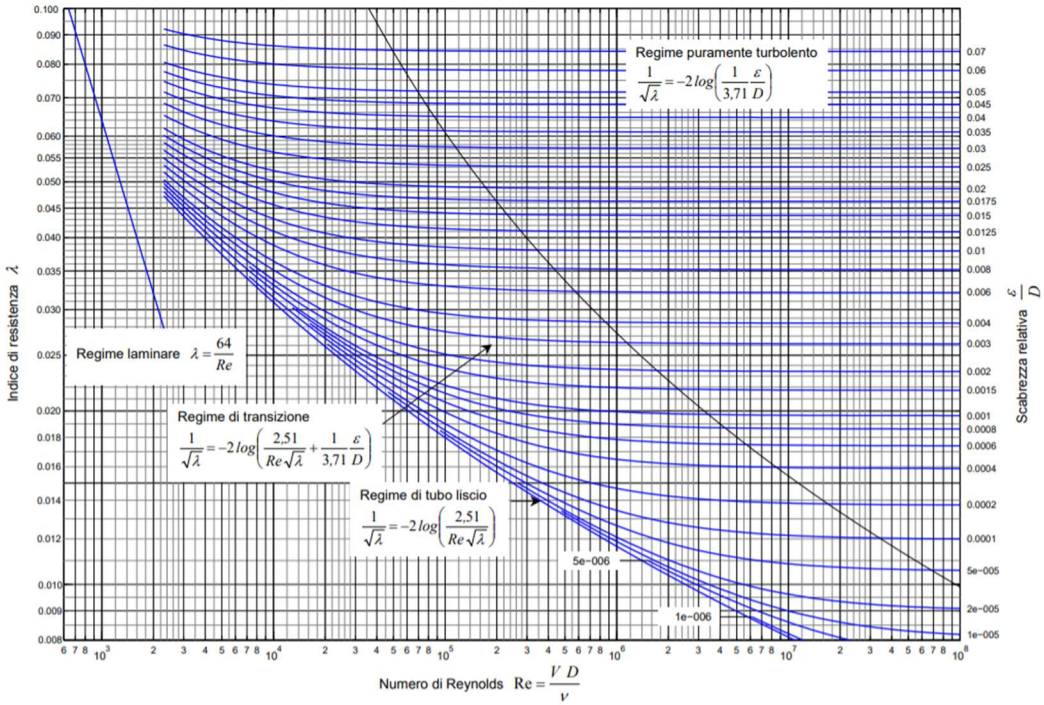

Figura 2.14 – diagramma di Moody [fonte: "http://www-9.unipv.it/webidra/materialeDidattico/gallati/abacoMoody.pdf"]

Conoscendo il valore del numero di Reynolds R_e e la scabrezza relativa ε/D, è possibile leggere in ordinata, dal diagramma in figura 2.14, il valore del coefficiente di attrito. La scabrezza assoluta ε dipende principalmente dal tipo di materiale da cui la condotta è costituita, dal processo con cui è stata realizzata e dalla condizione della parete interna.

Per quanto riguarda le perdite concentrate Δh_c, sono provocate dalla dissipazione di energia che il liquido subisce quando incontra singolarità: elemento di imbocco o di sbocco da un serbatoio, elementi curvi che modificano la direzione del flusso, elementi di raccordo tra due tubazioni di diametro differente che provocano un cambio di velocità o dispositivi speciali (valvole, giunti, riduttori, ecc.).

Anche la formula per calcolare le perdite concentrate Δh_c può essere scritta in funzione della portata [14]:

$$\Delta h_c = K_c \cdot Q^2 \rightarrow K_c = \frac{8 \cdot \xi}{g \cdot \pi^2 \cdot D^4} \qquad (2.12)$$

Il coefficiente adimensionale ξ è un valore che dipende dalla singolarità presente nell'impianto, infatti il valore del coefficiente viene determinato sperimentalmente in laboratorio montando la singolarità da analizzare in un circuito chiuso. Quindi, per ogni tipo di dispositivo, si può trovare tabellato il valore del coefficiente ξ. Bisogna far attenzione quando le diverse singolarità sono poste a distanza ravvicinata tra di loro. In questo caso il valore del coefficiente ξ da considerare non corrisponde alla somma dei singoli coefficienti, ma esiste un valore sperimentale per ogni caso specifico.

Sommando le perdite distribuite e concentrate, è possibile ricavare le perdite complessive che verranno successivamente impiegante per tracciare la curva caratteristica di un impianto [14]:

$$\Delta h_t = \Delta h_d + \sum \Delta h_c = (K_d + \sum K_{ci}) \cdot Q^2 \qquad (2.13)$$

La formula 2.13 può essere anche scritta come segue [14]:

$$\Delta h_t = K \cdot Q^2 \qquad (2.14) \qquad \text{con } K = (K_d + \sum K_{ci})$$

Quando si ha un sistema di sopraelevazione dell'acqua, oltre a considerare le perdite di carico, bisogna tenere conto del *termine geometrico (o prevalenza geodetica)* H_g dovuto al dislivello tra la vasca di aspirazione e di mandata e la possibile *differenza di pressione* ΔP tra le due vasche.

In figura 2.15, sono rappresentati 3 differenti schemi di una pompa che trasferisce il fluido tra due serbatoi.

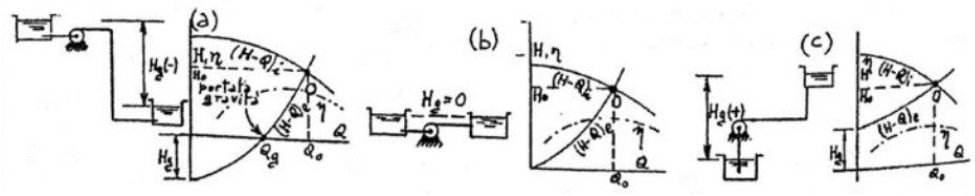

Figura 2.15 – diagramma variazione curva caratteristica esterna in funzione dell'altezza geodetica H_g [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."]

I suddetti schemi evidenziano come funziona il sistema in base al valore della *prevalenza geodetica* H_g, cioè della posizione dei due serbatoi:

- nel primo schema (figura 2.15a), il serbatoio di aspirazione si trova ad una quota superiore rispetto a quello di mandata, quindi la prevalenza geodetica H_g ha un valore negativo. In questo caso la portata Q_g defluisce per gravità, essendoci l'uguaglianza delle perdite distribuite e concentrate con il dislivello H_g. Se si volesse trasferire una portata superiore a Q_g, bisognerebbe azionare la pompa per sconfiggere le ulteriori perdite che si avrebbero per l'aumento di portata;
- nel secondo schema (figura 2.15b), i serbatoi sono posizionati alla stessa quota, ovvero la prevalenza geodetica H_g ha valore nullo. La pompa deve vincere le sole perdite di carico distribuite e concentrate che si sviluppano nelle condotte che collegano i due serbatoi;
- nel terzo schema (figura 2.15c), il serbatoio di aspirazione si trova a quota inferiore rispetto quello di mandata e la pompa deve fornire sufficiente energia per vincere sia il dislivello geodetico H_g che le perdite di carico che si hanno lungo le condotte.

A questo punto, sommando la prevalenza geodetica H_g con la differenza di pressione ΔP si ottiene la *prevalenza statica totale* H_{gs} [14]:

$$H_{gs} = H_g + \Delta P = H_g + \frac{P_m - P_a}{\gamma} \qquad (2.15)$$

Osservando la formula 2.15, si può osservare come la prevalenza statica totale non dipende dal volume d'acqua che defluisce nell'impianto, ma solo dalle caratteristiche dell'impianto. Fisicamente rappresenta la quantità di energia per unità di peso minima essenziale all'impianto per permettere il movimento dell'acqua ed è rappresentata dalla linea tratteggiata orizzontale nel diagramma portata-prevalenza (figura 2.16).

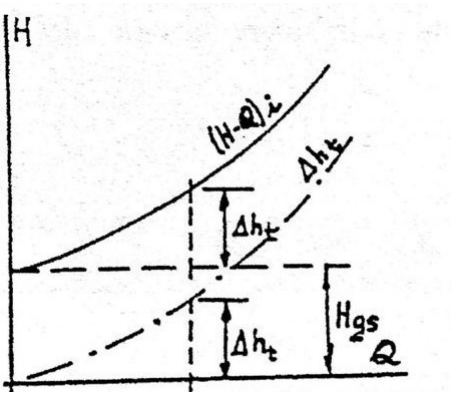

Figura 2.16 – curva caratteristica esterna [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."]

Le pressioni P_m e P_a sono, rispettivamente, la pressione del serbatoio di mandata e di aspirazione. Quando le due vasche non sono in pressione, ragionando in termini di pressione relativa, le pressioni P_m e P_a sono uguali alla pressione atmosferica, cioè sono uguali a zero. In questo caso, la prevalenza statica totale corrisponde con il termine geometrico [14]:

$$H_{gs} = H_g \qquad (2.16)$$

La *curva caratteristica complessiva di un impianto* è la parabola presente in figura 2.16 e si ricava sommando l'equazione (2.14) e (2.16), cioè avendo assunto la vasca a pressione atmosferica [14]:

$$H = H_g + K \cdot Q^2 \qquad (2.17)$$

È importante tracciare con cura la curva caratteristica dell'impianto in modo da dimensionare correttamente il sistema di sollevamento dell'acqua anche sul piano economico.

2.5 Curva caratteristica di una pompa

Le curve caratteristiche di una pompa, denominate anche *curve caratteristiche interne,* mostrano graficamente le correlazioni esistenti tra le grandezze fondamentali della pompa: prevalenza *H*, portata *Q*, rendimento *η*, potenza *W*, numero di giri *N*, energia di aspirazione *NPSH*, ecc. Le suddette curve aiutano il progettista a scegliere la pompa più adatta per l'impianto che si sta progettando e a valutare i costi dell'impianto e di esercizio, i consumi di energia e la condizione di lavoro della macchina idraulica.

Ogni pompa ha una propria curva caratteristica che, come descritto nel paragrafo 2.2.5, cambia in funzione del numero di giri *N* della girante, quindi, noto il seguente valore, è possibile determinare le grandezze fondamentali (prevalenza, potenza, rendimento, net positive suction head) della macchina idraulica, in funzione di un determinato valore di portata (figura 2.17).

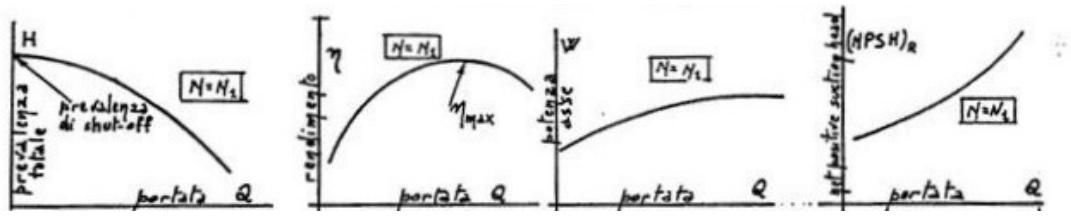

Figura 2.17 – curve caratteristiche di prevalenza, rendimento, potenza e NPSH [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."]

2.5.1 Curva caratteristica portata-prevalenza

La curva caratteristica portata-prevalenza è la più importante dal punto di vista applicativo perché restituisce, in funzione al valore della portata sollevata dalla macchina idraulica, il valore della prevalenza. Come si può osservare in figura 2.18, ha un andamento convesso con pendenze negative e all'aumentare della portata *Q* diminuisce la prevalenza *H*. Le curve si modificando in base al numero di giri N_c della pompa, alla forma geometrica della girante e al numero di pale della girante. Generalmente, all'aumentare del numero di giri N_c, la curva caratteristica diventa sempre più ripida (figura 2.18b). In base al lavoro che la pompa dovrà svolgere si sceglie una curva portata-prevalenza ripida, in quanto si possono avere degli impianti in cui vengono installate pompe con curve caratteristiche ripide perché devono lavorare con portate all'incirca costanti a cui corrispondono notevoli variazioni di prevalenza, mentre, in altri impianti, si preferiscono pompe con curva portata-prevalenza piatta (figura 2.18a) perché si vuole mantenere una prevalenza pressoché costante per un ampio intervallo di valori della portata.

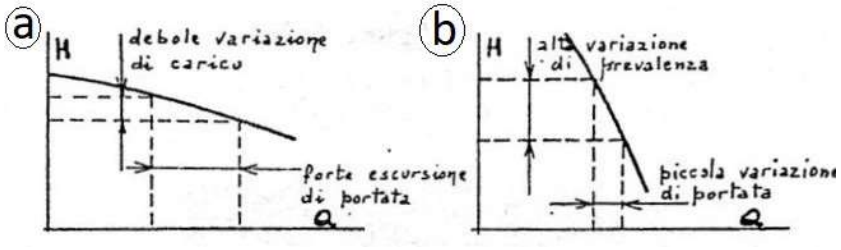

Figura 2.18 – curva caratteristica prevalenza ripida e piatta [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."]

Le numerose tipologie di pompe centrifughe hanno differenti andamenti della curva caratteristica, per esempio: le pompe elicocentrifughe e ad elica presentano una curva molto ripida, mentre le pompe radiali possono avere sia curve ripide che piatte.

Come già accennato, anche la forma e il numero di pale della girante influenzano la curva caratteristica portata-prevalenza. Infatti, si può osservare in figura 2.19, i diversi andamenti della curva caratteristica in base al tipo di girante presente nella pompa:

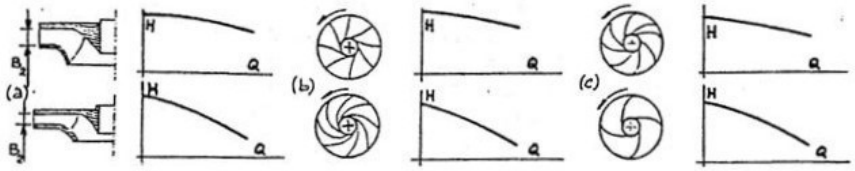

Figura 2.19 – variazione andamenti curve caratteristiche portata-prevalenza [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."]

- caso *a*: si osserva come all'aumentare dello spessore B_2 della girante, corrisponda una curva caratteristica più piatta e può sollevare una quantità maggiore di fluido *Q* rispetto ad una pompa costituita da una girante con spessore inferiore;
- caso *b*: si osserva che una pompa con girante a pale radiali ha una curva caratteristica più piatta rispetto ad una con girante con pale ad andamento elicoidale;
- caso *c*: si osserva che una girante con un numero di pale maggiori rispetto possiede una curva caratteristica più piatta a differenza di una con numero di pale inferiore. È importante sapere che superato un determinato numero di pale (8-10), si hanno delle perdite di carico maggiori all'interno dei condotti della girante che provocano una diminuzione della prevalenza fornita dalla pompa.

Le curve caratteristiche portata-prevalenza vengono classificate in curve stabili o instabili a seconda dell'andamento della curva. Osservando la figura 2.20, è possibile capire la differenza tra i due tipi di curva:

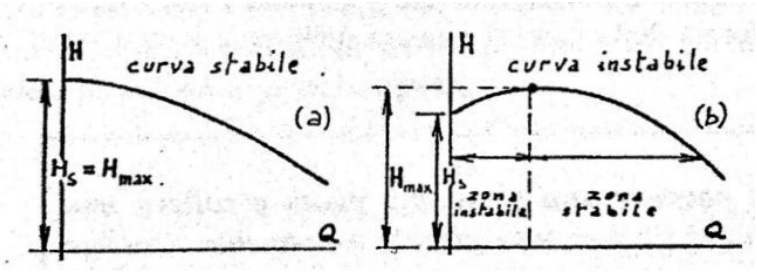

Figura 2.20 – curva portata-prevalenza stabile e instabile [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."]

Si definisce *curva stabile,* quando l'andamento della curva della pompa decresce all'aumentare della portata sollevata (figura 2.20a). In questo caso si ha una corrispondenza biunivoca, cioè ad ogni valore di prevalenza coincide un solo valore di portata e ad un valore nullo di portata corrisponde il cosiddetto *carico di "shutoff"* H_s, ovvero la prevalenza, che in questo caso è pari al massimo valore. Quando la curva caratteristica della pompa alterna andamenti crescenti e decrescenti (figura 2.20b), viene definita *curva instabile*. In questa circostanza, ad ogni valore di prevalenza corrispondono due valori di portata e il carico di "shutoff" non corrisponde alla prevalenza massima.

È particolarmente importante fare questa distinzione quando, durante la progettazione di un impianto di sollevamento, si sta studiando la fase di esercizio. Infatti, durante questa fase si può verificare un qualunque disturbo perché possono insorgere oscillazioni e transitori. La definizione di stabile o instabile non deve essere attribuita solamente alla curva della pompa, ma all'insieme pompa-impianto. Per una migliore spiegazione del complesso pompa-impianto, si considera i disegni riportati in figura 2.21.

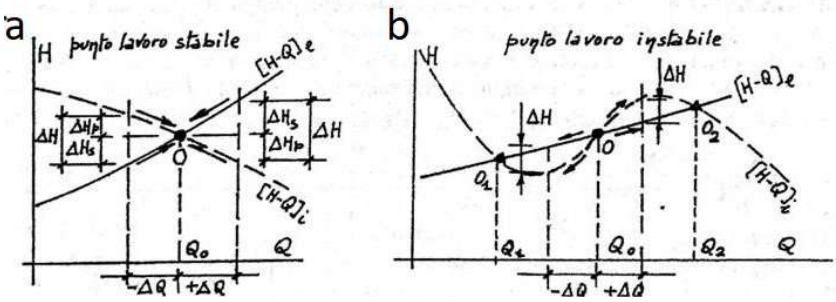

Figura 2.21 – diagramma punto di lavoro stabile e instabile [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."]

Nel diagramma in figura 2.21a è rappresentata la curva caratteristica di un impianto in cui è installata una pompa con curva caratteristica stabile. Nel grafico si nota come in corrispondenza del punto di lavoro *O*, la portata a regime è pari a Q_0. Quando si verifica un disturbo nell'impianto, per esempio un temporaneo incremento di portata ($+\Delta Q$), la prevalenza non sarà più quella in corrispondenza del punto di lavoro *O*, ma ci sarà un aumento della prevalenza del sistema ΔH_s e una riduzione della prevalenza della pompa ΔH_p. Nel complesso si ha una differenza di carico $\Delta H=\Delta H_s+\Delta H_p$ che impedisce un incremento di portata. Di conseguenza, quando terminerà il disturbo, il punto di lavoro del sistema ritornerà in corrispondenza della portata Q_0. La stessa cosa si verifica quando si ha una riduzione di portata ($-\Delta Q$). Se si considera il diagramma in figura 2.21b, si ha una pompa con curva instabile installata in un impianto che ha il punto di lavoro *O* in corrispondenza della portata Q_0. In questo caso, si osserva che a un incremento di portata ($+\Delta Q$) corrisponde un aumento sia della prevalenza del sistema ΔH_s che della pompa ΔH_p. In corrispondenza dell'incremento $+\Delta Q$, si osserva una differenza di carico ΔH tra le due curve perchè la prevalenza della pompa è maggiore di

quella del sistema, quindi ci potrà essere un aumento di portata con conseguente spostamento al punto di lavoro O_2. Anche nel caso di una diminuzione di portata $-\Delta Q$, il punto di lavoro non ritornerà più in O, ma sarà in corrispondenza di O_1. Sulla base di quanto detto nell'esempio appena descritto, è possibile definire che il punto di equilibrio del sistema è instabile.

Ovviamente se utilizzate con cura, è possibile impiegare delle pompe che possiedono delle curve instabili, in quanto, la porzione di curva che si trova a destra del valore massimo della prevalenza, possiedono ottimi rendimenti e buone prestazioni.

2.5.2 Curve caratteristiche di potenza

Le curve di potenza indicano l'andamento della potenza assorbita W_a (indicata con la lettera P in figura 2.22) dalla pompa in funzione della portata Q.

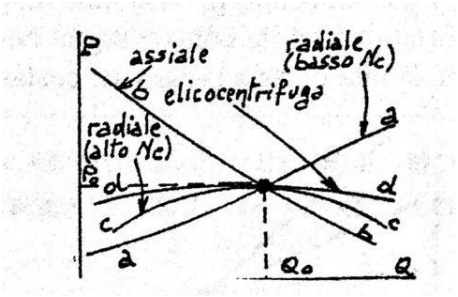

Figura 2.22 – curva di potenza [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."]

Le curve si differenziano in due famiglie di curve: *curve con sovraccarico* e *curve senza sovraccarico.* Le curve con sovraccarico sono le curve indicate con le lettere *a* e *b* (figura 2.22) sono, rispettivamente, la curva di una pompa radiale con basso valore di N_c, in cui la potenza P aumenta all'aumentare della portata Q, e la curva di una pompa assiale con alti valori di N_c per cui si ha una diminuzione della potenza all'aumentare della portata. Come si osserva dal grafico (figura 2.22), le curve con sovraccarico presentano la potenza massima assorbita per valori di portata maggiori o minori rispetto la portata nominale Q_0.

Le curve senza sovraccarico hanno un andamento quasi orizzontale e sono quelle indicate con le lettere *c* e *d* (figura 2.22). Queste sono le tipiche curve delle pompe elicocentrifughe o radiali con alti valori di N_c. In questo caso, i valori di potenza massima si hanno per valori di portata prossimi a Q_0.

Considerato quanto appena detto, si può affermare che è più conveniente utilizzare le curve *c* e *d* rispetto le curve *a* e *b*, in quanto, per quest'ultime due curve, il motore dovrà essere sovradimensionato, considerando il campo di esercizio delle portate, per lavorare alla potenza massima.

2.6 Punto di lavoro

Il *punto di lavoro*, denominato anche *punto di funzionamento*, di un sistema viene individuato per via grafica ed è rappresentato nel piano delle curve caratteristiche portata-prevalenza. Il punto di funzionamento si ottiene dall'intersezione tra la curva caratteristica interna ed esterna e rappresenta il punto in cui si ha l'uguaglianza tra la potenza erogata dalla pompa e quella assorbita dal sistema. Nella fase di progettazione bisogna assicurarsi che il valore della portata Q corrispondente al punto di lavoro sia prossimo, nella curva caratteristica del rendimento in figura 2.23, al valore massimo del rendimento η_{max} così che la macchina idraulica lavori in condizioni ottimali. Affinché si verifichi quanto appena detto, è essenziale uno studio approfondito del sistema in cui sarà installata la pompa perchè influenza l'andamento della curva caratteristica esterna e di conseguenza la posizione in cui si troverà il punto di lavoro nel diagramma portata-prevalenza, quindi è opportuno conoscere: la portata richiesta dal sistema, la prevalenza da soddisfare, il net positive suction head a disposizione del sistema, il tipo di fluido, i transitori che si possono verificare e le

perdite di carico presenti nell'impianto. Una erronea o una mancata analisi del sistema porterebbe la pompa a lavorare in condizioni prestazionali non soddisfacenti, a una maggior logoramento, ad elevati consumi energetici, a bassi rendimenti e a interventi straordinari di manutenzione.

Attraverso il sistema in figura 2.23, si può osservare come cambia la posizione del punto di lavoro nella fase di esercizio dell'impianto.

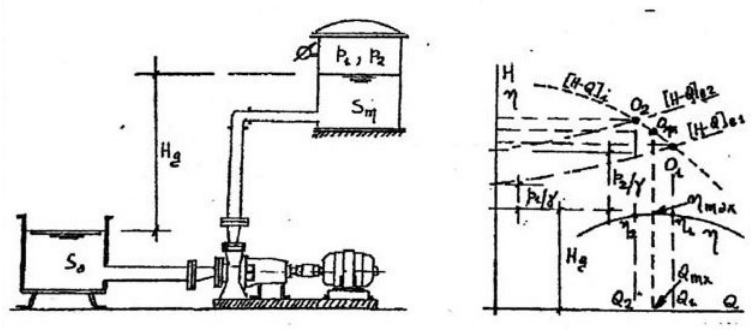

Figura 2.23 – esempio determinazione del punto di lavoro [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."]

La pompa installata nel sistema permette il flusso d'acqua dal serbatoio di aspirazione a pelo libero S_a al serbatoio di mandata in pressione S_m. È presente una differenza di quota data dalla prevalenza geodetica H_g, alla quale va sommato il termine piezometrico $\frac{P}{\gamma}$ dovuto al serbatoio in pressione; tale somma rappresenta il punto da cui si traccia la curva caratteristica esterna. Man mano che si riempie il serbatoio di mandata, la pressione P_1 aumenta e raggiunge un valore di pressione pari a P_2. Questo comporta una curva caratteristica esterna che ha origine per un valore maggiore della prevalenza ($H_g+\frac{P_2}{\gamma}$), quindi il punto di lavoro si sposta da O_1 a O_2. In questa situazione la pompa installata nel sistema deve avere un valore del rendimento massimo coincidente con un valore O_{mx}, intermedio tra O_1 e O_2, così da avere alti valori dei rendimenti η_1 e η_2.

Ovviamente esistono altri casi per cui si può verificare un cambio di posizione del punto di lavoro durante la fase di esercizio:

- con il passare del tempo aumenta il coefficiente di scabrezza assoluta ε, a causa dei fenomeni di corrosione o incrostazione che si verificano sulle pareti interne delle condotte costituenti l'impianto. Questo provoca un aumento delle perdite di carico e una conseguente traslazione della curva caratteristica esterna, cioè dalla curva continua si passa alla curva tratteggiata (figura 2.24), quindi il punto di funzionamento non sarà più quello in corrispondenza dei tubi nuovi O_3 ma sarà O_2;
- generalmente per una maggiore sicurezza si utilizza un coefficiente di sicurezza nei confronti delle perdite di carico. Questo causa una sovrastima delle perdite di carico ed erroneamente il punto di lavoro sarà O_2, cioè alla sinistra del punto di lavoro effettivo O_3. Per evitare che si verifichi questa situazione si sostituisce alla *girante standard* della pompa una *girante con carico ridotto* che però ha dei rendimenti ridotti.

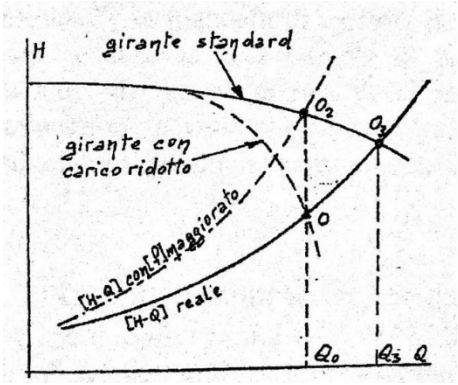

Figura 2.24 – modifica curva caratteristica esterna in funzione della scabrezza [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."]

2.7 Scelta di una pompa

Per scegliere il tipo di pompa da installare in un sistema di pompaggio, è opportuno conoscere la quantità di portata *Q* da sollevare e la prevalenza *H* necessaria che permette al liquido di giungere nel punto desiderato. Ovviamente, i parametri appena nominati, non sono gli unici a cui si deve far riferimento, infatti esistono dei parametri di minor importanza ma che vanno comunque analizzati: tipo di fluido presente nell'impianto, caratteristiche planimetriche e altimetriche dell'impianto in pressione e i costi dell'impianto. In commercio si trovano differenti macchine idrauliche, ma ognuna di esse ha un differente campo di impiego (figura 2.25).

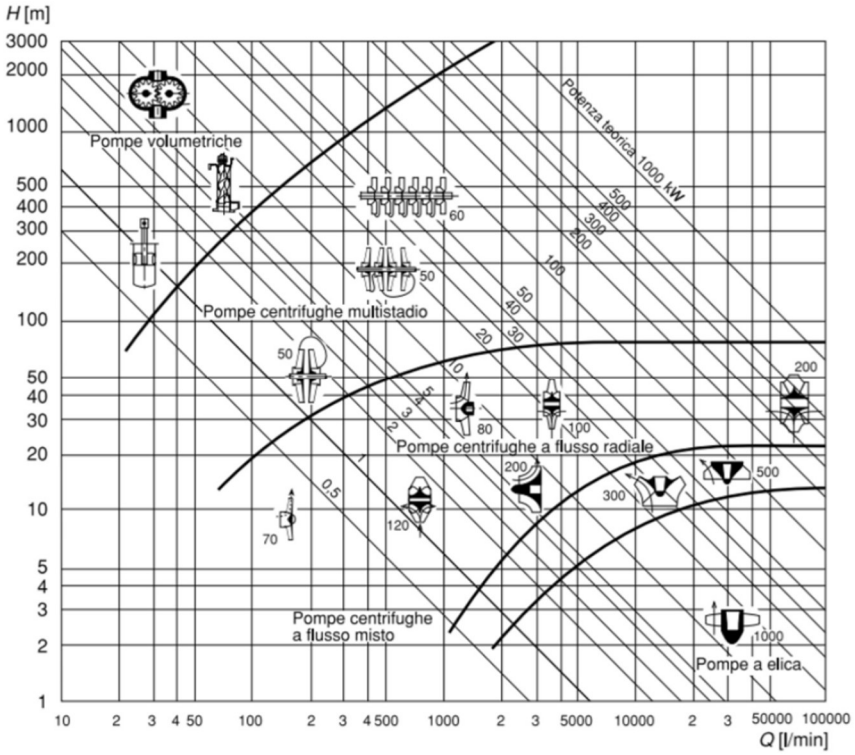

Figura 2.25 – campo di impiego delle pompe [fonte: "https://www.asvstubbe.it/blog/come-scegliere-la-pompa-giusta/"]

Dal grafico (figura 2.25) si può osservare come le pompe centrifughe sono le più duttili, in quanto possono essere impiegate per intervalli di valori di portata e di prevalenza molto ampi. Le pompe volumetriche, posizionate nell'angolo alto sinistro del grafico, vengono impiegate principalmente nel settore automobilistico e aeronautico.

Il progettista per scegliere la pompa più adatta da installare nell'impianto utilizza i *diagrammi a mosaico* (figura 2.26).

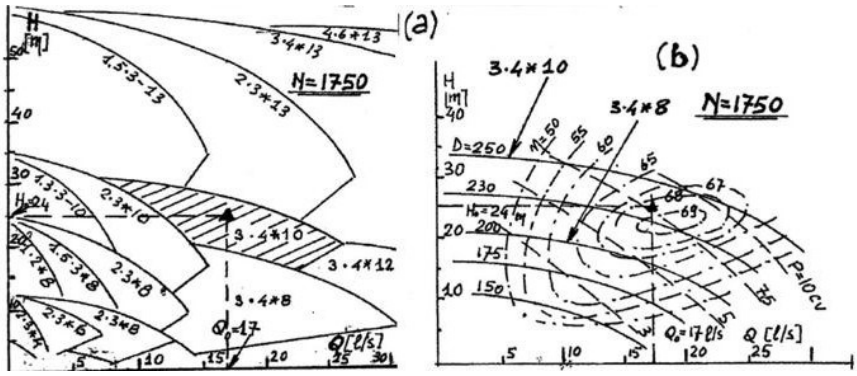

Figura 2.26 – diagramma a mosaico scelta pompe e curve caratteristiche [fonte: "Peruginelli, Alessandro. Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio. Roma: Aracnce, 2006."]

I suddetti diagrammi raggruppano in un grafico portata-prevalenza, le curve caratteristiche interne di diverse pompe appartenenti alla stessa produzione che possono coprire differenti prestazioni, con valori di rendimento non lontani da quello ottimale. Noti i valori di portata Q_0 e di prevalenza H_0, si entra nel diagramma e si determina la pompa ricadendo in una casella del mosaico. Tale casella rappresenta una determinata pompa con diametri differenti in modo da coprire l'intera superficie della casella (figura 2.26a). Ciascuna casella è etichettata con una sigla, per esempio nel caso in esame si ha "3·4*10"; il numero 10 indica il diametro massimo della girante che può essere montata sulla pompa. Nella si osservano le curve di portata-prevalenza, di potenza assorbita e di rendimento della pompa (figura 2.26b).

2.8 Pompe in serie e pompe pluristadio

Durante la progettazione di un sistema di sopraelevazione ci si può trovare nella situazione in cui la singola pompa non riesce a fornire la prevalenza richiesta. In questi casi si può pensare di installare delle *pompe in serie* (figura 2.27) oppure di montare sulla stessa pompa più giranti in modo da ottenere una *pompa pluristadio.* Quanto appena detto, si verifica quando la portata *Q* passa in successione nelle diverse pompe in serie o nei diversi stadi della pompa pluristadio.

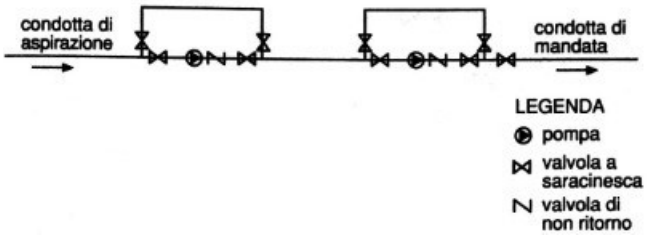

Figura 2.27 – pompe in serie [fonte: "Bianchi, Alberto, and Umberto Sanfilippo. Pompe E Impianti Di Sollevamento Manuale Di Progettazione E Realizzazione. Milano: Hoepli, 2001. Print. Biblioteca Tecnica Hoepli."]

Le curve caratteristiche delle pompe in serie e pluristadio sono le stesse e si ricavano allo stesso modo. Conoscendo la curva caratteristica della singola pompa, o della singola girante, per ottenere la curva caratteristica interna totale si deve sommare la prevalenza *H* fornita da ciascuna pompa o da ciascuna girante per il valore di portata *Q* richiesto (figura 2.28). Ovviamente se le pompe, o le giranti, installate sono tutte dello stesso modello, la prevalenza totale si calcola semplicemente moltiplicando il valore della prevalenza per il numero di pompe, o di giranti, presenti.

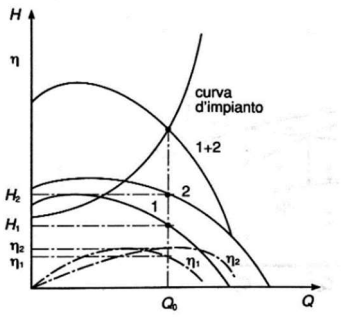

Figura 2.28 – curve caratteristiche interne di pompe in serie [fonte: "Bianchi, Alberto, and Umberto Sanfilippo. Pompe E Impianti Di Sollevamento Manuale Di Progettazione E Realizzazione. Milano: Hoepli, 2001. Print. Biblioteca Tecnica Hoepli."]

Nei grafici sopra riportati, è raffigurato il punto di funzionamento del sistema dato dall'intersezione della curva caratteristica interna totale e dalla curva dell'impianto, in corrispondenza del valore di portata Q_0. Inoltre, in figura 2.28, sono rappresentate le curve caratteristiche di portata-prevalenza e di rendimento, per cui è possibile leggere il valore della prevalenza H_1 e H_2 e del rendimento η_1 e η_2 di ciascuna pompa in corrispondenza della portata Q_0.

2.9 Pompe in parallelo

Le *pompe in parallelo* si utilizzano quando la singola pompa non riesce a fornire la portata *Q* richiesta, oppure quando nella fase di esercizio vi è la necessità di frazionare la portata *Q* totale. Le pompe vengono definite in parallelo quando le loro portate confluiscono nel medesimo nodo e quindi possono essere sommate. In figura 2.29 è rappresentato lo schema di due pompe in parallelo.

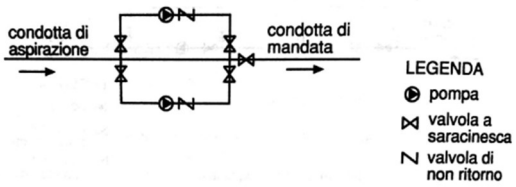

Figura 2.29 – pompe in parallelo [fonte: "Bianchi, Alberto, and Umberto Sanfilippo. Pompe E Impianti Di Sollevamento Manuale Di Progettazione E Realizzazione. Milano: Hoepli, 2001. Print. Biblioteca Tecnica Hoepli."]

La curva caratteristica interna delle pompe in parallelo si ottiene dalla somma delle curve caratteristiche di ciascuna pompa, ovvero sommando la portata della singola pompa per un determinato valore di prevalenza. Ovviamente, se le pompe installate nell'impianto sono le medesime basterà moltiplicare la portata di una sola pompa per il numero di pompe in parallelo per ottenere la portata totale *Q*. Il punto di lavoro si determina dall'intersezione della curva caratteristica del sistema e della curva caratteristica totale delle pompe in parallelo. In figura 2.30 si osserva il punto di lavoro in corrispondenza del valore di portata Q_0 e prevalenza H_0. In particolare, per lo stesso valore di prevalenza H_0 sono rappresentati i valori di portata Q_1 e Q_2 e di rendimento delle due pompe.

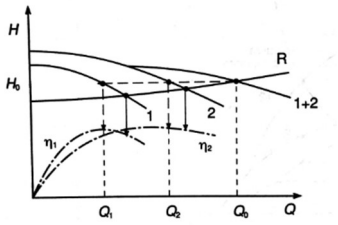

Figura 2.30 - curve caratteristiche interne di pompe in parallelo [fonte: "Bianchi, Alberto, and Umberto Sanfilippo. Pompe E Impianti Di Sollevamento Manuale Di Progettazione E Realizzazione. Milano: Hoepli, 2001. Print. Biblioteca Tecnica Hoepli."]

3 IMPIANTI DI RECUPERO ACQUA PIOVANA

L'acqua è un bene indispensabile per la vita ed è importante evitare gli sprechi, in quanto, negli ultimi anni, questa risorsa naturale sta scarseggiando sempre di più. Ovviamente, uno scriteriato consumo di acqua, oltre a una questione etica, viene considerato come una pessima gestione economica dovuta ai costi dell'acqua in bolletta. Di fatto c'è stato un aumento dei costi circa del 95,8% dal 2004 al 2014 [48]. Oggigiorno, l'acqua distribuita alle utenze è potabile ma, naturalmente, non tutta l'acqua consumata è destinata al consumo umano. Infatti, una quantità non indifferente viene utilizzata per scopi che potrebbero essere compiuti senza utilizzare acqua potabile ma sfruttando l'acqua piovana. Quanto appena detto, può essere risolto installando degli *impianti di recupero acqua piovana*. In figura 3.1, vengono mostrati i servizi che necessitano dell'acqua potabile e quelli in cui è sufficiente l'acqua piovana.

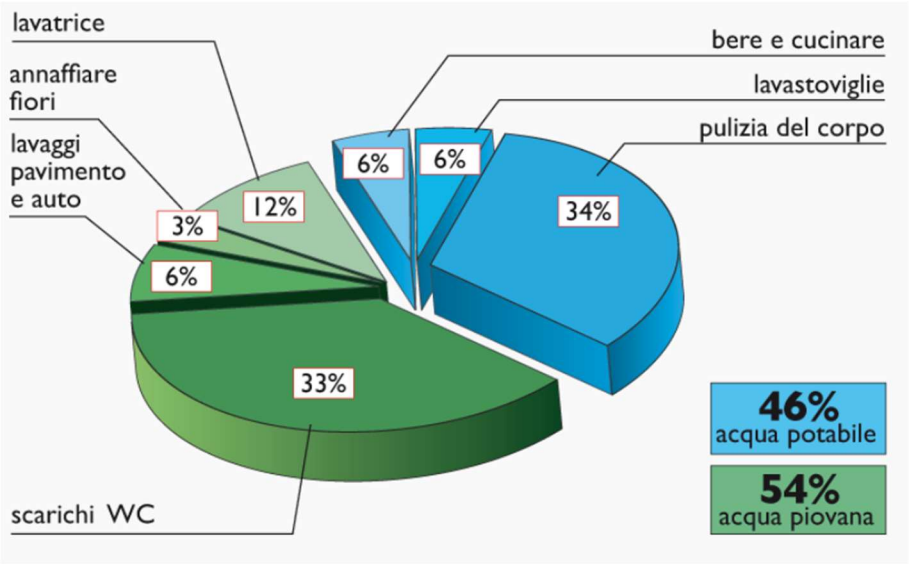

Figura 3.1 – campi di utilizzo acqua potabile e acqua piovana [fonte: "https://www.abitazioniecologiche.it/tecnica-e-servizi/impianti/recupero-acque-piovane.html"]

Come si osserva in figura 3.1, attraverso gli impianti di recupero di acqua piovana si può avere un risparmio di acqua, fatturata in bolletta, di circa il 54%. Inoltre, si può affermare che gli impianti di recupero dell'acqua piovana hanno diversi campi di applicazione:

- Ambito civile, può essere utilizzata per: lavare le strade nei centri urbani, alimentazione dei sistemi di raffreddamento e riscaldamento, usi domestici che riguardano il consumo umano;
- Ambito industriale, può essere utilizzata per: acqua per gli impianti antincendio, di lavaggio e di processo;
- Irriguo, può essere utilizzata per: irrigare aree verdi destinate ad attività sportive o ricreative e per irrigare le colture destinate sia alla produzione di alimenti, per il consumo umano ed animale, che per scopi non alimentari.

L'acqua piovana può essere depurata così da avere delle caratteristiche paragonabili all'acqua distillata, questo comporta dei vantaggi perché negli elettrodomestici, come la lavatrice, non si verificherebbe più la formazione di calcare, quindi avrebbero un minor consumo di energia e un minor deterioramento.

3.1 Funzionamento dell'impianto

Nella tesi verranno trattati solamente gli impianti di recupero che utilizzano l'acqua piovana per scopi abitativi e irrigui. In questi casi la superficie di raccolta è rappresentata dai tetti delle case, infatti l'acqua precipitata viene raccolta dalle grondaie e in seguito, dopo essere stata filtrata, viene convogliata all'interno

del serbatoio di accumulo. I residui filtrati, generalmente, vengono rimossi attraverso la condotta di scarico. Da questo momento l'acqua presente nel serbatoio può essere utilizzata sia per scopi irrigui sia per i servizi domestici che non necessitano di acqua potabile. Ovviamente, per permettere all'acqua di giungere nei punti di utilizzo, deve essere presente un impianto di distribuzione all'interno dell'edificio che sia separato, e opportunamente segnalato, rispetto l'impianto di distribuzione dell'acqua potabile. Nel momento cui l'utenza apre il rubinetto per usufruire dell'acqua piovana, una centralina di controllo, costituita da un quadro elettrico e da una pompa, alimenta il sistema aspirando l'acqua presente nel serbatoio. La centralina è anche collegata all'acquedotto, assicurando così l'afflusso d'acqua nei punti di prelievo anche dopo aver consumato l'acqua piovana contenuta nel serbatoio. Per quanto riguarda l'irrigazione del giardino, può essere installato sopra il coperchio del serbatoio una colonna composta da rubinetto dell'acqua e ripiano di annaffiatoio, oppure un qualsiasi altro dispositivo che permetta di svolgere la stessa funzione.

3.2 Dispositivi presenti nell'impianto

L'impianto per il recupero dell'acqua piovana è costituito da numerosi dispositivi, molti dei quali sono rappresentati in figura 3.2.

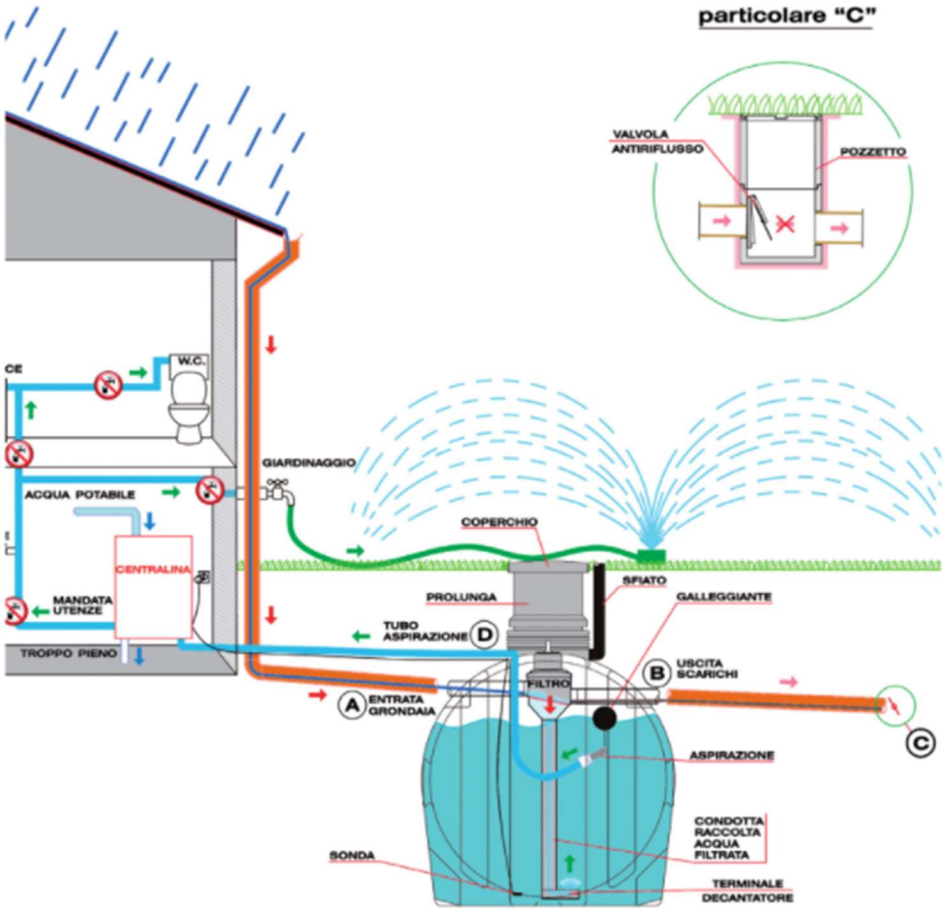

Figura 3.2 – dispositivi che costituiscono il sistema [fonte: "https://termoidraulica.elbi.it/prodotti/serbatoi-in-polietilene-per-interro-e-acque-reflue/rain-system-sistemi-di-recupero-acqua-piovana/"]

Di seguito verrà descritta la funzione di ciascun dispositivo presente in figura 3.2, in ordine del percorso che compie l'acqua:

- *Superfici di captazione,* vengono definite ideali quelle superfici che presentano un basso grado di sporcizia o inquinamento, come i tetti delle case;

- *Grondaie,* convogliano l'acqua precipitata sui tetti nel serbatoio di accumulo per gravità. Inoltre, devono essere accessibili per la periodica manutenzione e pulizia;
- *Filtro,* è fondamentale per il corretto funzionamento dell'impianto di recupero dell'acqua piovana ed ha il compito di separare l'acqua dalla sporcizia. Normalmente, l'acqua attraversa un filtro grossolano e un filtro fine prima di giungere nel serbatoio di accumulo. Il filtro grossolano è composto da una maglia metallica con diametro dei fori di circa 2 decimi di millimetro, ha il compito di trattenere i residui (foglie, muschi, polveri, ecc.) ed è inserito nelle grondaie. Deve essere facilmente asportabile per effettuare la manutenzione. Il filtro fine è situato al termine del tubo di raccolta dell'acqua piovana (figura 3.2), quindi è installato all'interno del serbatoio. Quest'ultimo può essere autopulente (figura 3.3a), cioè non ha bisogno di una pulizia impegnativa e vengono posizionati con una certa inclinazione in modo che l'acqua di riflusso contenente i residui della filtrazione viene espulsa attraverso l'*uscita scarichi*, oppure un semplice filtro (figura 3.3b) che trattiene i residui all'interno del filtro stesso; quest'ultimi necessitano di una manutenzione periodica, praticabile per mezzo dell'apertura a coperchio del serbatoio. I filtri vengono scelti in funzione della portata da convogliare e devo avere un'efficienza superiore al 90%;

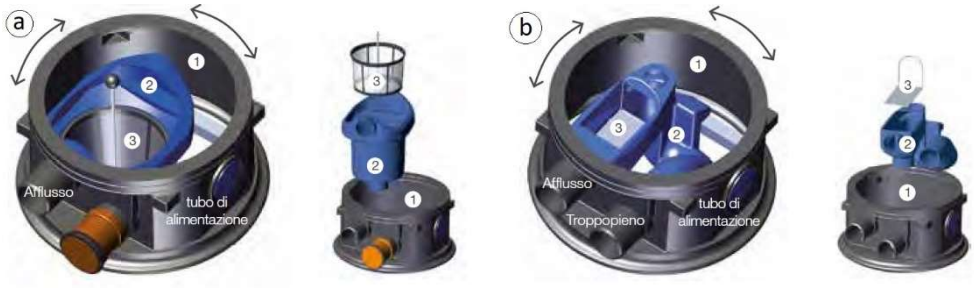

Figura 3.3 – filtro autopulente e semplice [fonte: "Rewatec – Soluzioni ecologiche per lo sfruttamento dell'acqua piovana. Sistemi completi e soluzioni individuali. Catalogo completo 2020."]

- *Terminale decantatore,* è il pezzo terminale della *condotta di raccolta dell'acqua filtrata*, ovvero il tubo attraverso cui l'acqua filtrata entra nel serbatoio di accumulo. Questo elemento ha una forma curva ed è rivolto verso l'alto (figura 3.4) perché ha il compito di impedire turbolenze, evitando così di smuovere eventuali sedimenti presenti sul fondo del serbatoio;

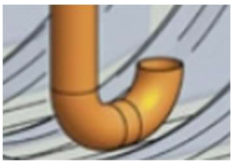

Figura 3.4 – terminale decantatore [fonte: "https://www.expoclima.net/focus/aziende/rain_system_elbi_vantaggi_di_recuperare_e_riutilizzare_acqua_piovana.htm"]

- *Serbatoio,* è un contenitore in cui viene immagazzinata l'acqua piovana, precedentemente filtrata, prima di essere distribuita alle utenze. Il serbatoio può essere interrato o fuori terra. Con i serbatoi interrati, si ha una migliore protezione dell'acqua dal gelo, dalle alte temperature e dalla luce. Le alte temperature facilitano la proliferazione nell'acqua di batteri come la legionella, mentre la luce provoca la formazione di muschi. Per quanto riguarda i serbatoi fuori terra, l'acqua è soggetta a dei rischi maggiori di congelamento, formazione di alghe e dal riscaldamento, motivo per cui bisogna installare dei serbatoi coibentati e opacizzati. L'ossigeno contenuto nel serbatoio favorisce la riproduzione di batteri "buoni", che mineralizzano la sedimentazione sul fondo, garantendo una maggior purezza dell'acqua. È possibile dare una pendenza al serbatoio per facilitare l'esportazione dei sedimenti che si accumulano sul fondo, in quanto nonostante l'acqua venga filtrata contiene

modeste quantità di sostanze solide. La dimensione delle aperture del serbatoio deve avere delle dimensioni tali da permettere con facilità l'ispezione e la manutenzione;

- *Galleggiante,* serve per mantenere il *tubo di aspirazione* della pompa ad una profondità di 15 cm dalla superficie dell'acqua, per assicurare l'aspirazione dell'acqua più pura. Nella parte iniziale del tubo di aspirazione è presente un filtro aggiuntivo e una valvola antiriflusso per impedire all'acqua di tornare nel serbatoio;
- *Sonda,* viene utilizzata per tenere sotto controllo il livello dell'acqua nel serbatoio, così da evitare che la pompa vada in allarme per la mancanza di acqua;
- *Uscita scarichi,* vengono utilizzati per rimuovere l'acqua in eccesso nel serbatoio attraverso il *sifone* (figura 3.5) e per espellere i residui filtrati;

Figura 3.5 – sifone [fonte: "Rewatec – Soluzioni ecologiche per lo sfruttamento dell'acqua piovana. Sistemi completi e soluzioni individuali. Catalogo completo 2020."]

- *Sfiato*, deve essere installato quando il serbatoio è munito di pompa, per evitare che il serbatoio possa andare in depressione. Bisogna evitare che attraverso questa tubazione possano introdursi acqua, foglie, sporcizia e piccoli animali;
- *Centralina,* è situata nell'edifico all'interno di un armadietto, è composta da un quadro elettrico e gestisce l'intero sistema di distribuzione dell'acqua piovana all'interno dell'edificio. La centralina deve essere installata in un ambiente chiuso e asciutto. Inoltre, ha il compito di integrare, con acqua potabile prelevata dall'acquedotto, la richiesta idrica dell'utenza quando il serbatoio è vuoto. Tale operazione può essere effettuata con un comando manuale, oppure automatico, grazie alla presenza della sonda che segnala quando la quantità di acqua all'interno del serbatoio è insufficiente. Dalla centralina passano sia l'acqua piovana che quella potabile, evitando però qualsiasi possibilità di contatto. Infatti, la centralina è equipaggiata con uno "scarico libero" e un gruppo di rottura che non permetto a possibili inquinanti, presenti all'interno del serbatoio dell'acqua piovana, di entrare in contatto con la rete idrica;
- *Pompa,* viene utilizzata quando il sistema non è alimentato a gravità e ha bisogno delle pompe per mandare l'acqua al punto di utilizzo. Ovviamente, può essere installata più di una pompa, in base all'impianto che si sta progettando. La pompa scelta per l'impianto deve: diminuire il consumo di energia, evitare il fenomeno di cavitazione e deve essere inserito un dispositivo per prevenire la marcia a secco. La pompa può essere:
    - *Esterna al serbatoio,* deve avere un sistema autoadescante o oppure un sistema che garantisca uno stato di costante adescamento. La pompa deve essere posizionata in una zona ventilata e deve essere protetta da temperature estreme. Generalmente, in questi casi, viene posizionata all'interno dell'armadietto contenente la centralina. Inoltre, è importante posizionare una valvola di ritegno lungo la linea di aspirazione della pompa per evitare il ritorno dell'acqua nel serbatoio di accumulo;
    - *Interna al serbatoio,* si tratta di pompe immerse alla profondità indicata dal costruttore. È importante che al di sopra della pompa ci sia un certo livello d'acqua per evitare l'aspirazione d'aria o sedimenti. Il sistema deve essere progettato considerando che la pompa sia facilmente raggiungibile ed esportabile per la manutenzione o per un'eventuale sostituzione.

- *Pressoflussostato,* sono dei sistemi elettronici che comando l'avvio o l'arresto delle pompe in funzione della pressione che misurano nella rete;
- *Tubazioni di distribuzione dell'acqua piovana,* hanno il compito di distribuire acqua alle utenze. Devono essere dimensionate in modo da garantire un'adeguata portata e pressione. Realizzare un impianto sovradimensionato causando un effetto negativo sull'acqua, mentre un impianto sottodimensionato provoca eccessive perdite d'acqua ed elevati consumi. È obbligatorio segnalare le tubazioni dell'acqua piovana lungo tutto il tracciato, quindi sia tubazioni a vista che interrate, attraverso il cartello di figura 3.6;

Figura 3.6 – cartello acqua non potabile [fonte: "Luigi Fanizzi – ECOACQUE. Impianti per la raccolta e l'utilizzo dell'acqua piovana per usi domestici diversi dal consumo umano: la nuova specifica tecnica UNI/TS 11445:2012."]

3.3 Dimensionamento sistema di accumulo

La progettazione del sistema di accumulo si effettua considerando il luogo di installazione, la tipologia e la grandezza del manufatto. Per il dimensionamento si fa riferimento alla norma "UNI/TS 11445, Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano, progettazione, installazione e manutenzione, maggio 2012", secondo cui il volume ottimale del serbatoio di acqua piovana si ricava in funzione delle precipitazioni atmosferiche del sito in cui verrà installato l'impianto e della richiesta di acqua ad uso domestico, differente dal consumo umano. Per procede con il dimensionamento è necessario conoscere: il regime pluviometrico, le dimensioni e le caratteristiche del sistema di captazione e le richieste d'acqua non potabili delle utenze. Nella fase di dimensionamento bisogna fare attenzione alla posizione del tubo di aspirazione dell'acqua piovana contenuta nel serbatoio, in quanto non deve trovarsi sul fondo per evitare il prelievo di eventuali particelle solide sedimentate. Il volume del serbatoio può essere dimensionato con due differenti metodi:

- *Metodo semplificato,* è un metodo speditivo che garantisce un determinato livello prestazionale ed è consigliato per impianti di piccole-medie dimensioni;
- *Metodo analitico,* consente di ottimizzare il livello prestazionale del sistema ed è impiegato per gli impianti di grandi dimensioni.

3.3.1 Metodo semplificato

Il seguente metodo viene utilizzato quando l'impianto è destinato ad abitazioni mono e bifamiliari e può essere applicato solo per specifiche condizioni:

- Devono esserci consumi uniformi di acqua piovana per usi domestici, differenti dal consumo umano, durante tutto l'anno;
- La copertura deve essere la tipologia rilevante delle superficie di captazione;
- Bisogna evitare che ci sia una perdita di acqua dovuta all'evaporazione, motivo per cui è importante che il serbatoio sia chiuso o coperto.

3.3.1.1 Regime pluviometrico

Viene valutato considerando la precipitazione media annua, espressa in millimetri, della località in esame. Tale valore può essere ottenuto dalla cartina in figura 3.7, in cui è riportato per ciascuna località un valore di altezza di pioggia annuale, ricavato dalla media delle altezze di pioggia annuali di una serie storica di almeno trenta anni di registrazione.

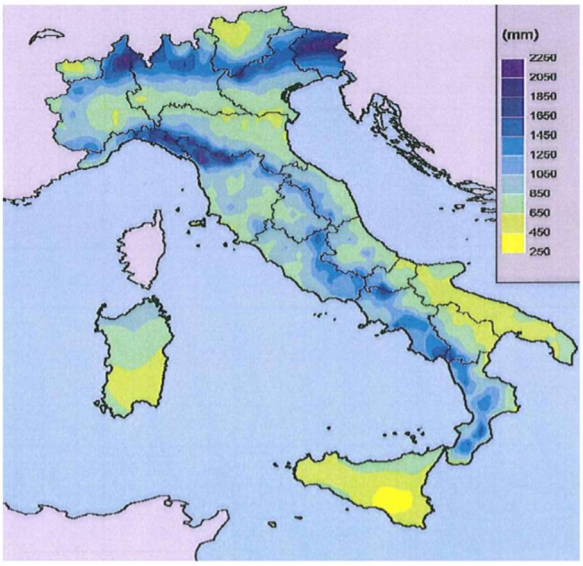

Figura 3.7 – cartina precipitazione media annua (1961 – 1990) [fonte: "Centro di informazioni sul PVC. Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana. UNI EN 11445"]

3.3.1.2 Superfici di captazione

Se come superficie di captazione si considera la copertura di un fabbricato, qualunque inclinazione o forma esso abbia, bisogna utilizzare nel calcolo la sua proiezione orizzontale (figura 3.8).

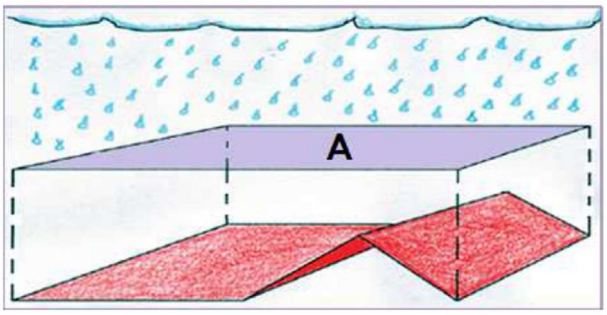

Figura 3.8 – proiezione superficie di captazione [Fonte: "Luigi Fanizzi – ECOACQUE. Impianti per la raccolta e l'utilizzo dell'acqua piovana per usi domestici diversi dal consumo umano: la nuova specifica tecnica UNI/TS 11445:2012."]

3.3.1.3 Coefficiente di afflusso

Il coefficiente di afflusso ϕ rappresenta il rapporto tra il volume totale defluito, nella sezione terminale della superficie di captazione, e la precipitazione caduta sulla superficie stessa. Il suddetto parametro viene considerato constante durante l'evento meteorico ed ha un valore minore di 1.

Tale parametro assume diversi valori a seconda della tipologia di copertura (tabella 3.1).

Tabella 3.1 – valori coefficienti di afflusso per le tipologie di coperture più diffuse [fonte: "UNI/TS 11445, Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano, progettazione, installazione e manutenzione, maggio 2012"]

tipologia di copertura	**coefficiente di afflusso ϕ [-]**
copertura impermeabile a falda	0,8
copertura impermeabile piana	0,7
copertura permeabile (esempio: verde pensile)	0,5
superficie impermeabile a terra	0,7

3.3.1.4 Afflusso meteorico

L'afflusso meteorico annuo *Q*, si ricava attraverso l'espressione riportata di seguito [15]:

$$Q = \phi \cdot P \cdot A \qquad (3.1)$$

Dove:

- ϕ: è il coefficiente di afflusso [-];
- P: è la precipitazione annua espressa in millimetri;
- A: è la proiezione orizzontale della superficie di captazione espressa in metri quadri.

Pertanto, si ottiene un valore dell'afflusso meteorico *Q* espresso in litri.

3.3.1.5 Richiesta di acqua

Il volume d'acqua richiesto *R* per il consumo domestico annuo, diversi da quello umano, si ricava attraverso l'espressione riportata di seguito [15]:

$$R = n \cdot r \cdot 365 \qquad (3.2)$$

Dove:

- n: numero di abitanti [-];
- r: è la richiesta giornaliera procapite espressa in l/giorno per abitante. Tale fabbisogno è fornito dalla normativa e i valori sono riportati in tabella 3.2.

Tabella 3.2 – valori del fabbisogno di acqua per usi domestici diversi dall'uso umano [fonte: "UNI/TS 11445, Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano, progettazione, installazione e manutenzione, maggio 2012"]

Utenza	Fabbisogno giornaliero per persona[2)]	Fabbisogno annuale
WC in abitazione[1)]	40 l	-
Irrigazione per 1 m^2 di superficie utile nelle aree verdi di pertinenza	-	300 l/m^2
1) Tale valore può essere ridotto del 20% se si fa riferimento all'utilizzo di dispositivi a risparmio idrico, come cassette di risciacquo preimpostate ad un massimo di 6 l di scarico e con doppio azionamento di scarico. 2) Qualora all'impianto siano collegate delle lavatrici, il fabbisogno individuale giornaliero aumenta di 15 l.		

Pertanto, si ottiene una richiesta d'acqua annua *R* espressa in litri.

3.3.1.6 Volume utile del sistema di accumulo

Il volume utile V_u si ricava confrontando l'afflusso meteorico annuale Q e la richiesta di acqua R per consumo domestico, diversi da quello umano. La formula per il calcolo del volume V_u è la seguente [15]:

$$V_u = min(Q; R) \cdot 0{,}06 \quad (3.3)$$

Dove:

- Q: è l'afflusso meteorico espresso in litri;
- R: è la richiesta annua per usi domestici diversi dall'uso umano ed è espresso in litri.

Pertanto, si ottiene un volume utile V_u espresso in litri.

La formula (3.3) utilizzata per la stima del volume utile, consente di bilanciare la variabilità delle precipitazioni. Infatti, il valore 0,06 presente nella formula (3.3) rappresenta una percentuale (6%) che garantisce soddisfacimento totale della richiesta d'acqua, per un periodo con assenza di precipitazioni non superiore a 21 giorni.

Per avere una buona efficienza, anche in periodi in cui si hanno notevoli variazioni della precipitazione, si incrementa il valore del volume utile così da massimizzare le prestazioni dell'impianto. Si ricava così il volume ottimale V_o [15]:

$$V_o = V_u \cdot 1{,}5 \quad (3.4)$$

3.3.2 Metodo analitico

Il metodo analitico può essere adottato per impianti di qualsiasi dimensioni, ma è consigliato nel caso di abitazioni plurifamiliari. Tale metodo permette di ottimizzare le prestazioni del sistema di accumulo. Il calcolo del volume immagazzinato si effettua attraverso la regola di gestione denominata *Yield After Spillage (YAS),* basata sul seguente principio [15]:

$$Y_t = min\begin{cases} R_t \\ V_{t-1} \end{cases} \quad e \quad V_t = \begin{cases} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ S - Y_t \end{cases} \quad (3.5)$$

Dove:

- V: è il volume immagazzinato [L^3];
- Q: è l'afflusso meteorico [L^3];
- Y: è il volume erogato [L^3];
- S: è la capacità del sistema di accumulo [L^3];
- R: è la richiesta per il consumo annuo domestico, diverso dal consumo umano [L^3].

Il volume immagazzinato V e il volume erogato Y al tempo t vengono calcolati dopo aver erogato il volume richiesto R.

L'algoritmo *YAS* permette una stima cautelativa dell'efficienza del sistema, a prescindere dalla scala temporale scelta nel caso in esame. Quindi, stabilita la scala temporale, è possibili calcolare le seguenti variabili: afflussi meteorici Q, volume erogati Y, volumi immagazzinati V nel serbatoio e i volumi sfiorati O. Successivamente, attraverso i dati appena ottenuti, è possibile ricavare i livelli prestazionali in base alla capacità del sistema di accumulo. Quindi, il dimensionamento del sistema di accumulo viene effettuato in funzione dei livelli prestazionali scelti dal progettista [15].

4 ANALISI IMPIANTI DI RECUPERO ACQUA PIOVANA

Nel seguente capitolo è stata effettuata un'analisi tecnico-economica e il dimensionamento di serbatoi per il recupero dell'acqua piovana a scala di edificio. Sono stati scelti due differenti tipologie di edifici: un edificio monofamiliare, abitato da 3 persone, e un edifico plurifamiliare, abitato da 60 persone. Inizialmente, l'analisi si è svolta considerando che i due edifici fossero situati a Torino e per entrambi sono stati selezionati i serbatoi più idonei per l'accumulo e la ridistribuzione dell'acqua per uso domestico e irriguo. Per entrambi gli edifici, la superficie di captazione è il tetto, quindi l'acqua di prima pioggia non sarà sottoposta a trattamento. Infatti, considerando l'uso che si farà dell'acqua immagazzinata, ovvero wc e irriguo, come "pulizia" dell'acqua basta il passaggio attraverso il filtro prima di essere accumulata nel serbatoio.

4.1 Dimensionamento serbatoio edificio monofamiliare

In questa prima analisi è stato considerato un edificio monofamiliare, composto da due pianti fuori terra più uno interrato, abitato da 3 persone (figura 4.1).

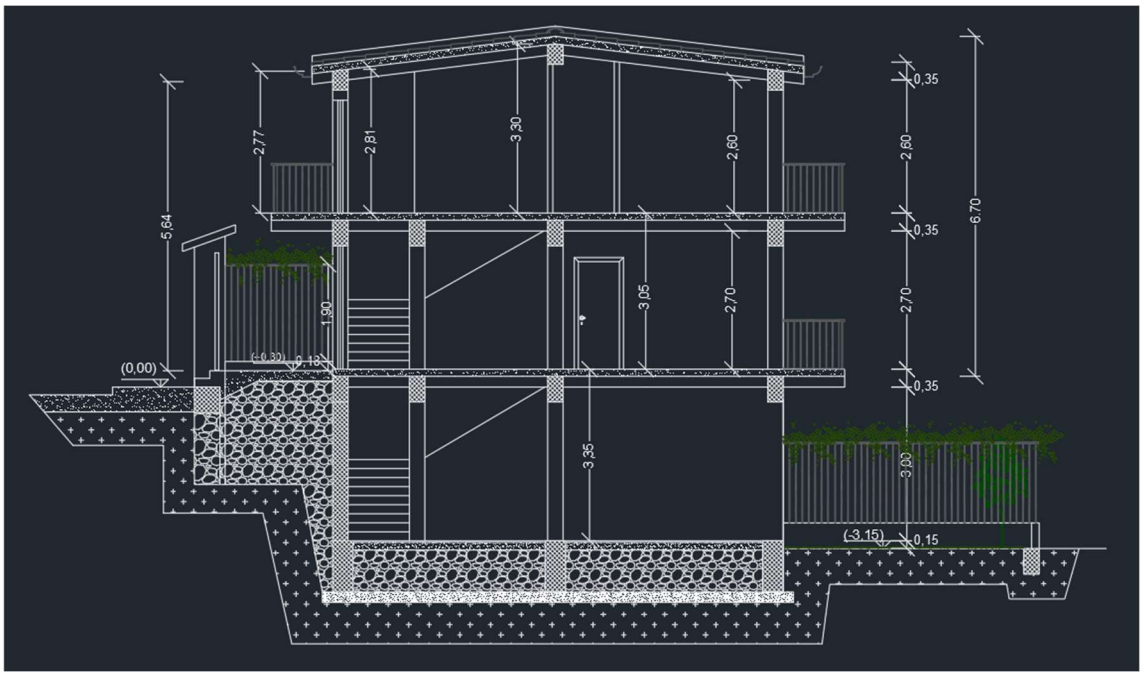

Figura 4.1 - edifico monofamiliare

Il dimensionamento del serbatoio è stato effettuato considerando il "Metodo semplificato", descritto nella norma "UNI/TS 11445, Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano, progettazione, installazione e manutenzione, maggio 2012"; tale metodo è stato descritto nel capitolo 3 al paragrafo 3.3.1. Avendo supposto che l'edificio è collocato a Torino, è stato necessario procurarsi la precipitazione media annua *P* del comune di Torino, che risulta pari a 893,89 mm. Si precisa che nel caso esaminato il metodo fornisce una prima approssimazione del volume della cisterna, in quanto il metodo è valido per consumi costanti durante l'anno mentre nel seguito si considerano sia consumi domestici sia per l'irrigazione (non costante durante l'anno). Si è ritenuto di poter applicare il metodo semplificato perché, come si vedrà, la richiesta per l'irrigazione non è prioritaria. Il dimensionamento è stato poi affrontato con una metodologia accurata.

4.1.1 Afflusso meteorico annuo

Per calcolare l'afflusso meteorico annuo Q è necessario conoscere il coefficiente di afflusso ϕ, che dipende dalla tipologia di copertura dell'edifico e viene fornito dalla norma "UNI/TS 11445, Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano, progettazione, installazione e manutenzione, maggio 2012" (tabella 4.1):

Tabella 4.1 - valori coefficienti di afflusso per le tipologie di coperture più diffuse [fonte: "UNI/TS 11445, Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano, progettazione, installazione e manutenzione, maggio 2012"]

tipologia di copertura	**coefficiente di afflusso ϕ [-]**
copertura impermeabile a falda	0,8
copertura impermeabile piana	0,7
copertura permeabile (esempio: verde pensile)	0,5
superficie impermeabile a terra	0,7

Come si può osservare dalla figura 4.1, l'edificio ha una copertura a falde, quindi il coefficiente di afflusso ϕ scelto è pari a 0,8.

Un altro parametro importante è la proiezione orizzontale della superficie di captazione A, che nel caso in esame è pari a 94,1 m^2.

Considerando i parametri appena descritti è possibile calcolare l'afflusso meteorico annuo Q [l] con la seguente formula [15]:

$$Q = \phi \cdot P \cdot A = 0{,}8 \cdot 893{,}89 \cdot 94{,}1 = 67292{,}06\ l \quad (4.1)$$

dove:

- P: è la precipitazione media annua [mm].

4.1.2 Richiesta di acqua annua

Nel caso in esame la richiesta d'acqua annua R [l] diversa dal consumo umano è sia domestica che irrigua. Per quanto riguarda la richiesta d'acqua annua domestica R_d [l] si calcola con la seguente formula [15]:

$$R_d = n \cdot r \cdot 365 = 3 \cdot 40 \cdot 365 = 43800\ l \quad (4.2)$$

dove:

- n: è il numero di persone che abitano nell'edificio;
- r: è il fabbisogno giornaliero a persona per WC in abitazione [l] (tabella 3.2).

Osservando la figura 4.2, si vede come, sia al piano terra che in quello interrato, è presente il giardino.

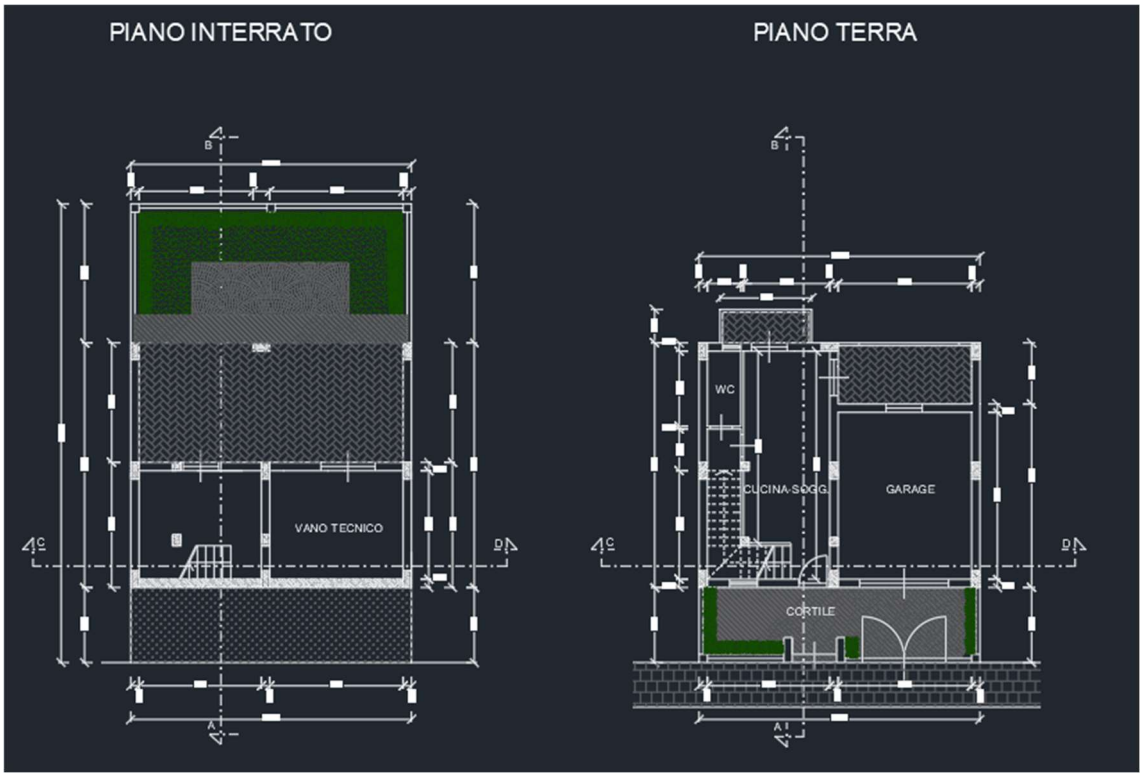

Figura 4.2 - pianta piano interrato e piano terra

Di conseguenza, la richiesta d'acqua annua irrigua R_i [l] si calcola facendo il prodotto della superficie di giardino da irrigare e il fabbisogno d'acqua annuale per 1 m^2 di superficie; quest'ultimo valore è dato dalla normativa (tabella 3.2):

$$R_i = 27{,}9\ m^2 \cdot 300 \frac{l}{m^2} = 8370{,}9\ l \quad (4.3)$$

Sommando i due valori precedentemente ottenuti, si calcola richiesta d'acqua annua R:

$$R = R_d + R_i = 43800 + 8370{,}9 = 52170{,}9\ l \quad (4.4)$$

4.1.3 Volume utile del sistema di accumulo

Il volume utile del serbatoio del sistema di accumulo V_u [l] si calcola confrontando l'afflusso meteorico annuo Q e la richiesta d'acqua annua R [15]:

$$V_u = min(Q; R) \cdot 0{,}06 = min(67292{,}06; 52170{,}9) \cdot 0{,}06 = 3130{,}25\ l \quad (4.5)$$

Il volume utile V_u del sistema di accumulo permette di pareggiare l'incostanza degli afflussi meteorici, infatti il 6% garantisce il soddisfacimento della richiesta idrica in periodi, di durata massima di 21 giorni, in cui non vi sono precipitazioni.

Per massimizzare le prestazioni dell'impianto si calcola il volume ottimale V_o [l] del sistema di accumulo, moltiplicando il volume utile per un coefficiente pari a 1,5 [15]; in questo modo si avrà un sistema con una buona efficienza anche in presenza di variazioni considerevoli delle precipitazioni e dell'utilizzo dell'acqua:

$$V_o = V_u \cdot 1{,}5 = 3130{,}25 \cdot 1{,}5 = 4695{,}38\ l \quad (4.6)$$

A questo punto, basterebbe installare un serbatoio nel sistema di accumulo che abbia un volume uguale, o maggiore, del volume ottimale V_o appena calcolato per avere delle ottime prestazioni dell'impianto. Prima di inserire un serbatoio di volume pari a quello ottimale, si è preferito effettuare un'analisi legata ad aspetti

prestazionali dell'impianto, ovvero andando ad analizzare come un impianto con serbatoio di capacità minori o maggiori del volume ottimale, influenzi la quantità d'acqua recuperata e i costi totali dell'impianto. L'analisi è stata condotta, utilizzando la regola di gestione *Yield After Spillage* (*YAS)*; già illustrata nel capitolo 3 paragrafo 3.3.2.

4.1.4 Metodo analitico: Yield After Spillage

Per un'analisi più accurata per il dimensionamento del sistema, si è deciso di applicare il metodo analitico *YAS.* Per utilizzare il metodo analitico, è necessario richiedere agli enti regionali, o nazionali, i dati pluviometrici, a scala giornaliera, per una durata minima di 30 anni consecutivi di registrazione. I dati utilizzati per la simulazione numerica, sono la somma dei dati misurati da due differenti stazioni pluviometriche di Torino: "Torino Buon Pastore" dal 1989 al 2004 e "Torino Giardini Reali" dal 2004 al 2020.

4.1.4.1 Applicazione del metodo analitico

Il procedimento con cui si applica il metodo analitico viene, per facilità di comprensione, descritto per punti:

1. L'afflusso meteorico giornaliero Q_t [l] si calcola con la seguente formula [15]:
$$Q_t = \phi \cdot P_t \cdot A \quad (4.7)$$
I valori del coefficiente di afflusso ϕ, preso da normativa [15], e della superficie di captazione *A* sono, rispettivamente, pari a 0,8 e 94,1 m^2. In questo caso, essendo l'analisi fatta a scala giornaliera, P_t rappresenta la precipitazione giornaliera [mm];
2. Le formule per calcolare la richiesta d'acqua rimangono le stesse viste per il metodo semplificato [15]:
   - Richiesta d'acqua giornaliera ad uso domestico $R_{d,t}$ [l]:
   $$R_{d,t} = n \cdot r \cdot 1 \quad (4.8)$$
   Il termine 1 presente nella formula 4.8 indica l'analisi a scala giornaliera;
   - Richiesta d'acqua giornaliera ad uso irriguo $R_{i,t}$ si calcola facendo il prodotto della superficie di giardino da irrigare e il fabbisogno d'acqua giornaliero per 1 m^2 di superficie. Questi valori sono, rispettivamente, pari a 27,9 m^2 e 0,82 l/m^2; quest'ultimo valore è dato dalla normativa (tabella 3.2). Il calcolo di tale richiesta è stato effettuato considerando che il prelievo d'acqua da parte dell'utente per irrigare il giardino è costante ogni giorno;
   - Richiesta d'acqua giornaliera R_t [l]:
   $$R_t = R_{d,t} + R_{i,t} \quad (4.9)$$
3. Si prosegue calcolando il volume giornaliero erogato Y_t [l] con la seguente formula [15]:
$$Y_t = min\begin{cases} R_t \\ V_{t-1} \end{cases} \quad (4.10)$$
La norma "UNI/TS 11445, Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano, progettazione, installazione e manutenzione, maggio 2012" suggerisce di porre uguale a 0 il volume V_{t-1} all'istante iniziale (t=0). Nei successivi intervalli di tempo, il volume V_{t-1} è pari al volume d'acqua immagazzinato nel serbatoio all'istante precedente;
4. Il volume giornaliero immagazzinato V_t [l] si calcola con la seguente formula [15]:
$$V_t = min\begin{cases} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ S - Y_t \end{cases} \quad (4.11)$$
Dove *S* è la capacità del sistema di accumulo [l] e viene scelto da chi progetta l'impianto. La scelta della capacità *S* del serbatoio dovrebbe essere fatta considerando la quantità di acqua recuperata nel serbatoio e il costo dell'impianto.

L'analisi è stata condotta considerando 4 serbatoi con capacità di accumulo diverse: 1000 l, 3000 l, 5000 l e 10000 l. I volumi appena elencati non corrispondono al volume utile di ciascun serbatoio, infatti l'azienda Elbi indica una riduzione approssimata per ciascun serbatoio [20]:

- serbatoio da 1000 l, non ha una riduzione di volume;
- serbatoi da 3000 l e 5000 l, si considera una riduzione del 15%, quindi il volume utile di ciascun serbatoio è, rispettivamente, pari a 2550 l e 4250 l.
- serbatoio da 10000 l, si considera una riduzione di volume pari al 10%, cioè il volume utile è uguale a 9000 l.

Tale riduzione è dovuta al pre-allestimento che i serbatoi hanno considerata l'installazione dei seguenti dispositivi al suo interno: prolunga, filtro autopulente, tubo di aspirazione con galleggiante, terminale decantatore e predisposizioni per allacciamenti idraulici [20].

4.1.4.2 Risultati ottenuti dal metodo YAS

Con il metodo *YAS* si ricava il volume d'acqua totale recuperato Y_{totale} [l], che non è altro che la sommatoria del volume d'acqua giornaliero erogato Y_t durante i 30 anni, e il volume d'acqua totale richiesto R_{totale} [l] nei 30 anni analizzati. Attraverso il rapporto dei due parametri appena descritti, è possibile ricavare un indicatore - W_s -, meglio descritto nel seguito relativo al risparmio d'acqua. Nella tabella 4.2, sono riportati i risultati ottenuti per i serbatoi di 1000 l, 3000 l, 5000 l, 10000 l per 30 anni analizzati:

Tabella 4.2 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato a Torino

Torino			
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**
1000	805.640	1.632.400	49
3000	1.151.800	1.632.400	71
5000	1.306.300	1.632.400	80
10000	1.468.300	1.632.400	90

Dove:

- Y_{totale}: è il volume d'acqua totale recuperato nei 30 anni analizzati;
- R_{totale}: è il volume d'acqua totale richiesto nei 30 anni analizzati;
- W_s: è l'*efficienza idrica*, intesa come percentuale di acqua di servizio, fornita dall'impianto di recupero dell'acqua piovana. É data dal rapporto tra il volume d'acqua totale recuperato e il volume d'acqua totale richiesto nei 30 anni analizzati.

L'efficienza idrica rappresenta un coefficiente con cui la norma "UNI/TS 11445, Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano, progettazione, installazione e manutenzione, maggio 2012" indica il livello di classificazione del sistema, in base se ha alti o bassi risparmi d'acqua. Se un sistema ha livello di classificazione A, significa che fornisce quantità di acqua uguali, o prossime, alla richiesta per i wc e a scopo irriguo, mentre se la classe del sistema è di tipo E, cioè la più bassa, il sistema non soddisfa affatto la richiesta e l'unità di controllo dovrà fornire grandi quantità d'acqua potabile dall'acquedotto per soddisfare la richiesta dell'utenza.

La classificazione si divide in 5 categorie, che sono mostrate in figura 4.3:

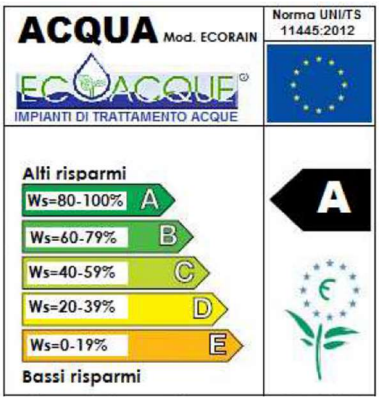

Figura 4.3 - livelli di efficienza idrica del sistema di accumulo [fonte: "Luigi Fanizzi – ECOACQUE. Impianti per la raccolta e l'utilizzo dell'acqua piovana per usi domestici diversi dal consumo umano: la nuova specifica tecnica UNI/TS 11445:2012."]

Secondo quanto riportato in figura 4.3, è possibile classificare ogni sistema di accumulo (tabella 4.3):

Tabella 4.3 - livello di efficienza idrica di ciascun sistema di accumulo per edificio monofamiliare

Volume serbatoio [l]	efficienza idrica
1000	C
3000	B
5000	A
10000	A

4.1.4.3 Costi e il tempo per ammortizzare il costo dell'impianto

Per calcolare il costo totale dell'impianto bisogna considerare i dispositivi necessari per il corretto funzionamento dell'impianto. I dispositivi, con i relativi prezzi, sono stati selezionati dal catalogo elbi [20] e sono riportati nelle seguenti tabelle:

- Impianto con serbatoio da 1000 l:

Tabella 4.4 - elenco dispositivi con i relativi costi per impianto edificio monofamiliare con serbatoio da 1000 l [fonte: "Elbi – Listino termoidraulica. Edizione n. 45 ITA Rev. Luglio 2020."]

codice articolo	descrizione	volume [l]	prezzo [€]	quantità
A590062 V0000	serbatoio RAIN BASIC compreso di: prolunga, filtro a castello, predisposizione per allacciamenti idraulici	1.000,00	890,00	1,00
L3A0039	centralina modello S + elettropompa "active switch 30/50M" compresa di: staffa fissaggio per parete e sensore di livello acqua con 20 m di cavo		2.150,00	1,00
L3A0085	kit di reintegro acqua piovana per serbatoi Rain: quadro elettrico con spie di livello, kit sonde, elettrovalvola		670,00	1,00
L39P003	pressoflussostato - manometro incorporato - pressione regolabile - protezione marcia a secco		170,00	1,00
totale			3.880,00	4,00

- Impianto con serbatoio da 3000 l:

Tabella 4.5 - elenco dispositivi con i relativi costi per impianto edificio monofamiliare con serbatoio da 3000 l [fonte: "Elbi – Listino termoidraulica. Edizione n. 45 ITA Rev. Luglio 2020."]

codice articolo	descrizione	volume [l]	prezzo [€]	quantità
A520074 V0000	serbatoio RAIN BASIC compreso di: prolunga, filtro autopulente, tubo di aspirazione con galleggiante, terminale decantatore, predisposizione per allacciamenti idraulici	3.000,00	2.040,00	1,00
L3A0039	centralina modello S + elettropompa "active switch 30/50M" compresa di: staffa fissaggio per parete e sensore di livello acqua con 20 m di cavo		2.150,00	1,00
L3A0085	kit di reintegro acqua piovana per serbatoi Rain: quadro elettrico con spie di livello, kit sonde, elettrovalvola		670,00	1,00
L39P003	pressoflussostato - manometro incorporato - pressione regolabile - protezione marcia a secco		170,00	1,00
totale			5.030,00	4,00

- Impianto con serbatoio da 5000 l:

Tabella 4.6 - elenco dispositivi con i relativi costi per impianto edificio monofamiliare con serbatoio da 5000 l [fonte: "Elbi – Listino termoidraulica. Edizione n. 45 ITA Rev. Luglio 2020."]

codice articolo	descrizione	volume [l]	prezzo [€]	quantità
A520074 V0000	serbatoio RAIN BASIC compreso di: prolunga, filtro autopulente, tubo di aspirazione con galleggiante, terminale decantatore, predisposizione per allacciamenti idraulici	5.000,00	2.800,00	1,00
L3A0039	centralina modello S + elettropompa "active switch 30/50M" compresa di: staffa fissaggio per parete e sensore di livello acqua con 20 m di cavo		2.150,00	1,00
L3A0085	kit di reintegro acqua piovana per serbatoi Rain: quadro elettrico con spie di livello, kit sonde, elettrovalvola		670,00	1,00
L39P003	pressoflussostato - manometro incorporato - pressione regolabile - protezione marcia a secco		170,00	1,00
totale			5.790,00	4,00

- Impianto con serbatoio da 10000 l:

Tabella 4.7 - elenco dispositivi con i relativi costi per impianto edificio monofamiliare con serbatoio da 10000 l [fonte: "Elbi – Listino termoidraulica. Edizione n. 45 ITA Rev. Luglio 2020."]

codice articolo	descrizione	volume [l]	prezzo [€]	quantità
A520092 V0000	serbatoio RAIN BASIC compreso di: prolunga, filtro autopulente, tubo di aspirazione con galleggiante, terminale decantatore, predisposizione per allacciamenti idraulici	10.000,00	5.700,00	1,00
L3A0039	centralina modello S + elettropompa "active switch 30/50M" compresa di: staffa fissaggio per parete e sensore di livello acqua con 20 m di cavo		2.150,00	1,00
L3A0085	kit di reintegro acqua piovana per serbatoi Rain: quadro elettrico con spie di livello, kit sonde, elettrovalvola		670,00	1,00
L39P003	pressoflussostato - manometro incorporato - pressione regolabile - protezione marcia a secco		170,00	1,00
totale			8.690,00	4,00

Per selezionare il modello più idoneo di pompa da installare nell'impianti di recupero dell'acqua piovana, è necessario conoscere il valore di portata e di prevalenza:

- La prevalenza si calcola con la seguente formula [4]:

$$H = K \cdot h_{edificio} = 2{,}4 \cdot 7{,}8\ m = 18{,}72\ m \quad (4.12)$$

  Dove:

  - *K*: è un coefficiente uguale a 2,4 per costruzioni che hanno un'altezza fino a 18 m, mentre si considera uguale a 2,1 per costruzioni che hanno un'altezza maggiore di 18 m;
  - $h_{edificio}$: è l'altezza dell'edificio [m] considerato il punto di installazione della pompa.
- Nell'edificio in esame si hanno 2 wc, uno situato al piano terra e l'altro al primo piano. I due wc hanno lo stesso montante e da normativa si ha una portata di progetto di 0,3 l/s per entrambi i wc.

Entrando nel diagramma a mosaico (figura 4.4), con i valori di prevalenza e portata ricavati, si determina la pompa da installare nell'impianto:

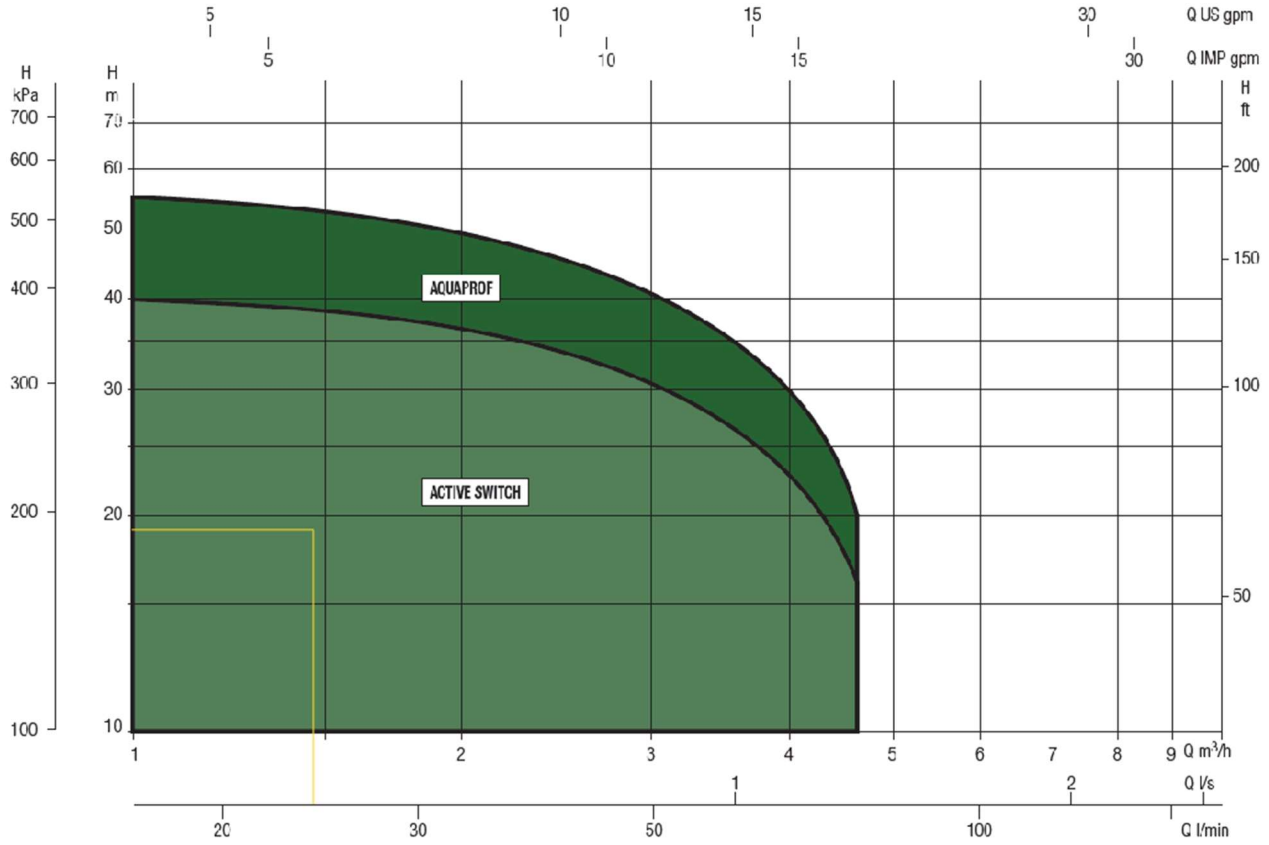

Figura 4.4 – diagramma a mosaico per scelta pompa per edificio monofamiliare [fonte: " Elbi – Pompe autoadescanti e centrifughe multistadio. ACTIVE SWITCH – impianti per l'utilizzo dell'acqua piovana"]

Dalla figura 4.5 si può osservare come si ricade nel campo delle pompe "active switch", quindi la suddetta unità sarà installata nell'edificio per l'impianto di recupero dell'acqua piovana.

L'unità "active switch" è composta da una pompa centrifuga autoadescante e ha il compito di gestione e distribuzione dell'acqua piovana. Per l'edificio in esame il sistema "active switch" deve fornire l'acqua piovana immagazzinata nel serbatoio per le cassette dei wc e a scopo irriguo. L'obiettivo dell'unità è quello di soddisfare le richieste dell'utenza con l'acqua immagazzinata nel serbatoio che, non essendo acqua potabile, avrà un impianto di tubazione diverso da quello in cui passa l'acqua potabile derivante dall'acquedotto e che viene utilizzata nell'appartamento per altre mansioni. Nel momento in cui non c'è sufficiente quantità di acqua nel serbatoio di accumulo dell'acqua piovana, l'unità di controllo ne rileva l'assenza e utilizza l'acqua dell'acquedotto per soddisfare la richiesta dell'utenza.

Tutto ciò, è possibile in quanto è presente un serbatoio dell'acqua di rete integrato che è collegato nel punto di aspirazione della pompa attraverso una valvola a tre vie (figura 4.5):

MATERIALI

N°	PARTICOLARI	MATERIALI
1	PANNELLO DI CONTROLLO POMPA	VEDI ACTIVE SYSTEM
2	USCITA ACQUA PRESSURIZZATA	PA 6.6 + 30% F.V.
3	ASPIRAZIONE ACQUA PIOVANA	TUBO FLESSIBILE IN ACCIAIO
4	VALVOLA A 3 VIE	CORPO VALVOLA: OTTONE MOLLE DI RITORNO: ACCIAIO COPERCHIO MOTORE: ABS AUTOESTINGUENTE
5	SERBATOIO RACCOLTA ACQUA DI RETE	PE
6	SCARICO SIFONE TROPPO PIENO	PP OMOPOLIMERO
7	POMPA	VEDI EUROINOX
8	INGRESSO ACQUA DI RETE	TUBO FLESSIBILE IN ACCIAIO
9	TAPPO DI CARICO POMPA	PPE / O-R IN NBR

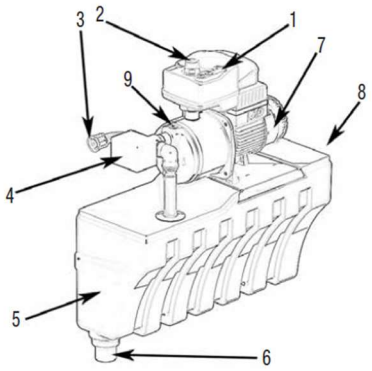

Figura 4.5 – descrizione componenti unità "active switch" [fonte: "Elbi – Pompe autoadescanti e centrifughe multistadio. ACTIVE SWITCH – impianti per l'utilizzo dell'acqua piovana"]

L'elettropompa presente nell'unità ha il funzionamento "start-stop" con flusso di controllo e di pressione, cioè la pompa si avvia quando il valore della pressione scende al di sotto di un valore prestabilito e si ferma nel momento in cui il rubinetto viene chiuso. Nel caso in cui non dovesse esserci acqua, la pompa smette di funzionare e segnala l'anomalia sul pannello di controllo e si riattiva quando le funzioni rientrano nei parametri. Nel sistema è presente anche un sifone antiodori e antisvuotamento.

Noto il costo dell'impianto, composto da serbatoi e dai dispositivi necessari per il corretto funzionamento (tabelle 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7), e il volume d'acqua totale recuperata Y_{totale} nei 30 anni analizzati, è possibile calcolare il numero di anni in cui verrà estinto il costo dell'impianto. Per calcolare il volume d'acqua recuperato ogni anno $Y_{a,medio}$ [l], grazie alla presenza del sistema di accumulo, bisogna dividere il volume d'acqua totale recuperato Y_{totale} nei 30 anni analizzati per il numero di anni consecutivi per cui si è fatta l'analisi:

$$Y_{a,medio} = \frac{Y_{totale}\,[l]}{1000 \cdot anni\ analizzati} = \left[\frac{m^3}{anno}\right] \quad (4.13)$$

Dalla formula 4.13 si nota come $Y_{a,medio}$ non è il volume effettivo recuperato ogni anno, ma è un valore mediato perché è stato ricavato dividendo per il numero di anni analizzati, quindi il suo valore viene considerato costante ogni anno.

Il risparmio del costo dell'acqua in bolletta annuale RCAB viene ricavato moltiplicando il volume $Y_{a,medio}$ per il costo dell'acqua del comune di Torino:

$$RCAB = Y_{a,medio}\left[\frac{m^3}{anno}\right] \cdot costo\ acqua\left[\frac{€}{m^3}\right] = \left[\frac{€}{anno}\right] \quad (4.14)$$

Il risparmio del costo dell'acqua in bolletta annuale *RCAB*, è la quantità di denaro che l'utente utilizzerà ogni anno per ammortizzare il costo dell'impianto, quindi, fin quando non si sarà saldato la spesa dell'impianto, non si avrà alcun risparmio da parte dell'utente che ha acquistato l'impianto di recupero dell'acqua piovana.

Il costo dell'acqua del comune di Torino è dell'anno 2017 ed è pari a 1,93 €/m^3 [22]. Tale costo è comprensivo di: servizio dell'acquedotto, servizio di fognatura, servizio di depurazione, una quota fissa e Iva al 10% [22]. Per i calcoli effettuati nel seguente paragrafo, si ipotizza che il costo dell'acqua del comune di Torino rimane costante per ogni anno in cui si effettua l'analisi.

È importante conoscere il tempo in cui l'impianto di recupero dell'acqua piovana verrà ammortizzato, considerando il risparmio di costo dell'acqua in bolletta (*RCAB*) che si avrà ogni anno grazie alla quantità d'acqua recuperata dall'impianto. Il tempo per ammortizzare il costo dell'impianto, vengono calcolati con la formula 4.15:

$$Tempo\ per\ ammortizzare\ costo\ impianto = \frac{CI\ [€]}{RCAB\left[\frac{€}{anno}\right]} = [anni] \quad (4.15)$$

Dove:

- CI: è il costo dell'impianto [€].

Il tempo in cui vengono ammortizzati i quattro sistemi sono riportati nella tabella 4.8:

Tabella 4.8 – tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Torino

Torino	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	75
3000	68
5000	69
10000	92

4.1.4.4 Riduzione picchi di volume in fognatura

Il sistema di accumulo dell'acqua piovana permette di ridurre il volume che andrebbe in fognatura ogni giorno in cui si presenta un evento di pioggia, in quanto l'acqua che cade sul tetto dell'edificio viene convogliata nel serbatoio dell'impianto per essere successivamente ridistribuita per uso dei wc o per l'irrigazione.

Per capire quanta acqua viene sfiorata dal serbatoio e va a finire in fognatura, bisogna calcolare il volume d'acqua giornaliero sfiorato $V_{D,t}$ [l] attraverso la seguente formula [19]:

$$V_{D,t} = max\begin{cases} 0 \\ Q_t + V_{t-1} - S \end{cases} \quad (4.16)$$

Dove:

- Q_t: è l'afflusso meteorico giornaliero [l];
- V_{t-1}: è il volume d'acqua immagazzinato nel serbatoio all'istante precedente [l];
- S: è la capacità del serbatoio [l].

Quando il valore massimo del volume sfiorato $V_{D,t}$ (formula 4.16) è pari a 0, significa che il serbatoio non sta sfiorando, mentre quando il volume $V_{D,t}$ è uguale alla seconda equazione ($Q_t + V_{t-1} - S$) il serbatoio sfiora, mandando l'acqua in fognatura.

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti facendo la differenza tra l'afflusso meteorico giornaliero Q_t e il volume giornaliero sfiorato $V_{D,t}$ nei 30 anni di analisi:

- Impianto con serbatoio da 1000 l:

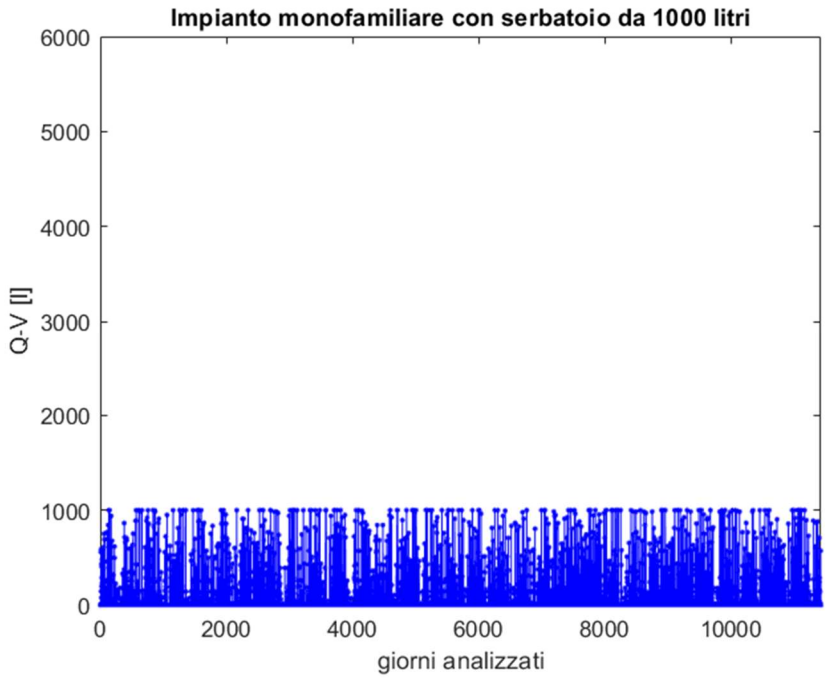

Figura 4.6 - diagramma riduzione picchi di volume in fognatura dovuto a un impianto 1000 l

- Impianto con serbatoio da 3000 l:

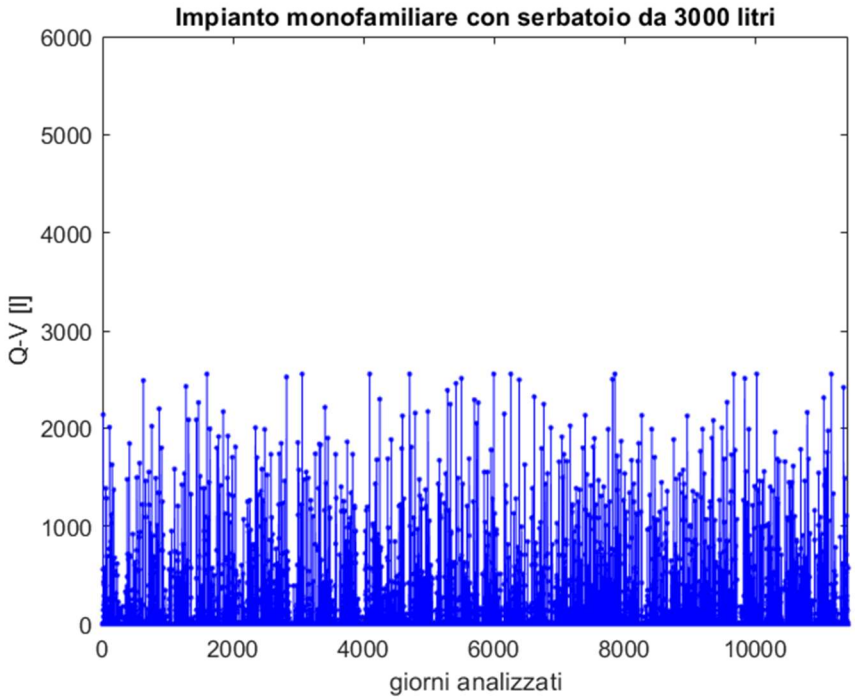

Figura 4.7 - diagramma riduzione picchi di volume in fognatura dovuto a un impianto 3000 l

- Impianto con serbatoio da 5000 l:

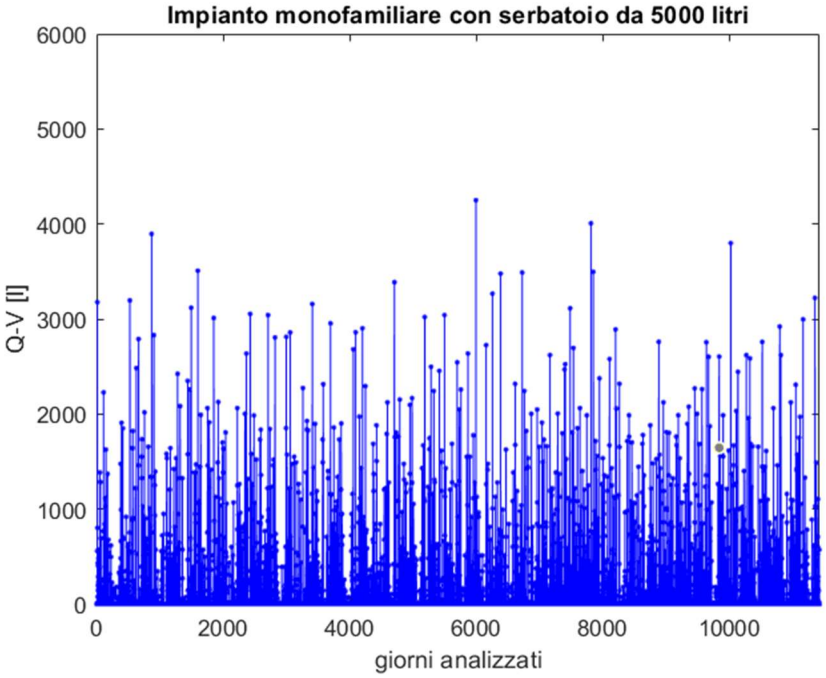

Figura 4.8 - diagramma riduzione picchi di volume in fognatura dovuto a un impianto 5000 l

- Impianto con serbatoio da 10000 l:

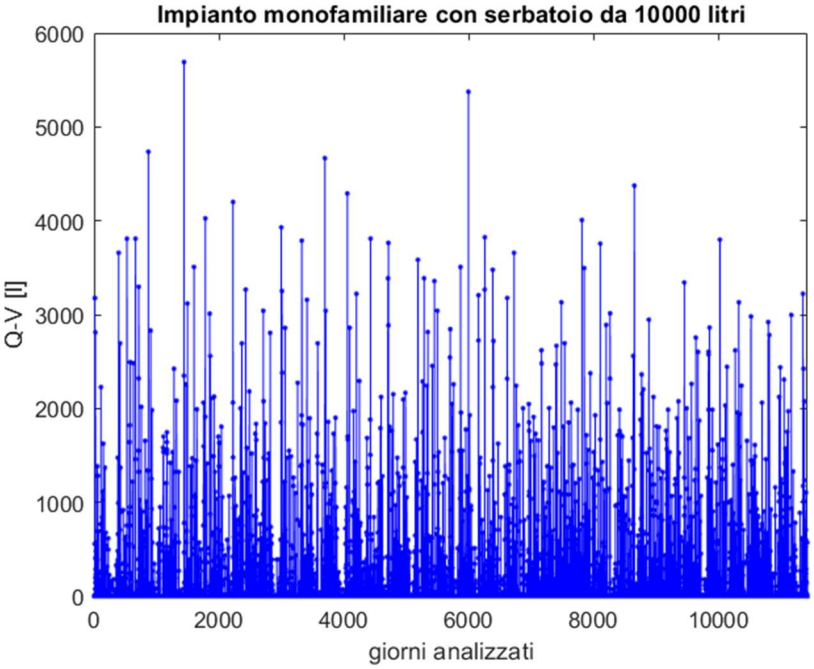

Figura 4.9 - diagramma riduzione picchi di volume in fognatura dovuto a un impianto 10000 l

Nei diagrammi sopra rappresentati, è riportata la quantità di acqua che viene trattenuto dall'afflusso meteorico da ciascun serbatoio e che quindi non va a finire in fognatura in quell'istante di tempo. I valori riportati nei grafici aumentano, passando da un serbatoio di capacità pari a 1000 l a uno di 10000 l, cioè vi è un aumento della quantità di acqua trattenuta dal serbatoio installato nel sistema di accumulo.

4.2 Dimensionamento serbatoio edificio plurifamiliare

L'edificio in questione è abitato da 60 persone ed è composto da: 2 piani interrati utilizzati come garage, il piano terra e 4 piani dove sono presenti 5 appartamenti per piano. I 4 piani abitati sono divisi allo stesso modo e la piantina è riportata in figura 4.10.

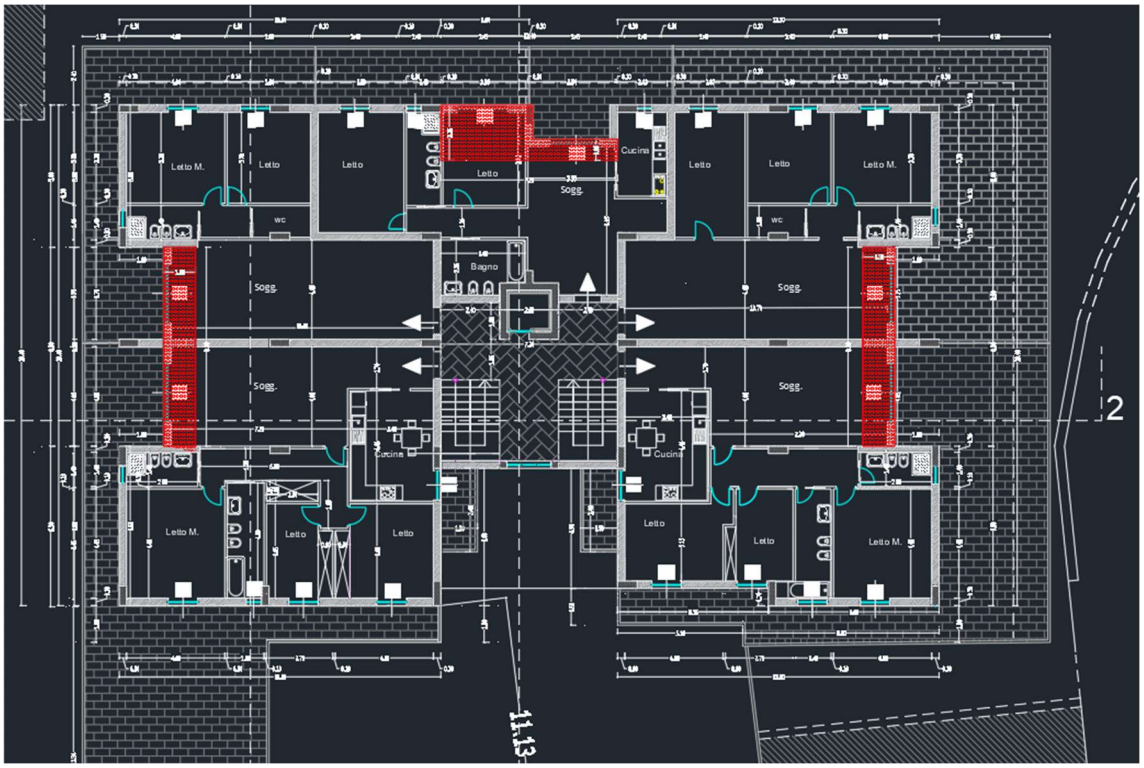

Figura 4.10 - pianta primo, secondo, terzo e quarto piano edifico plurifamiliare

Il dimensionamento del serbatoio è stato effettuato considerando solo il "Metodo analitico", descritto nella norma "UNI/TS 11445, Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano, progettazione, installazione e manutenzione, maggio 2012", in quanto la normativa impone l'utilizzo di questo metodo per edifici plurifamiliari. Come precedentemente detto, avendo supposto che l'edificio è collocato a Torino sono necessari i dati pluviometrici, a scala giornaliera, per una durata minima di 30 anni consecutivi di registrazione.

4.2.1 Metodo analitico: Yield After Spillage

I dati utilizzati per la simulazione numerica, sono la somma dei dati misurati da due differenti stazioni pluviometriche di Torino: "Torino Buon Pastore" dal 1989 al 2004 e "Torino Giardini Reali" dal 2004 al 2020. L'intervallo temporale è a scala giornaliera così da simulare nel miglior modo possibile come si comporta il sistema nella fase di esercizio.

4.2.1.1 Applicazione del metodo analitico

Il procedimento per l'applicazione del metodo analitico è uguale a quanto visto per l'edificio monofamiliare (paragrafo 4.1.4.1), ma cambiano il valore di alcuni fattori. Di seguito viene spiegato il procedimento di calcolo:

1. L'afflusso meteorico giornaliero Q_t si calcola con la formula 4.7. In questo caso il tetto dell'edificio non è a falda ma piano, infatti il coefficiente di afflusso ϕ da normativa [15] è pari a 0,7, mentre la superficie di captazione A è pari a 631,51 m^2;
2. La richiesta d'acqua giornaliera R_t si calcola con la formula 4.9, come la somma della richiesta d'acqua giornaliera ad uso domestico e irriguo. Al contrario dell'edificio monofamiliare, non sono presenti giardini, quindi non viene calcolata la richiesta d'acqua giornaliera ad uso irriguo $R_{i,t}$;
   In questo caso, la richiesta d'acqua giornaliera R_t coincide con la richiesta d'acqua giornaliera ad uso domestico $R_{d,t}$:
   $$R_t = R_{d,t} \quad (4.17)$$
3. Si prosegue calcolando il volume giornaliero erogato Y_t (formula 4.10) e il volume giornaliero immagazzinato V_t (formula 4.11).

   La scelta della capacità S del serbatoio dovrebbe essere fatta considerando la quantità di acqua recuperata nel serbatoio e il costo dell'impianto. In questo caso sono stati utilizzati nell'analisi 4 serbatoi con un volume di: 5000 l, 10000 l, 25000 l e 40000 l. Essendo pre-allestiti anche i serbatoi utilizzati per il condominio, il volume utile di ciascun serbatoio è pari a [20]:
   - serbatoio da 5000 l, ha una riduzione di volume del 15%, cioè il volume utile è 4250 l;
   - serbatoi da 10000 l, 25000 l e 40000 l si considera una riduzione del 10%, quindi il volume utile dei serbatoi sono, rispettivamente, uguali a 9000 l, 22500 l e 36000 l.

4.2.1.2 Risultati ottenuti dal metodo YAS

Con il metodo *YAS* si ricava il volume d'acqua totale recuperato Y_{totale}, che non è altro che la sommatoria del volume d'acqua giornaliero erogato Y_t durante i 30 anni, e il volume d'acqua totale richiesto R_{totale} nei 30 anni analizzati. Attraverso il rapporto dei due parametri appena descritti, è possibile ricavare W_s.

Attraverso il metodo appena descritto si sono ottenuti i risultati che sono riportati in tabella 4.9:

Tabella 4.9 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato a Torino

Torino			
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**
5000	4.920.300	27.410.400	18
10000	7.359.600	27.410.400	27
25000	10.411.000	27.410.400	38
40000	11.565.000	27.410.400	42

Il coefficiente W_s definisce il livello di efficienza idrica dell'impianto, quindi considerando la classificazione illustrata precedentemente in figura 4.3, si hanno i seguenti livelli:

Tabella 4.10 - livello di efficienza idrica di ciascun sistema di accumulo per edificio plurifamiliare

Volume serbatoio [l]	efficienza idrica
5000	E
10000	D
25000	D
40000	C

4.2.1.3 Costi e il tempo per ammortizzare il costo dell'impianto

Anche per l'edificio plurifamiliare si è fatta un'analisi dei costi dei quattro differenti impianti per andare a calcolare gli anni in cui l'impianto verrà ammortizzato. I dispositivi scelti per il corretto funzionamento dell'impianto, sono riportati nelle tabelle sotto riportate [20]:

- Impianto con serbatoio da 5000 l:

Tabella 4.11 - elenco dispositivi con i relativi costi per impianto edificio plurifamiliare con serbatoio da 5000 l [fonte: "Elbi – Listino termoidraulica. Edizione n. 45 ITA Rev. Luglio 2020."]

codice articolo	descrizione	volume [l]	prezzo [€]	quantità
A520092 V0000	serbatoio RAIN BASIC compreso di: prolunga, tubo di aspirazione con galleggiante, terminale decantatore, predisposizione per allacciamenti idraulici	5.000,00	2.060,00	1
L3A0039	centralina modello S + elettropompa "active switch 30/50M" compresa di: staffa fissaggio per parete e sensore di livello acqua con 20 m di cavo		10.750,00	1
L3A0085	kit di reintegro acqua piovana per serbatoi Rain: quadro elettrico con spie di livello, kit sonde, elettrovalvola		670,00	1
L39P003	pressoflussostato - manometro incorporato - pressione regolabile - protezione marcia a secco		170,00	1
L3A0032	filtro per acqua piovana interno cisterna (fino a 650 m^2)		1.380,00	1
totale			15.030,00	5

- Impianto con serbatoio da 10000 l:

Tabella 4.12 - elenco dispositivi con i relativi costi per impianto edificio plurifamiliare con serbatoio da 10000 l [fonte: "Elbi – Listino termoidraulica. Edizione n. 45 ITA Rev. Luglio 2020."]

codice articolo	descrizione	volume [l]	prezzo [€]	quantità
A520092 V0000	serbatoio RAIN BASIC compreso di: prolunga, tubo di aspirazione con galleggiante, terminale decantatore, predisposizione per allacciamenti idraulici	10.000,00	4.960,00	1
L3A0039	centralina modello S + elettropompa "active switch 30/50M" compresa di: staffa fissaggio per parete e sensore di livello acqua con 20 m di cavo		10.750,00	5
L3A0085	kit di reintegro acqua piovana per serbatoi Rain: quadro elettrico con spie di livello, kit sonde, elettrovalvola		670,00	1
L39P003	pressoflussostato - manometro incorporato - pressione regolabile - protezione marcia a secco		170,00	1
L3A0032	filtro per acqua piovana interno cisterna (fino a 650 m^2)		1.380,00	1
totale			17.930,00	9

- Impianto con serbatoio da 25000 l:

Tabella 4.13 - elenco dispositivi con i relativi costi per impianto edificio plurifamiliare con serbatoio da 25000 l [fonte: "Elbi – Listino termoidraulica. Edizione n. 45 ITA Rev. Luglio 2020."]

codice articolo	descrizione	volume [l]	prezzo [€]	quantità
A520095 V0000	serbatoio RAIN BASIC compreso di: tubo di aspirazione con galleggiante, terminale decantatore, predisposizione per allacciamenti idraulici	25.000,00	13.200,00	1
L3A0039	centralina modello S + elettropompa "active switch 30/50M" compresa di: staffa fissaggio per parete e sensore di livello acqua con 20 m di cavo		10.750,00	1
L3A0085	kit di reintegro acqua piovana per serbatoi Rain: quadro elettrico con spie di livello, kit sonde, elettrovalvola		670,00	1
L39P003	pressoflussostato - manometro incorporato - pressione regolabile - protezione marcia a secco		170,00	1
L3A0032	filtro per acqua piovana interno cisterna (fino a 650 m^2)		1.380,00	1
totale			26.170,00	5

- Impianto con serbatoio da 40000 l:

Tabella 4.14 - elenco dispositivi con i relativi costi per impianto edificio plurifamiliare con serbatoio da 40000 l [fonte: "Elbi – Listino termoidraulica. Edizione n. 45 ITA Rev. Luglio 2020."]

codice articolo	descrizione	volume [l]	prezzo [€]	quantità
A520098 V0000	serbatoio RAIN BASIC compreso di: tubo di aspirazione con galleggiante, terminale decantatore, predisposizione per allacciamenti idraulici	40.000,00	21.700,00	1
L3A0039	centralina modello S + elettropompa "active switch 30/50M" compresa di: staffa fissaggio per parete e sensore di livello acqua con 20 m di cavo		10.750,00	1
L3A0085	kit di reintegro acqua piovana per serbatoi Rain: quadro elettrico con spie di livello, kit sonde, elettrovalvola		670,00	1
L39P003	pressoflussostato - manometro incorporato - pressione regolabile - protezione marcia a secco		170,00	1
L3A0032	filtro per acqua piovana interno cisterna (fino a 650 m^2)		1.380,00	1
totale			34.670,00	5

Per gli impianti di accumulo dell'acqua piovana per l'edificio plurifamiliare, si utilizza un filtro diverso (tabella 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14) rispetto a quello del sistema monofamiliare (tabella 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7), perché la superficie di captazione *A* è maggiore di 200 m^2.

La scelta della pompa è stata effettuata dopo aver ottenuto i valori di portata e prevalenza:

- La prevalenza si calcola con la seguente formula [4]:

$$H = K \cdot h_{edificio} = 2{,}4 \cdot \ 14{,}62 = 35{,}1\ m \qquad (4.18)$$

- Nell'edificio sono presenti 5 appartamenti in ognuno dei 4 piani per un totale di 8 wc per piano. Essendo presenti 5 colonne montanti, dovrò disporre 5 pompe con una portata di progetto pari a 0,3 l/.

La pompa si sceglie attraverso il diagramma a mosaico in figura 4.11, utilizzando i valori di prevalenza e di portata sopra calcolati:

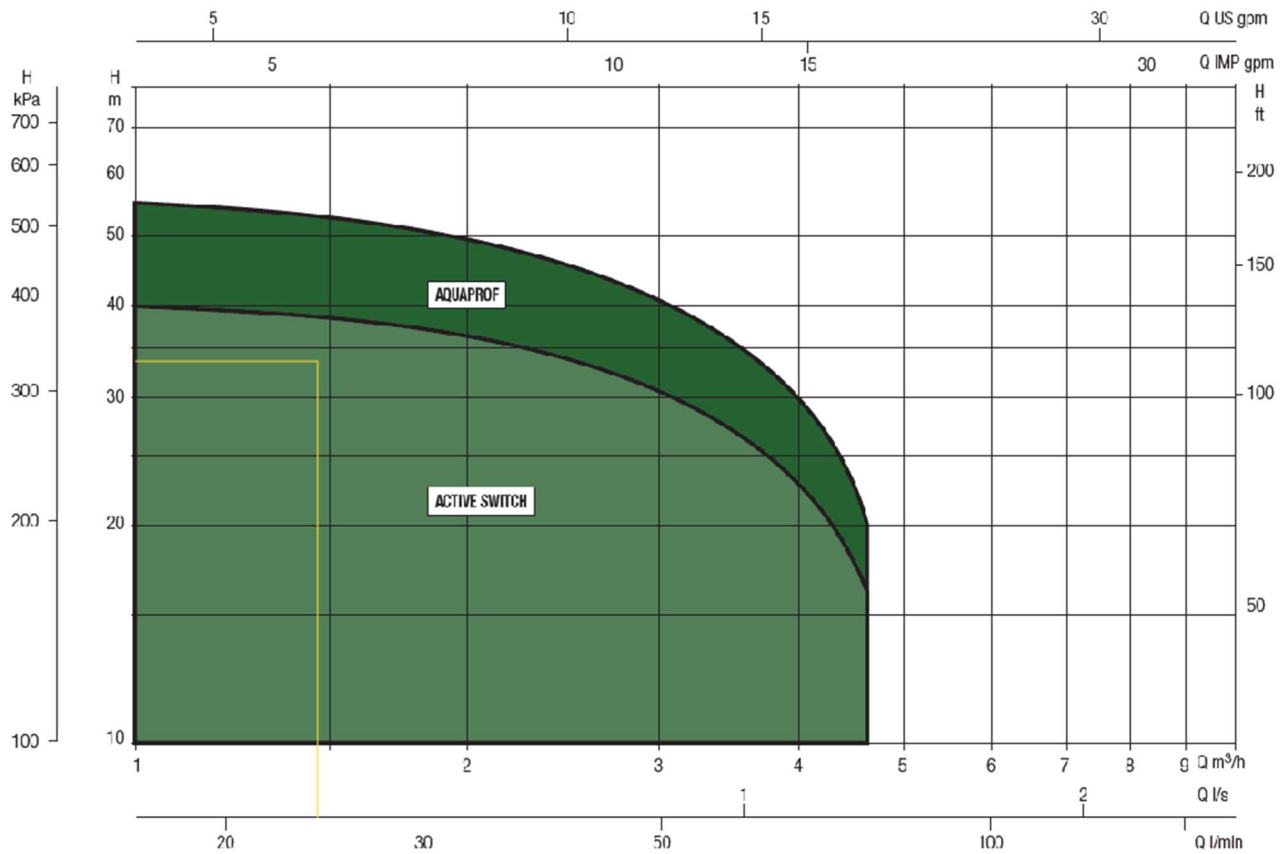

Figura 4.11 - diagramma a mosaico per scelta pompa per edificio plurifamiliare [fonte: " Elbi – Pompe autoadescanti e centrifughe multistadio. ACTIVE SWITCH – impianti per l'utilizzo dell'acqua piovana"]

Come nel caso precedente, nell'edificio plurifamiliare verrà installata la pompa "active switch", la cui descrizione è presente al paragrafo 4.1.4.3.

Per poter calcolare il numero di anni in cui l'impianto verrà ammortizzato, è necessario calcolare il volume d'acqua recuperato ogni anno $Y_{a,medio}$ per ciascuno dei 4 impianti, utilizzando la formula 4.13. Successivamente, conoscendo il volume d'acqua recuperato ogni anno $Y_{a,medio}$ e il costo dell'acqua del comune di Torino, pari a 1,93 €/m^3 [22], si calcola il risparmio costo acqua in bolletta annuale *RCAB*; quest'ultimo è riferito all'intero condominio, non alla singola famiglia. Come nel caso dell'edificio monofamiliare (paragrafo 4.1.4.3), i calcoli vengono svolti ipotizzando che il costo dell'acqua del comune di Torino rimane costante per ogni anno in cui si effettua l'analisi. Quanto detto per l'edificio monofamiliare, vale anche per l'edificio plurifamiliare, in quanto fin quando il costo dell'impianto non sarà completamente saldato non ci sarà alcun risparmio per l'utente. Il parametro appena citato servirà per calcolare il tempo per ammortizzare il costo dell'impianto, utilizzando la formula 4.19:

$$Tempo\ per\ ammortizzare\ costo\ impianto = \frac{CI\ [€]}{RCAB\left[\frac{€}{anno}\right]} = [anni] \qquad (4.19)$$

Tabella 4.15 – tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Torino

Torino	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	47
10000	38
25000	39
40000	47

4.2.1.4 Riduzione picchi di volume in fognatura

La medesima analisi condotta al paragrafo 4.1.4.4, è stata condotta per l'edificio abitato da più famiglie in modo da vedere quanto vengono ridotti i picchi di volume che entrano in fognatura nei 30 anni di pioggia, a scala giornaliera, considerando che i serbatoi per l'edificio in esame hanno una maggiore capacità. Il volume giornaliero sfiorato $V_{D,t}$ è stato calcolato attraverso la seguente formula [19]:

$$V_{D,t} = max\begin{cases} 0 \\ Q_t + V_{t-1} - S \end{cases} \quad (4.20)$$

Dove:

- Q_t: è l'afflusso meteorico giornaliero [l];
- V_{t-1}: è il volume d'acqua immagazzinato nel serbatoio all'istante precedente [l];
- S: è la capacità del serbatoio [l].

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti facendo la differenza tra l'afflusso meteorico giornaliero Q_t e il volume giornaliero sfiorato $V_{D,t}$ nei 30 anni di analisi:

- Impianto con serbatoio da 5000 l:

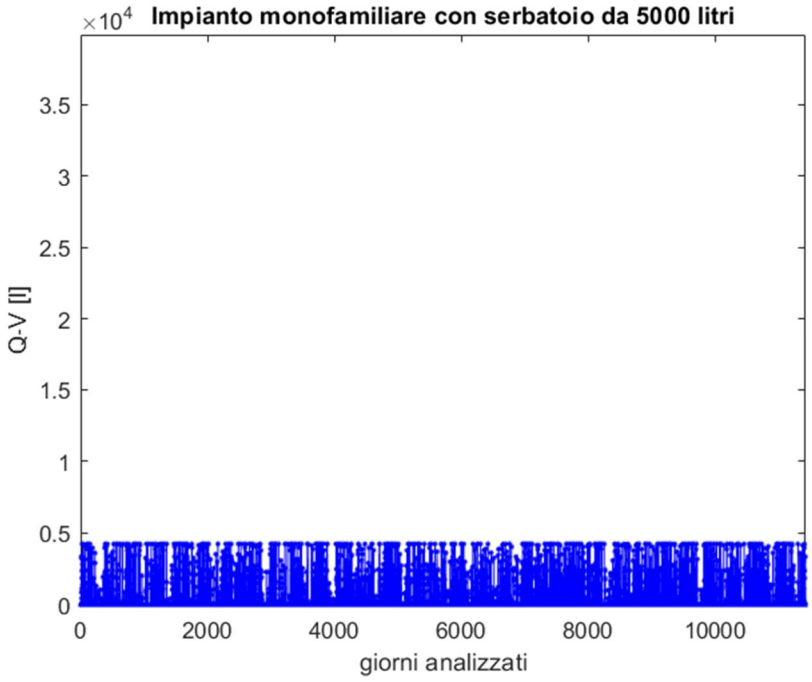

Figura 4.12 - diagramma riduzione picchi di volume dovuto a un impianto 5000 l

- Impianto con serbatoio da 10000 l:

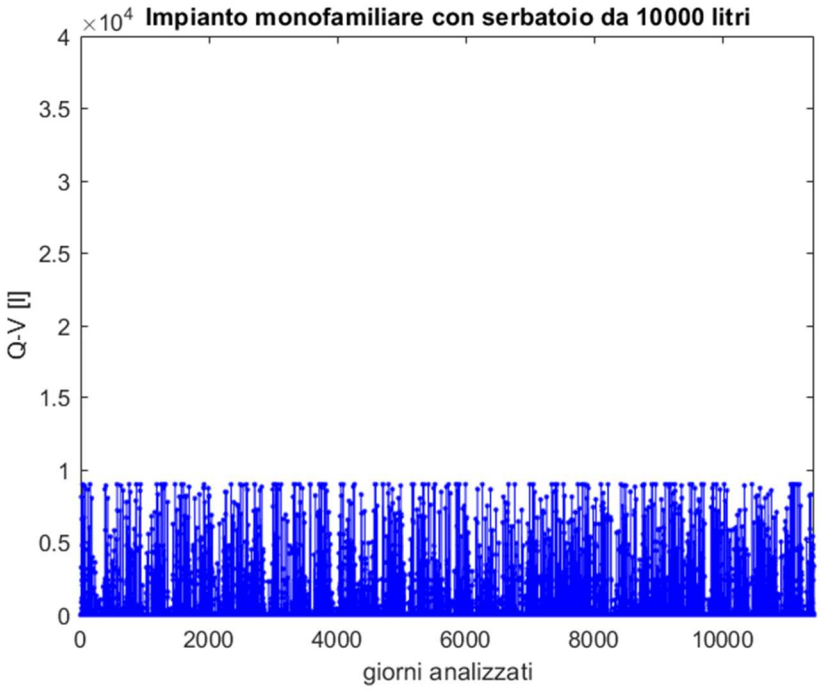

Figura 4.13 - diagramma riduzione picchi di volume dovuto a un impianto 10000 l

- Impianto con serbatoio da 25000 l:

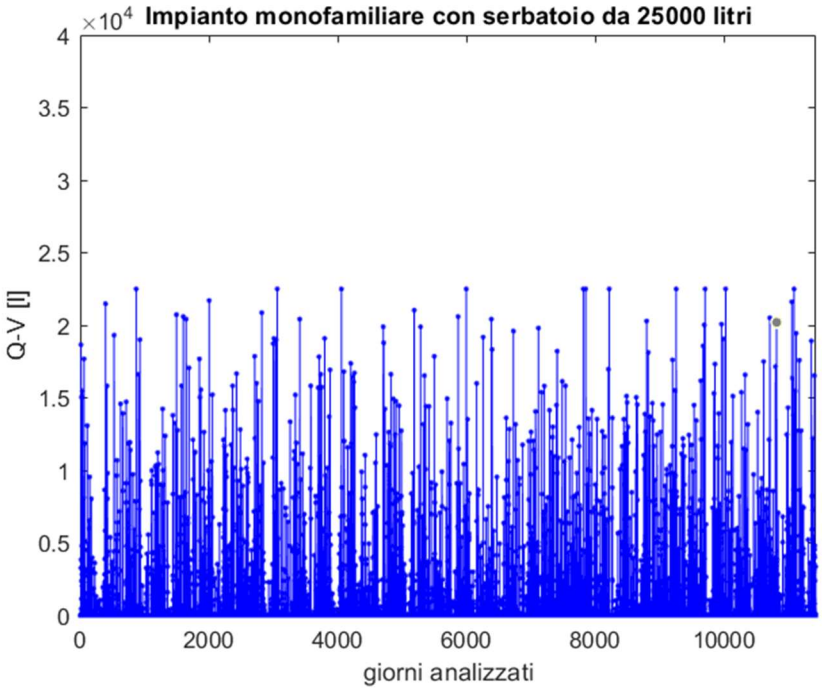

Figura 4.14 - diagramma riduzione picchi di volume dovuto a un impianto 25000 l

- Impianto con serbatoio da 40000 l:

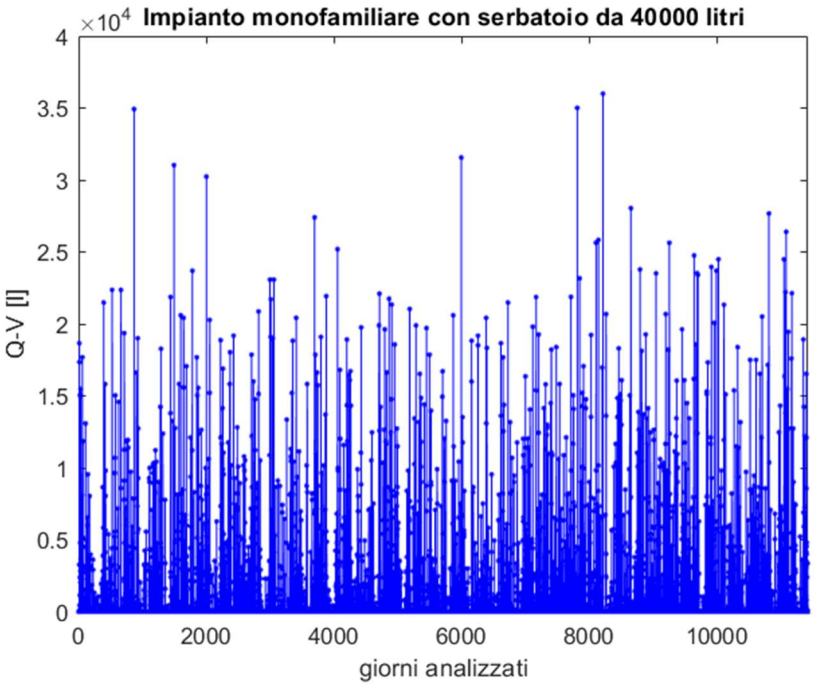

Figura 4.15 - diagramma riduzione picchi di volume dovuto a un impianto 40000 l

Anche nel caso dell'edificio plurifamiliari, si può osservare come all'aumentare della capacità del serbatoio, aumenta il volume di acqua trattenuto dal serbatoio installato nel sistema di accumulo.

4.3 Impianto di recupero dell'acqua piovana in altri capoluoghi italiani di regione

Si è deciso di estendere l'analisi su altri capoluoghi italiani di regione, collocando l'edificio monofamiliare e plurifamiliare in altri capoluoghi. I sistemi rimangono gli stessi utilizzati a Torino, ovvero serbatoi da 1000 l, 3000 l, 5000 l e 10000 l per l'edificio monofamiliare (tabella 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7) e da 5000 l, 10000 l, 25000 l e 40000 l per l'edificio plurifamiliare (tabella 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14). L'obiettivo è quello di vedere in quanto tempo i sistemi, scelti per Torino, vengono ammortizzati nel tempo negli altri capoluoghi; considerando che le uniche differenze che si hanno tra i capoluoghi sono i dati pluviometrici e costi dell'acqua.

I capoluoghi in cui è stata condotta l'analisi sono i seguenti: Ancona, Aosta, Bari, Bologna, Cagliari, Campobasso, Catanzaro, Firenze, Genova, L'Aquila, Milano, Napoli, Palermo, Perugia, Potenza, Roma, Torino, Trento, Trieste, Venezia.

4.3.1 Edificio monofamiliare

Per ciascun capoluogo è stato utilizzato il metodo *YAS* (Yield After Spillage), descritto nel paragrafo 4.1.4.1, perché trattandosi dello stesso edificio monofamiliare i fattori utilizzati nei calcoli rimangono gli stessi impiegati per Torino, eccetto i dati pluviometrici che cambiano in ciascun capoluogo. Tale metodo permette di ricavare il volume d'acqua totale recuperato Y_{totale} nei 30 anni analizzati dai 4 differenti sistemi di recupero dell'acqua piovana. Ovviamente, per effettuare i calcoli è stato necessario procurarsi i dati pluviometrici di ciascun capoluogo di provincia; non per tutti i capoluoghi è stato possibile avere 30 anni di registrazione consecutivi.

I risultati ottenuti, per ogni capoluogo, con il metodo *YAS* sono riportati nelle seguenti tabelle:

Tabella 4.16 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato ad Ancona

Ancona				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	570.660	1.118.200	51	C
3000	766.650	1.118.200	69	B
5000	849.140	1.118.200	76	B
10000	964.360	1.118.200	86	A

Tabella 4.17 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato ad Aosta

Aosta				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	513.820	1.200.100	43	C
3000	695.050	1.200.100	58	C
5000	773.000	1.200.100	64	B
10000	849.520	1.200.100	71	B

Tabella 4.18 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato a Bari

Bari				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	409.240	1.026.700	40	C
3000	552.980	1.026.700	54	C
5000	617.460	1.026.700	60	B
10000	695.250	1.026.700	68	B

Tabella 4.19 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato a Bologna

Bologna				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	479.320	939.650	51	C
3000	675.170	939.650	72	B
5000	762.570	939.650	81	A
10000	865.680	939.650	92	A

Tabella 4.20 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato a Cagliari

Cagliari				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	552.550	1.618.400	34	D
3000	718.200	1.618.400	44	C
5000	782.000	1.618.400	48	C
10000	842.300	1.618.400	52	C

Tabella 4.21 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato a Campobasso

Campobasso				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	697.000	1.483.200	47	C
3000	920.750	1.483.200	62	B
5000	1.016.500	1.483.200	69	B
10000	1.120.300	1.483.200	76	B

Tabella 4.22 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato a Catanzaro

Catanzaro				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	516.120	1.022.300	50	C
3000	689.440	1.022.300	67	B
5000	773.640	1.022.300	76	B
10000	870.680	1.022.300	85	A

Tabella 4.23 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato a Firenze

Firenze				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	575.790	1.070.900	54	C
3000	795.710	1.070.900	74	B
5000	882.700	1.070.900	82	A
10000	976.950	1.070.900	91	A

Tabella 4.24 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato a Genova

Genova				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	827.210	1.618.400	51	C
3000	1.193.600	1.618.400	74	B
5000	1.348.600	1.618.400	83	A
10000	1.529.900	1.618.400	95	A

Tabella 4.25 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato a Milano

Milano				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	756.200	1.457.800	52	C
3000	1.057.500	1.457.800	73	B
5000	1.191.300	1.457.800	82	A
10000	1.337.700	1.457.800	92	A

Tabella 4.26 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato a Napoli

Napoli				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	825.580	1.618.400	51	C
3000	1.132.300	1.618.400	70	B
5000	1.257.900	1.618.400	78	B
10000	1.421.700	1.618.400	88	A

Tabella 4.27 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato a Palermo

Palermo				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	659.290	1.570.800	42	C
3000	867.750	1.570.800	55	C
5000	960.920	1.570.800	61	B
10000	1.070.200	1.570.800	68	B

Tabella 4.28 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato a Perugia

Perugia				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	927.160	1.617.400	57	C
3000	1.248.600	1.617.400	77	B
5000	1.375.100	1.617.400	85	A
10000	1.525.200	1.617.400	94	A

Tabella 4.29 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato a Potenza

Potenza				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	435.850	939.510	46	C
3000	572.950	939.510	61	B
5000	632.740	939.510	67	B
10000	683.860	939.510	73	B

Tabella 4.30 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato a Roma

Roma				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	788.940	1.559.400	51	C
3000	1.083.900	1.559.400	70	B
5000	1.209.100	1.559.400	78	B
10000	1.365.100	1.559.400	88	A

Tabella 4.31 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato a Trento

Trento				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	871.320	1.566.300	56	C
3000	1.198.200	1.566.300	76	B
5000	1.327.000	1.566.300	85	A
10000	1.467.700	1.566.300	94	A

Tabella 4.32 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato a Trieste

Trieste				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	765.980	1.346.000	57	C
3000	1.039.900	1.346.000	77	B
5000	1.147.800	1.346.000	85	A
10000	1.269.800	1.346.000	94	A

Tabella 4.33 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio monofamiliare situato a Venezia

Venezia				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
1000	474.310	1.026.700	46	C
3000	667.200	1.026.700	65	B
5000	759.190	1.026.700	74	B
10000	869.420	1.026.700	85	A

I dispositivi che compongono l'impianto, il relativo costo e il procedimento per calcolare gli anni in cui i sistemi vengono ammortizzati, rimangono gli stessi descritti e presenti nelle tabelle del paragrafo 4.1.4.3. L'unica differenza che si ha rispetto allo studio effettuato a Torino sono i costi dell'acqua, che cambiano in ciascun capoluogo, e si ipotizza che ciascun costo rimanga costante per ogni anno in cui si effettua l'analisi.

I costi dell'acqua sono riportati nella tabella 4.34 [22]:

Tabella 4.34 – costo acqua del 2017 comprensivo di: servizio dell'acquedotto, servizio di fognatura, servizio di depurazione, una quota fissa e Iva al 10% [fonte: "Il servizio idrico integrato – 13° indagine a cura dell'Osservatorio prezzi e tariffe di Cittadinanzattiva. Marzo 2018"]

Capoluogo	**Costo [€/m^3]**
Ancona	2,32
Aosta	1,36
Bari	2,58
Bologna	2,19
Cagliari	2,12
Campobasso	0,86
Catanzaro	1,21
Firenze	3,53
Genova	2,83
Milano	0,78
Napoli	1,42
Palermo	1,64
Perugia	2,62
Potenza	1,71
Roma	1,64
Trento	0,77
Trieste	2,36
Venezia	1,74

Il tempo per ammortizzare il costo di ciascun impianto per ogni capoluogo sono riportati nelle tabelle seguenti:

Tabella 4.35 – tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare ad Ancona

Ancona	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	62
3000	59
5000	62
10000	82

Tabella 4.36 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare ad Aosta

Aosta	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	122
3000	117
5000	121
10000	165

Tabella 4.37 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Bari

Bari	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	70
3000	67
5000	69
10000	92

Tabella 4.38 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Bologna

Bologna	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	63
3000	58
5000	59
10000	78

Tabella 4.39 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Cagliari

Cagliari	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	99
3000	99
5000	105
10000	146

Tabella 4.40 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Campobasso

Campobasso	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	181
3000	178
5000	185
10000	253

Tabella 4.41 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Catanzaro

Catanzaro	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	118
3000	115
5000	118
10000	157

Tabella 4.42 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Firenze

Firenze	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	40
3000	38
5000	39
10000	53

Tabella 4.43 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Genova

Genova	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	50
3000	45
5000	46
10000	60

Tabella 4.44 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Milano

Milano	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	197
3000	183
5000	187
10000	250

Tabella 4.45 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Napoli

Napoli	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	99
3000	94
5000	97
10000	129

Tabella 4.46 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Palermo

Palermo	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	108
3000	106
5000	110
10000	149

Tabella 4.47 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Perugia

Perugia	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	48
3000	46
5000	48
10000	65

Tabella 4.48 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Potenza

Potenza	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	89
3000	87
5000	91
10000	126

Tabella 4.49 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Roma

Roma	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	90
3000	85
5000	88
10000	116

Tabella 4.50 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Trento

Trento	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	173
3000	164
5000	170
10000	231

Tabella 4.51 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Trieste

Trieste	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	56
3000	53
5000	56
10000	75

Tabella 4.52 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Venezia

Venezia	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
1000	89
3000	82
5000	83
10000	109

4.3.2 Edificio plurifamiliare

Per ciascun capoluogo è stato utilizzato il metodo *YAS* (Yield After Spillage), descritto nel paragrafo 4.2.1.1, per ricavare il volume d'acqua totale recuperato Y_{totale} nei 30 anni analizzati dai 4 differenti sistemi di recupero dell'acqua piovana. Ovviamente, per effettuare i calcoli è stato necessario procurarsi i dati pluviometrici di ciascun capoluogo di provincia, in quanto, avendo considerato lo stesso edificio pluripiano, gli unici parametri che cambiano per lo svolgimento del metodo analitico, sono i dati pluviometrici dei capoluoghi; non per tutti i capoluoghi è stato possibile avere 30 anni di registrazione consecutivi.

I risultati ottenuti con il metodo *YAS*, per ciascun capoluogo, sono riportati nelle seguenti tabelle:

Tabella 4.53 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato ad Ancona

Ancona				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
5000	3.334.300	18.775.200	18	E
10000	4.734.100	18.775.200	25	D
25000	6.069.000	18.775.200	32	D
40000	6.510.800	18.775.200	35	D

Tabella 4.54 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato ad Aosta

Aosta				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
5000	2.894.300	20.150.400	14	E
10000	3.993.800	20.150.400	20	D
25000	4.855.000	20.150.400	24	D
40000	5.055.600	20.150.400	25	D

Tabella 4.55 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato a Bari

Bari				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
5000	2.323.800	17.239.200	13	E
10000	3.220.000	17.239.200	19	E
25000	4.039.600	17.239.200	23	D
40000	4.271.400	17.239.200	25	D

Tabella 4.56 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato a Bologna

Bologna				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
5000	2.812.600	15.777.600	18	E
10000	4.169.300	15.777.600	26	D
25000	5.555.200	15.777.600	35	D
40000	5.966.000	15.777.600	38	D

Tabella 4.57 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato a Cagliari

Cagliari				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
5000	3.158.700	27.175.200	12	E
10000	4.223.900	27.175.200	16	E
25000	4.928.200	27.175.200	18	E
40000	3.158.700	27.175.200	19	E

Tabella 4.58 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato a Campobasso

Campobasso				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
5000	4.034.500	24.904.800	16	E
10000	5.452.100	24.904.800	22	D
25000	6.590.700	24.904.800	26	D
40000	6.955.300	24.904.800	28	D

Tabella 4.59 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato a Catanzaro

Catanzaro				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
000	3.209.800	17.164.800	19	E
10000	4.631.000	17.164.800	27	D
25000	6.042.900	17.164.800	35	D
40000	6.382.500	17.164.800	37	D

Tabella 4.60 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato a Firenze

Firenze				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
5000	3.544.200	17.980.800	20	D
10000	5.184.000	17.980.800	29	D
25000	6.640.700	17.980.800	37	D
40000	6.933.400	17.980.800	39	D

Tabella 4.61 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato a Genova

Genova				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
5000	5.060.700	27.175.200	19	E
10000	7.792.400	27.175.200	29	D
25000	11.350.000	27.175.200	42	C
40000	12.876.000	27.175.200	47	C

Tabella 4.62 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato a Milano

Milano				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
5000	4.591.500	24.477.600	19	E
10000	6.863.000	24.477.600	28	D
25000	9.295.700	24.477.600	38	D
40000	10.051.000	24.477.600	41	C

Tabella 4.63 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato a Napoli

Napoli				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
5000	5.086.700	27.175.200	19	E
10000	7.622.300	27.175.200	28	D
25000	10.470.000	27.175.200	39	D
40000	11.589.000	27.175.200	43	C

Tabella 4.64 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato a Palermo

Palermo				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
5000	3.864.700	26.376.000	15	E
10000	5.280.700	26.376.000	20	D
25000	6.361.000	26.376.000	24	D
40000	6.625.500	26.376.000	25	D

Tabella 4.65 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato a Perugia

Perugia				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
5000	5.703.200	27.158.400	21	D
10000	8.462.600	27.158.400	31	D
25000	10.936.000	27.158.400	40	C
40000	11.656.000	27.158.400	43	C

Tabella 4.66 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato a Potenza

Potenza				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
5000	2.508.700	15.775.200	16	E
10000	3.412.000	15.775.200	22	D
25000	4.078.400	15.775.200	26	D
40000	4.284.000	15.775.200	27	D

Tabella 4.67 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato a Roma

Roma				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
5000	4.839.000	26.184.000	18	E
10000	7.154.000	26.184.000	27	D
25000	9.402.800	26.184.000	36	D
40000	10.077.000	26.184.000	38	D

Tabella 4.68 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato a Trento

Trento				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
5000	5.360.700	26.299.200	20	D
10000	8.010.600	26.299.200	30	D
25000	10.874.000	26.299.200	41	C
40000	11.831.000	26.299.200	45	C

Tabella 4.69 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato a Trieste

Trieste				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
5000	4.632.300	22.600.800	20	D
10000	6.875.000	22.600.800	30	D
25000	8.965.900	22.600.800	40	C
40000	9.524.600	22.600.800	42	C

Tabella 4.70 - risultati ottenuti con il metodo YAS per edificio plurifamiliare situato a Venezia

Venezia				
Serbatoi [l]	**Y_{totale} [l]**	**R_{totale} [l]**	**W_s [%]**	**efficienza idrica**
5000	2.734.900	17.239.200	16	E
10000	3.988.300	17.239.200	23	D
25000	5.218.500	17.239.200	30	D
40000	5.612.900	17.239.200	33	D

I dispositivi che compongono l'impianto, il relativo costo e il procedimento per calcolare gli anni in cui i sistemi vengono ammortizzati, rimangono gli stessi descritti e presenti nelle tabelle del paragrafo 4.2.1.3. I costi dell'acqua di ogni capoluogo, che vengono utilizzati per determinare il tempo per ammortizzare l'impianto, sono riportati in tabella 4.34.

Il tempo per ammortizzare il costo di ciascun impianto per ogni capoluogo sono riportati nelle tabelle seguenti:

Tabella 4.71 – tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare ad Ancona

Ancona	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	41
10000	34
25000	39
40000	48

Tabella 4.72 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare ad Aosta

Aosta	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	84
10000	73
25000	87
40000	111

Tabella 4.73 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Bari

Bari	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	48
10000	41
25000	48
40000	60

Tabella 4.74 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Bologna

Bologna	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	41
10000	33
25000	37
40000	45

Tabella 4.75 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Cagliari

Cagliari	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	67
10000	60
25000	75
40000	97

Tabella 4.76 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Campobasso

Campobasso	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	121
10000	107
25000	129
40000	162

Tabella 4.77 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Catanzaro

Catanzaro	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	74
10000	61
25000	68
40000	85

Tabella 4.78 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Firenze

Firenze	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	25
10000	21
25000	23
40000	30

Tabella 4.79 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Genova

Genova	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	31
10000	24
25000	24
40000	29

Tabella 4.80 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Milano

Milano	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	126
10000	100
25000	108
40000	133

Tabella 4.81 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Napoli

Napoli	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	62
10000	50
25000	53
40000	63

Tabella 4.82 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Palermo

Palermo	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	71
10000	62
25000	75
40000	96

Tabella 4.83 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Perugia

Perugia	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	30
10000	24
25000	27
40000	34

Tabella 4.84 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Potenza

Potenza	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	60
10000	52
25000	64
40000	80

Tabella 4.85 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Roma

Roma	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	57
10000	46
25000	51
40000	63

Tabella 4.86 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Trento

Trento	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	109
10000	87
25000	94
40000	114

Tabella 4.87 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Trieste

Trieste	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	36
10000	29
25000	32
40000	40

Tabella 4.88 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Venezia

Venezia	
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni]**
5000	60
10000	49
25000	55
40000	67

4.4 Analisi economica con costo dell'acqua variabile nel tempo

Il costo dell'acqua in bolletta in Italia varia generalmente ogni anno, infatti si ha avuto un aumento del 60% [45] dal 2010 al 2020. Gli aumenti registrati, sono causati dalle falle che si hanno in rete, come il fenomeno della dispersione idrica. Per comprendere meglio la gravità della situazione, basti pensare che l'Istat (Istituto nazionale di Statistica) ha pubblicato un documento dove dichiara perdite idriche totali nella fase di distribuzione pari al 42% [23] dell'acqua immessa in rete. Gli esperti suggeriscono un aumento di costo nei comuni italiani per poter investire maggiormente nelle tubazioni, infrastrutture e depuratori.

Pensando alla realtà italiana, all'interno dell'elaborato si è deciso effettuare un'analisi in cui il costo dell'acqua in bolletta aumenta ogni anno di una percentuale fissa: un primo caso, dove c'è un aumento annuale del 5% e, un secondo caso, in cui il costo aumenta ogni anno del 10%.

I calcoli sono stati effettuati nei seguenti capoluoghi italiani di regione: Ancona, Aosta, Bari, Bologna, Cagliari, Campobasso, Catanzaro, Firenze, Genova, L'Aquila, Milano, Napoli, Palermo, Perugia, Potenza, Roma, Torino, Trento, Trieste, Venezia.

Considerando, per ogni capoluogo, i due edifici precedentemente descritti.

4.4.1 Tempo per ammortizzare gli impianti di recupero dell'acqua piovana con costo acqua variabile

I calcoli sono stati eseguiti considerando i sistemi di recupero dell'acqua piovana descritti nelle tabelle 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7 nel caso dell'edificio monofamiliare e in quelle 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14 per l'edificio plurifamiliare.

Il procedimento utilizzato per effettuare i calcoli viene spiegato per punti:

1. Il costo dell'impianto aumenta ogni anno della stessa percentuale, la formula utilizzata per calcolare l'incremento di costo è la seguente:

$$CA(i) = CA(i-1) + CA(i-1) \cdot I \quad (4.21)$$

   Dove:
   - *CA(i)*: è il costo dell'acqua nell'anno in cui si sta effettuando l'analisi [€/m^3];
   - *CA(i-1)*: è il costo dell'acqua dell'anno precedente rispetto a quello di cui si sta effettuando l'analisi [€/m^3]. Nel 2017, cioè all'istante iniziale (t=0), *CA(i-1)* è stato preso uguale a 0;
   - I: è la percentuale di cui aumenta il costo dell'acqua ogni anno. Si sono ipotizzati due possibili aumenti futuri del costo dell'acqua ogni anno: 5% e 10%.
2. Ogni anno ho un risparmio di acqua grazie al sistema di accumulo che, a sua volta, mi permette di economizzare le spese in bolletta. La quantità di denaro che risparmio ogni anno in bolletta si calcola con la formula seguente:

$$RCAB(i) = Y_{a,medio} \cdot CA(i) \quad (4.22)$$

   Dove:
   - *RCAB(i)*: è il risparmio del costo acqua in bolletta annuale, dovuti al sistema di recupero dell'acqua piovana [€/anno];
   - $Y_{a,medio}$: è il volume d'acqua recuperato ogni anno [m^3/anno].
3. Per calcolare il tempo necessario per ammortizzare l'impianto, bisogna conoscere il costo dell'impianto che rimane da pagare ogni anno. Per ottenere il suddetto parametro, si ricorre alla formula 4.23:

$$CI_{res}(i) = CI_{res}(i-1) - RCAB(i-1) \quad (4.23)$$

   Dove:
   - $CI_{res}(i)$: è il costo dell'impianto che rimane da pagare nell'anno in cui si fa l'analisi [€];
   - $CI_{res}(i-1)$: è il costo dell'impianto che rimane da pagare nell'anno precedente rispetto quello in cui si sta effettuando l'analisi [€];
   - $RCAB(i-1)$: è il risparmio del costo acqua in bolletta annuale, riferito all'anno precedente rispetto a quello in cui si effettua l'analisi [€/anno].
4. Il tempo per ammortizzare il costo dell'impianto si calcola come:

$$NA(i) = \frac{CI_{res}(i)}{RCAB(i)} \quad (4.24)$$

   Dove:
   - $NA(i)$: è il tempo per ammortizzare il costo dell'impianto, considerando i soldi risparmiati ogni anno $SR(i)$. L'unità di misura è espressa in [anni].

Di seguito, viene riportato il tempo per ammortizzare il costo di ciascun impianto di recupero dell'acqua piovana per ogni capoluogo di regione, tenendo presente che il costo dell'acqua aumenta ogni anno:

- edificio monofamiliare:

Tabella 4.89 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare ad Ancona

Ancona		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	29	21
3000	28	20
5000	29	21
10000	33	23

Tabella 4.90 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare ad Aosta

Aosta		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	40	27
3000	39	27
5000	40	27
10000	46	30

Tabella 4.91 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Bari

Bari		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	31	22
3000	30	21
5000	31	22
10000	35	24

Tabella 4.92 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Bologna

Bologna		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	29	21
3000	28	20
5000	28	20
10000	33	23

Tabella 4.93 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Cagliari

Cagliari		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	37	25
3000	37	25
5000	38	26
10000	43	29

Tabella 4.94 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Campobasso

Campobasso		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	47	31
3000	47	31
5000	48	31
10000	54	34

Tabella 4.95 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Catanzaro

Catanzaro		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	40	27
3000	39	26
5000	40	27
10000	45	30

Tabella 4.96 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Firenze

Firenze		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	23	17
3000	22	16
5000	22	17
10000	27	19

Tabella 4.97 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Genova

Genova		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	26	19
3000	24	18
5000	24	18
10000	28	20

Tabella 4.98 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Milano

Milano		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	32	32
3000	47	31
5000	48	31
10000	53	34

Tabella 4.99 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Napoli

Napoli		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	37	25
3000	36	25
5000	36	25
10000	41	28

Tabella 4.100 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Palermo

Palermo		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	38	26
3000	38	26
5000	38	26
10000	44	29

Tabella 4.101 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Perugia

Perugia		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	25	18
3000	25	18
5000	25	18
10000	30	21

Tabella 4.102 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Potenza

Potenza		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	35	24
3000	34	24
5000	35	24
10000	41	27

Tabella 4.103 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Roma

Roma		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	35	24
3000	34	24
5000	34	24
10000	39	27

Tabella 4.104 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Torino

Torino		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	32	22
3000	30	22
5000	31	22
10000	35	24

Tabella 4.105 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Trento

Trento		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	47	31
3000	45	30
5000	46	30
10000	52	33

Tabella 4.106 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Trieste

Trieste		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	27	20
3000	27	19
5000	27	20
10000	32	22

Tabella 4.107 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio monofamiliare a Venezia

Venezia		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
1000	35	24
3000	33	23
5000	34	23
10000	38	26

- edificio plurifamiliare

Tabella 4.108 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare ad Ancona

Ancona		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	23	17
10000	20	16
25000	22	17
40000	25	18

Tabella 4.109 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare ad Aosta

Aosta		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	34	23
10000	31	22
25000	34	24
40000	39	26

Tabella 4.110 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Bari

Bari		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	25	18
10000	23	17
25000	25	18
40000	28	20

Tabella 4.111 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Bologna

Bologna		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	23	17
10000	20	15
25000	21	16
40000	24	18

Tabella 4.112 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Cagliari

Cagliari		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	30	21
10000	28	20
25000	32	22
40000	36	25

Tabella 4.113 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Campobasso

Campobasso		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	40	27
10000	38	26
25000	41	28
40000	45	30

Tabella 4.114 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Catanzaro

Catanzaro		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	32	22
10000	29	21
25000	30	22
40000	34	24

Tabella 4.115 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Firenze

Firenze		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	17	13
10000	14	12
25000	16	13
40000	19	14

Tabella 4.116 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Genova

Genova		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	19	15
10000	16	13
25000	16	13
40000	18	14

Tabella 4.117 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Milano

Milano		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	41	27
10000	37	25
25000	38	26
40000	42	28

Tabella 4.118 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Napoli

Napoli		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	29	21
10000	26	19
25000	26	19
40000	29	21

Tabella 4.119 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Palermo

Palermo		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	31	22
10000	29	21
25000	32	22
40000	36	25

Tabella 4.120 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Perugia

Perugia		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	19	15
10000	16	13
25000	18	14
40000	20	16

Tabella 4.121 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Potenza

Potenza		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	28	20
10000	26	19
25000	29	21
40000	33	23

Tabella 4.122 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Roma

Roma		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	28	20
10000	24	18
25000	26	19
40000	29	21

Tabella 4.123 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Torino

Torino		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	25	18
10000	22	16
25000	22	17
40000	25	18

Tabella 4.124 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Trento

Trento		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	38	26
10000	34	24
25000	36	25
40000	39	26

Tabella 4.125 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Trieste

Trieste		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	21	16
10000	18	14
25000	20	15
40000	23	17

Tabella 4.126 - tempo per ammortizzare il costo dell'impianto per un edificio plurifamiliare a Venezia

Venezia		
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**
5000	28	20
10000	25	19
25000	27	20
40000	30	21

4.4.2 Grafici tempo per ammortizzare costo impianti

Di seguito sono rappresentati, per ciascun capoluogo italiano di regione, i grafici in cui si possono leggere il tempo per ammortizzare il costo dei 4 impianti, considerando il costo dell'acqua fisso e variabile. Le rappresentazioni sono state fatte sia per l'edificio monofamiliare che per quello plurifamiliare:

- Legenda grafici:

✳ costo fisso serbatoio 1000 litri
◇ incremento costo 5% serbatoio 1000 litri
○ incremento costo 10% serbatoio 1000 litri
✳ costo fisso serbatoio 3000 litri
◇ incremento costo 5% serbatoio 3000 litri
○ incremento costo 10% serbatoio 3000 litri
✳ costo fisso serbatoio 5000 litri
◇ incremento costo 5% serbatoio 5000 litri
○ incremento costo 10% serbatoio 5000 litri
✳ costo fisso serbatoio 10000 litri
◇ incremento costo 5% serbatoio 10000 litri
○ incremento costo 10% serbatoio 10000 litri

- Edificio monofamiliare:

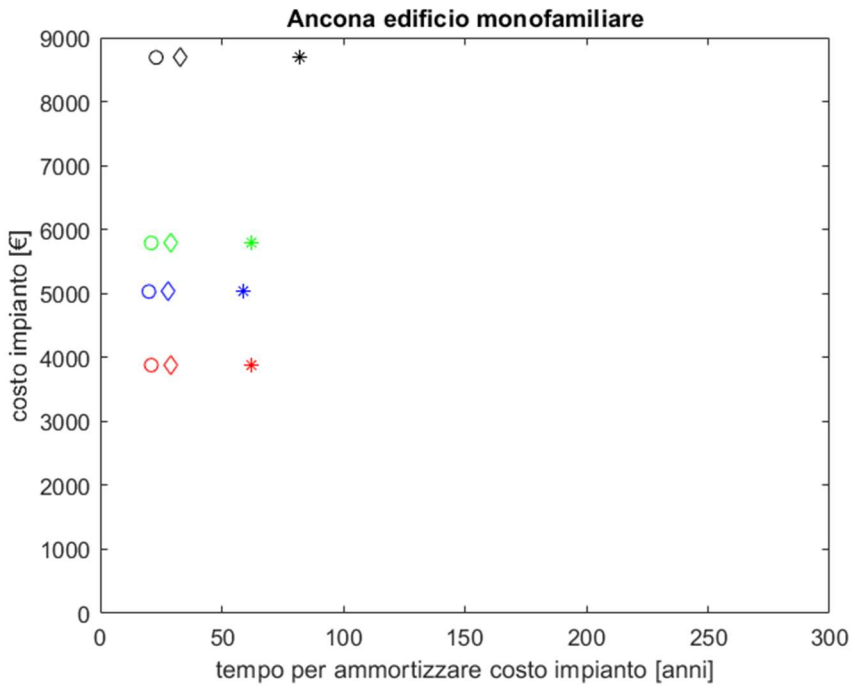

Figura 4.16 – grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare ad Ancona

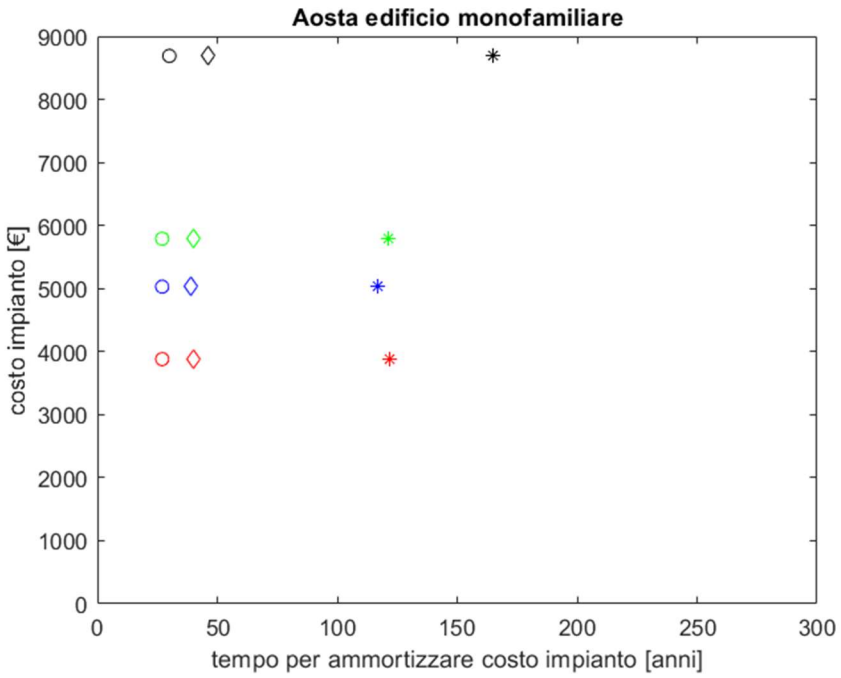

Figura 4.17 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare ad Aosta

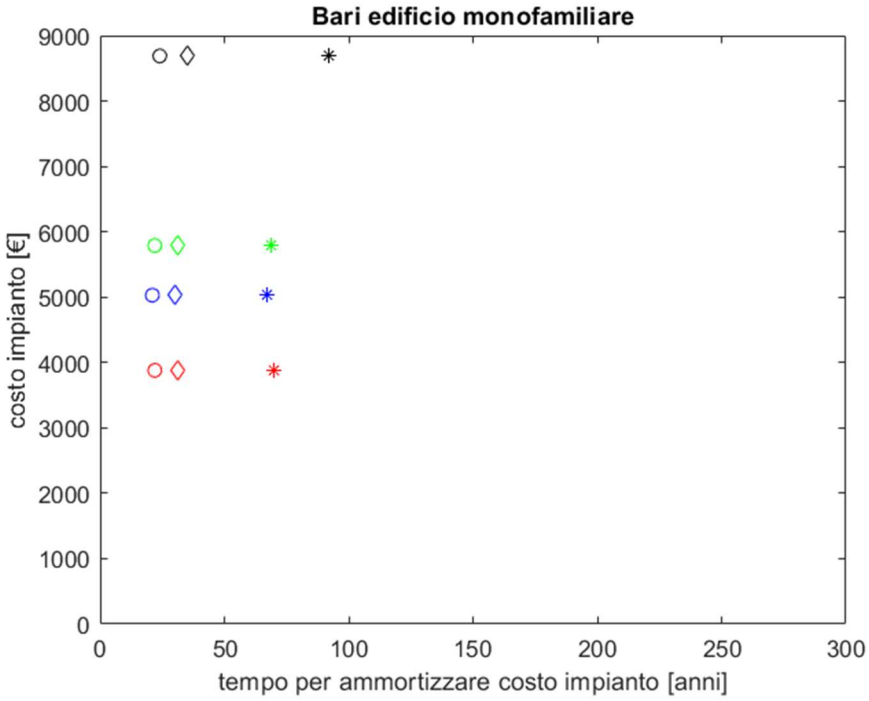

Figura 4.18 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Bari

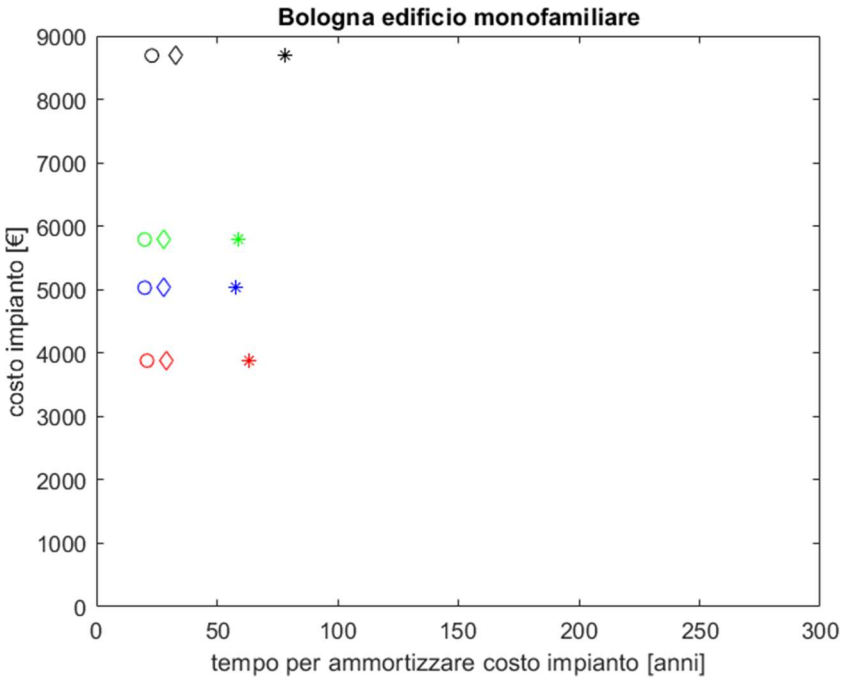

Figura 4.19 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Bologna

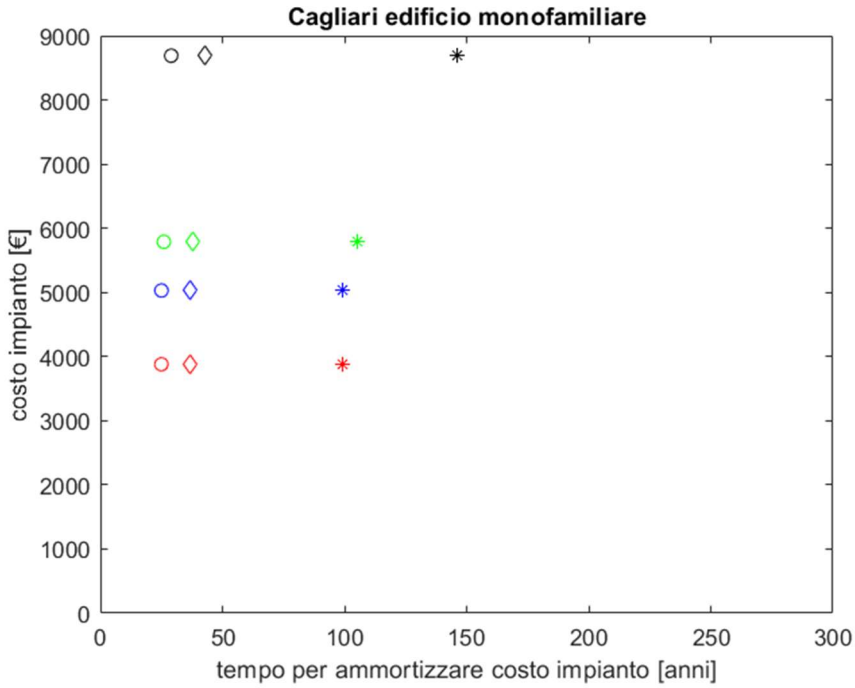

Figura 4.20 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Cagliari

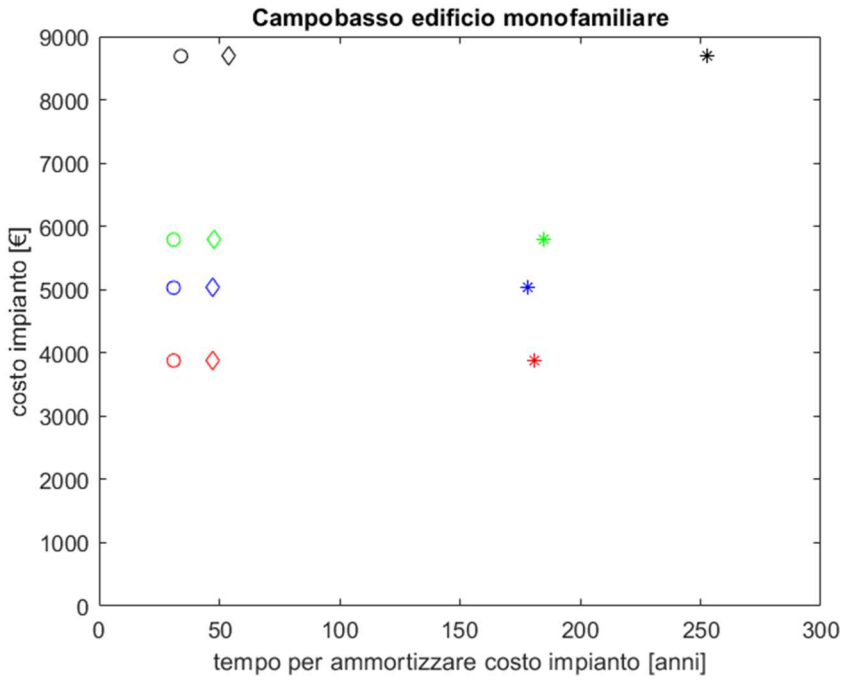

Figura 4.21 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Campobasso

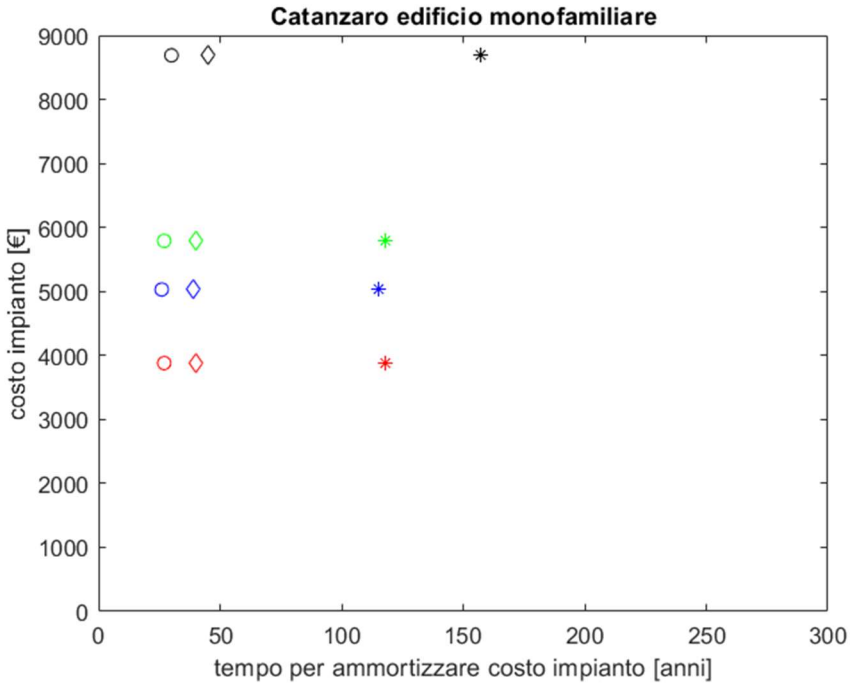

Figura 4.22 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Catanzaro

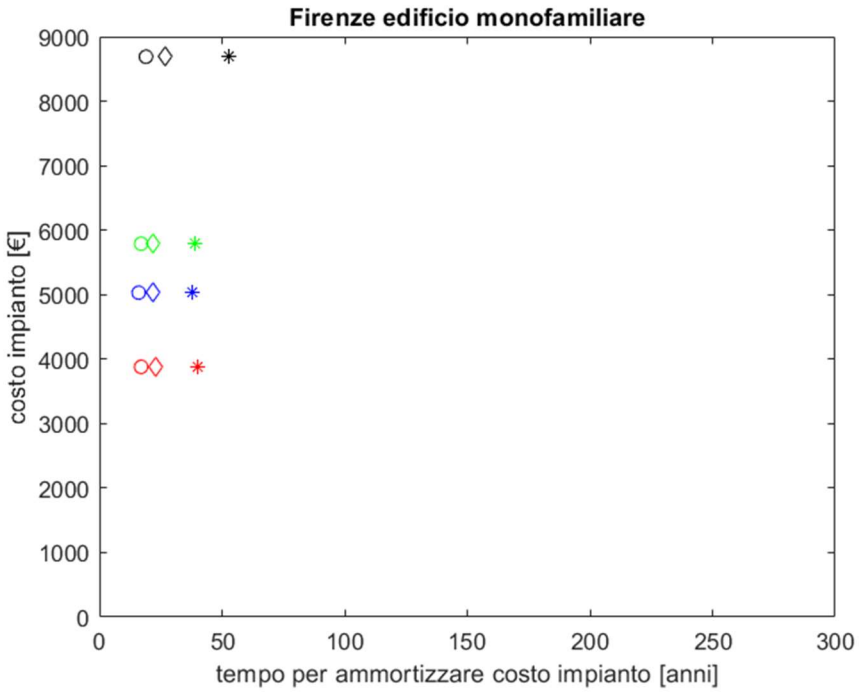

Figura 4.23 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Firenze

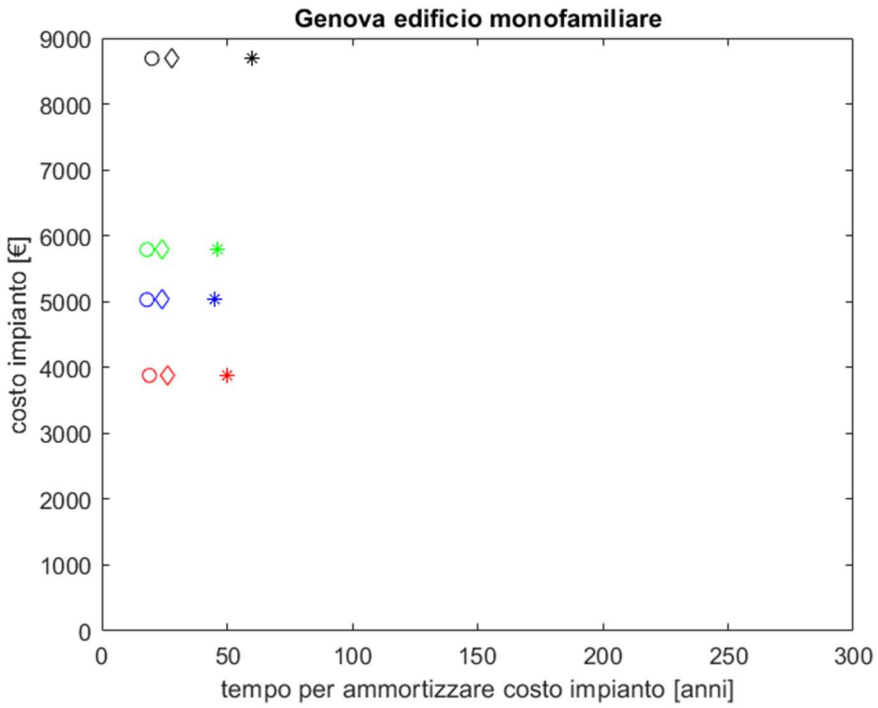

Figura 4.24 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Genova

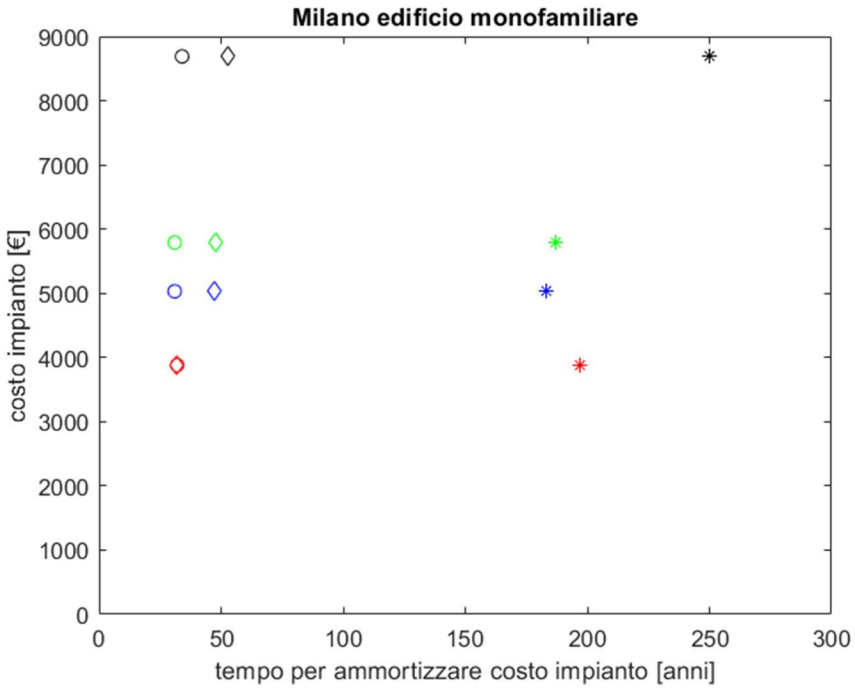

Figura 4.25 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Milano

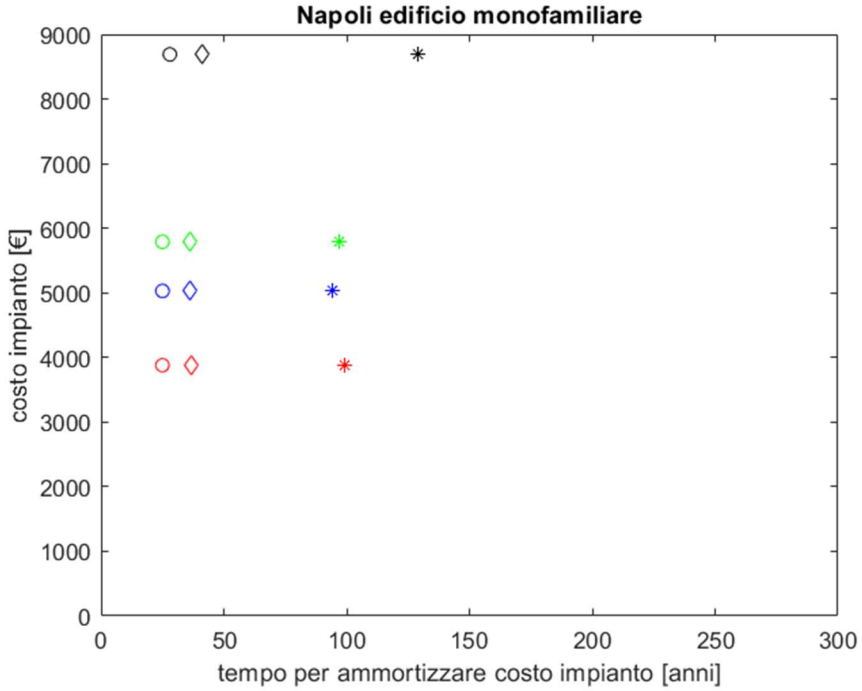

Figura 4.26 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Napoli

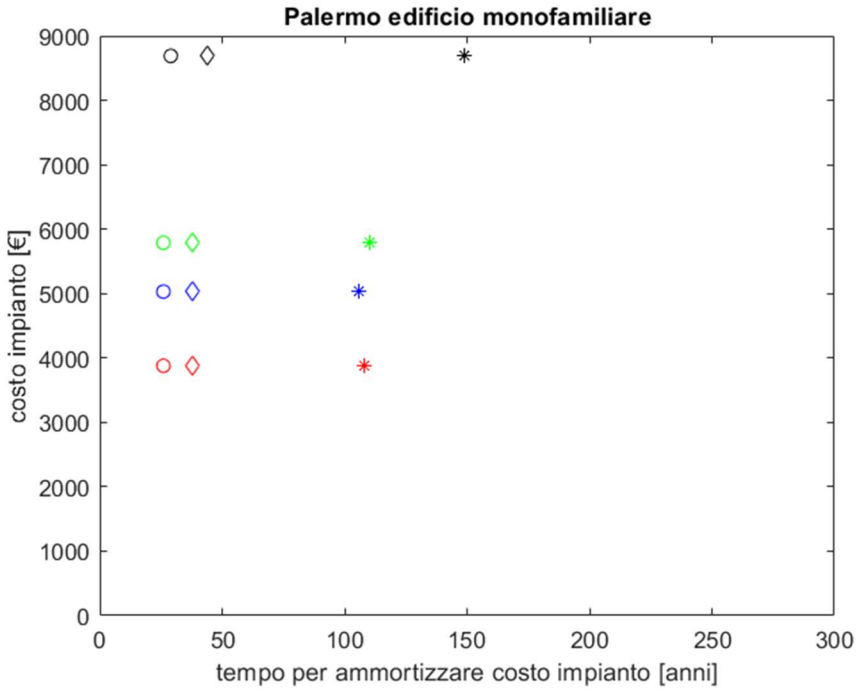

Figura 4.27 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Palermo

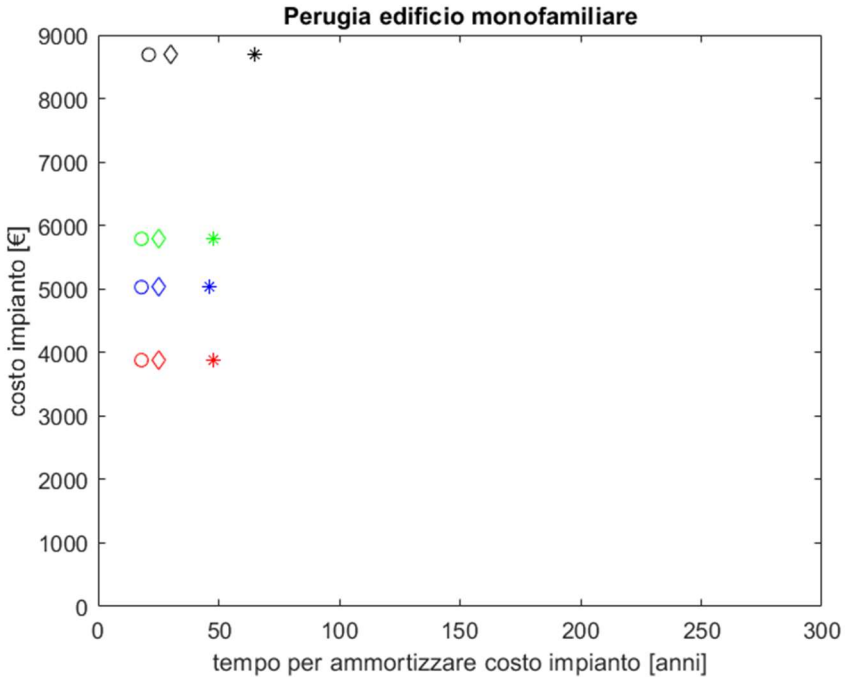

Figura 4.28 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Perugia

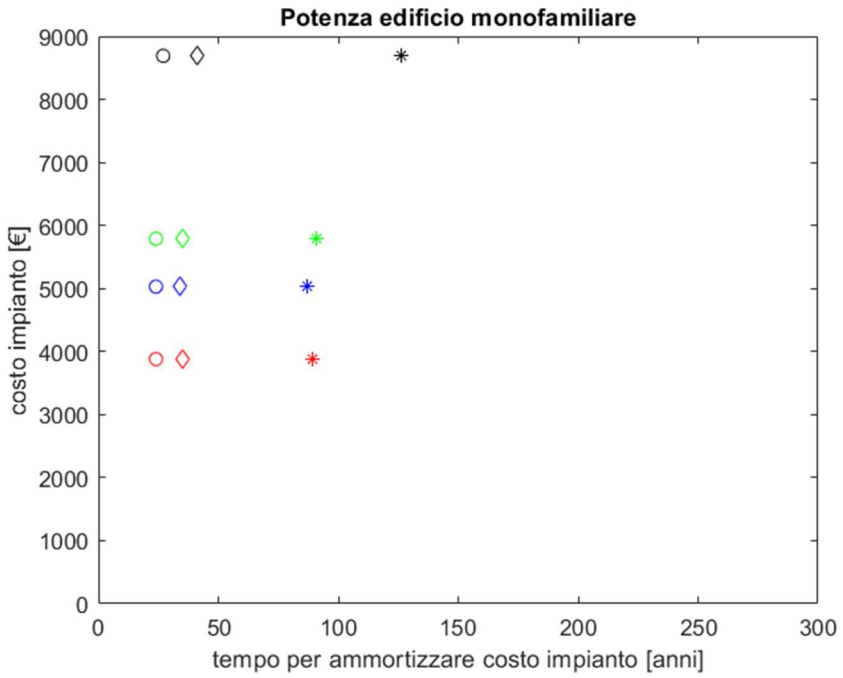

Figura 4.29 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Potenza

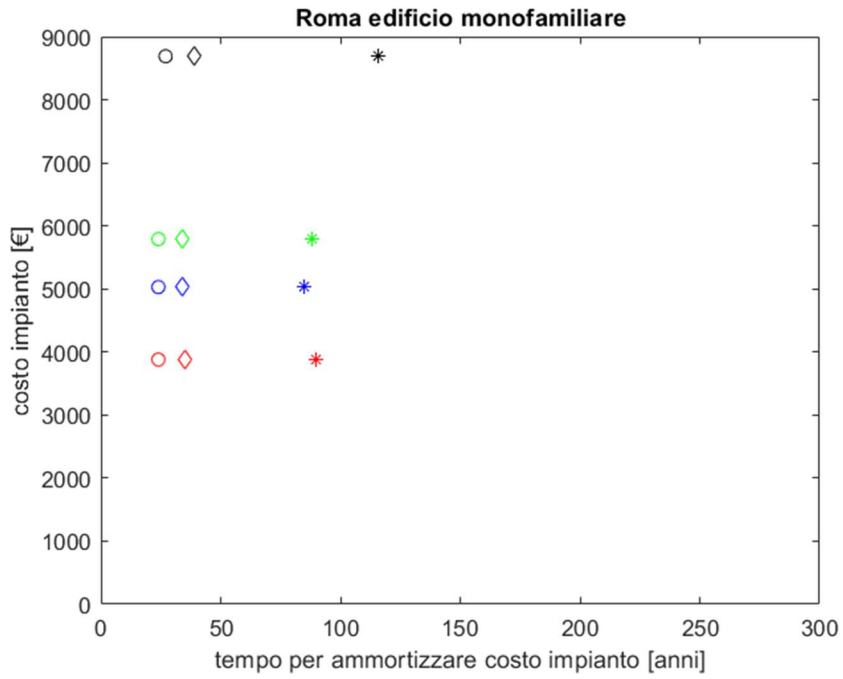

Figura 4.30 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Roma

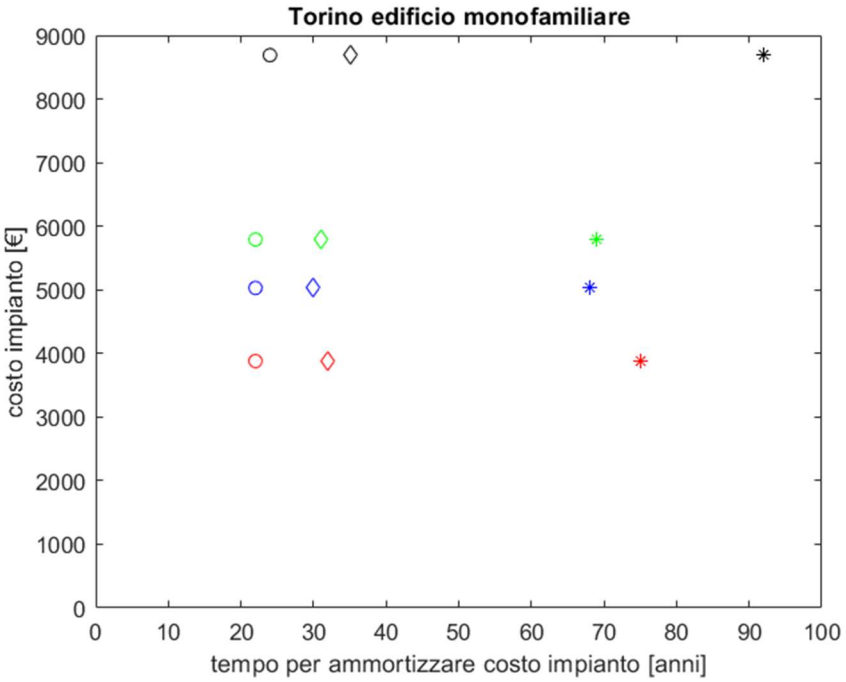

Figura 4.31 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Torino

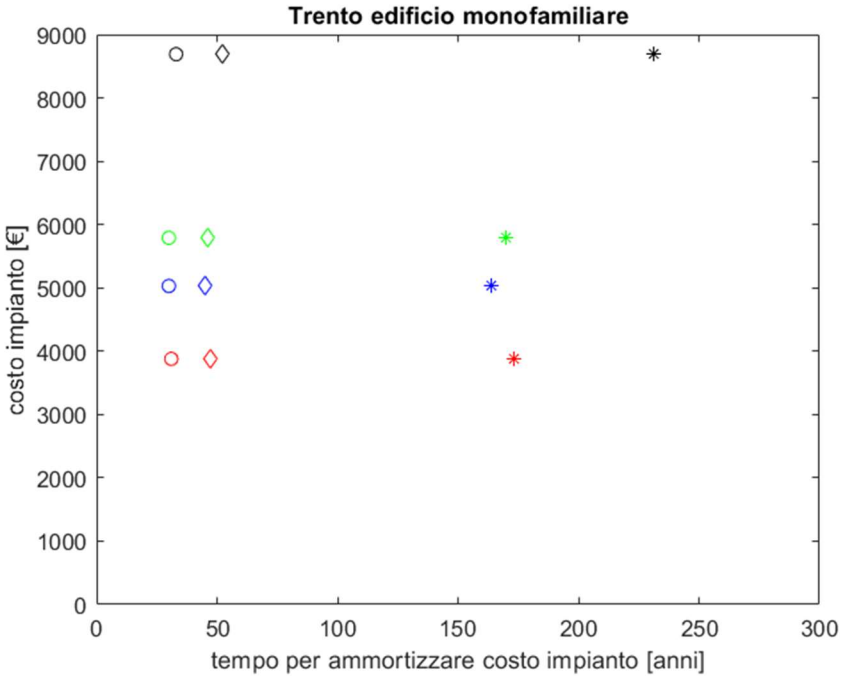

Figura 4.32 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Trento

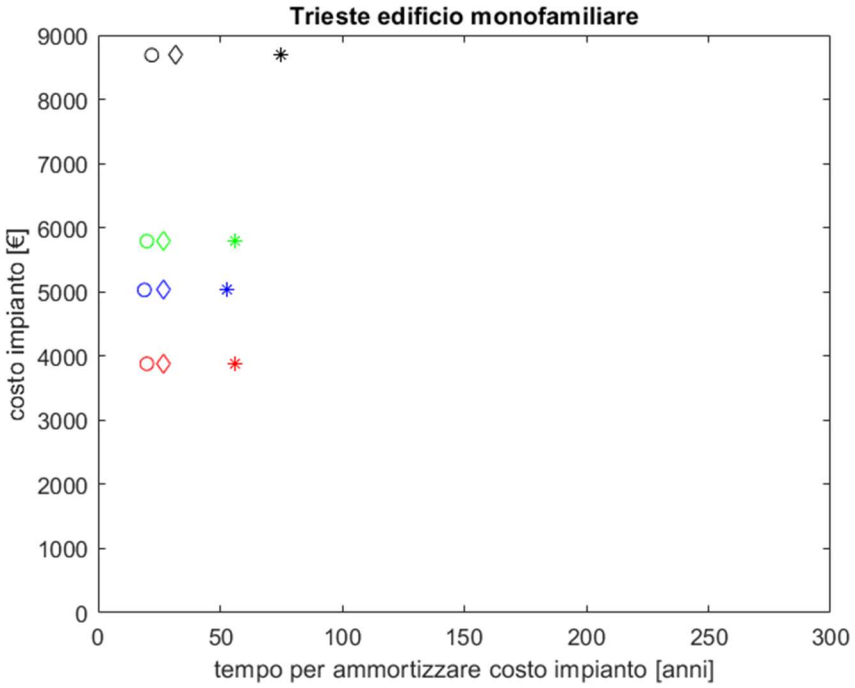

Figura 4.33 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Trieste

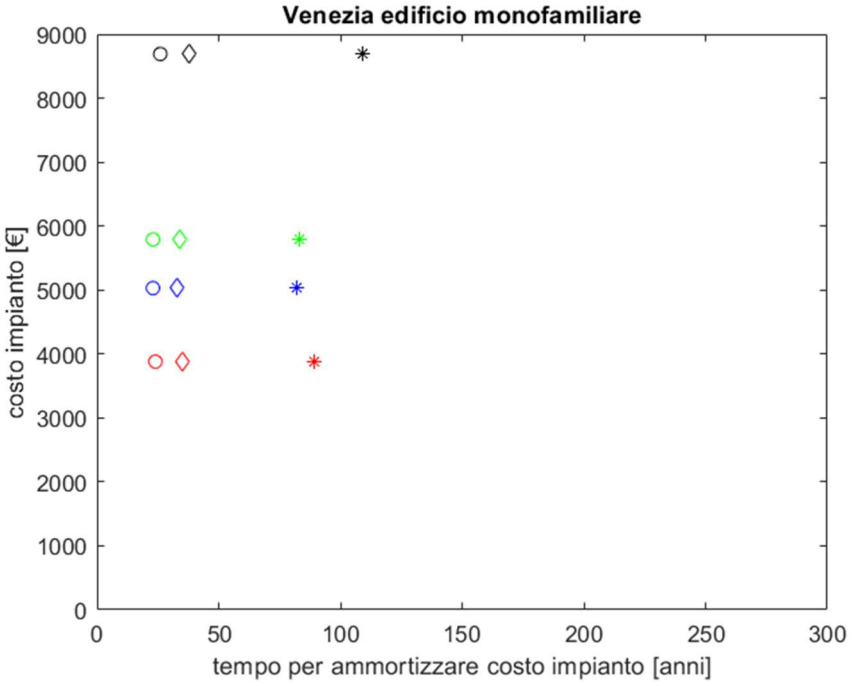

Figura 4.34 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio monofamiliare a Venezia

- Edificio plurifamiliare

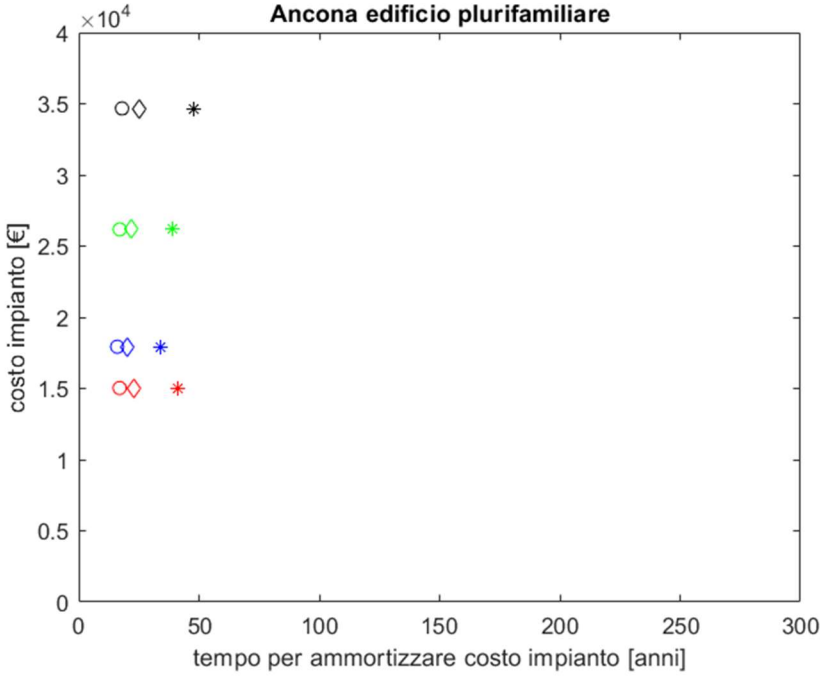

Figura 4.35 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare ad Ancona

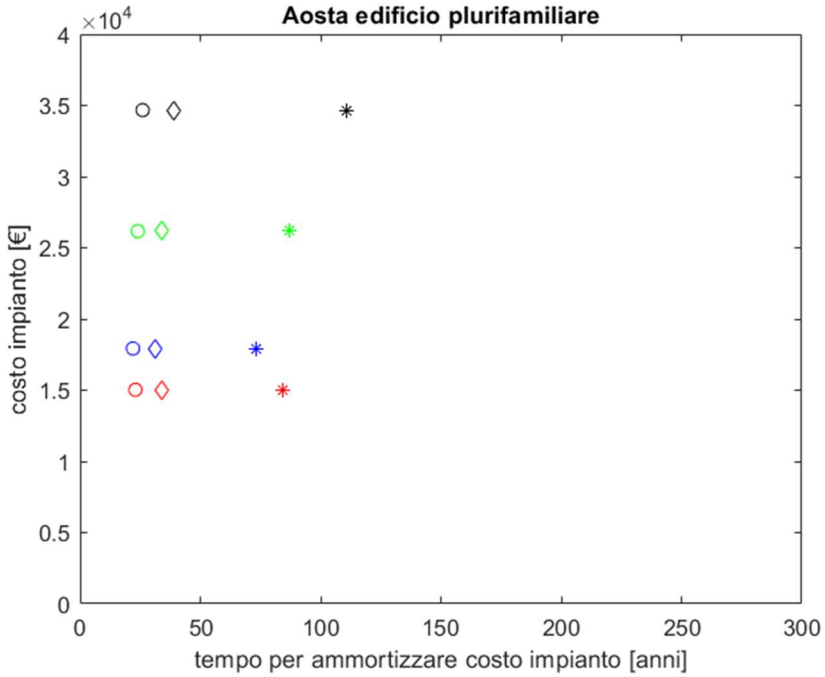

Figura 4.36 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare ad Aosta

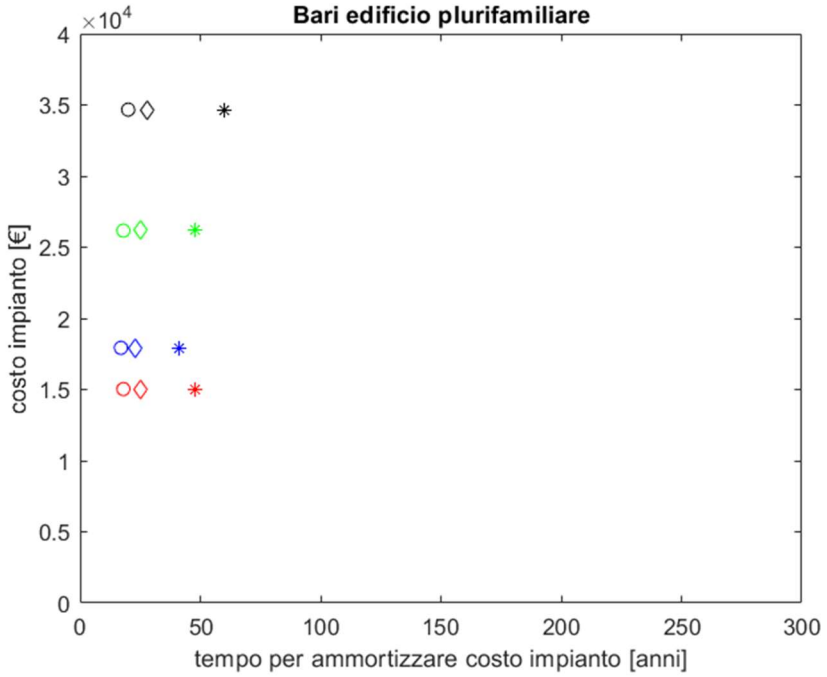

Figura 4.37 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Bari

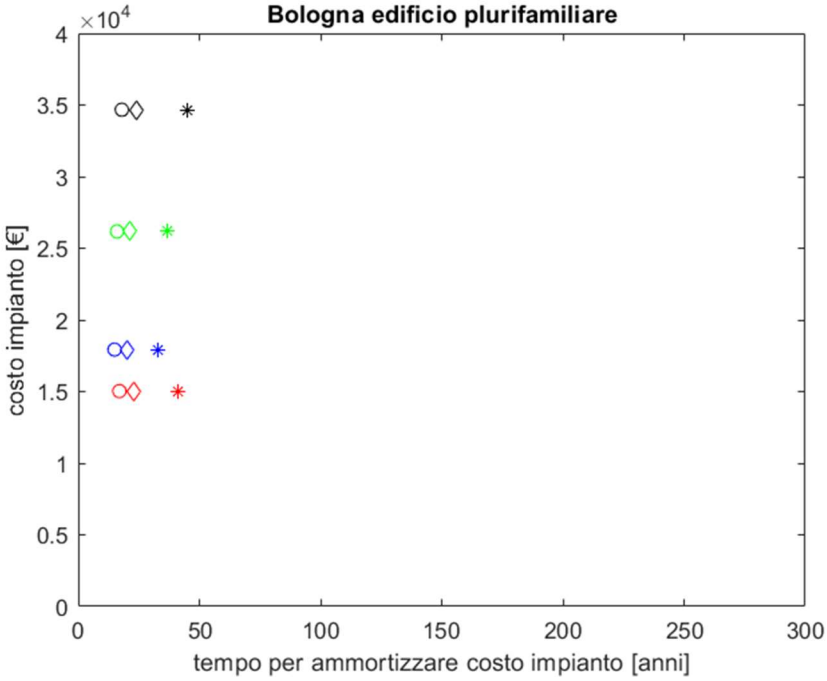

Figura 4.38 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Bologna

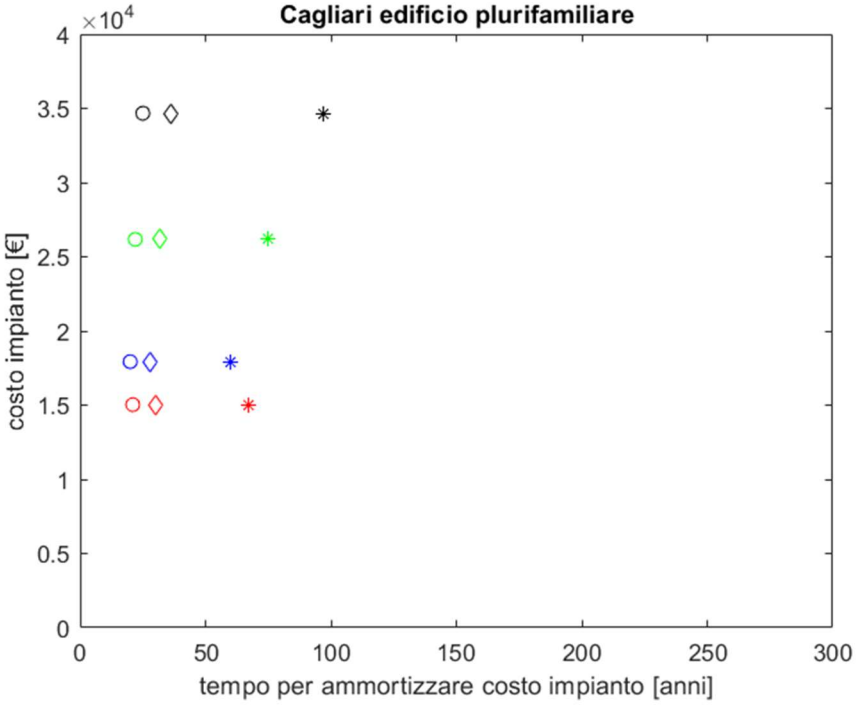

Figura 4.39 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Cagliari

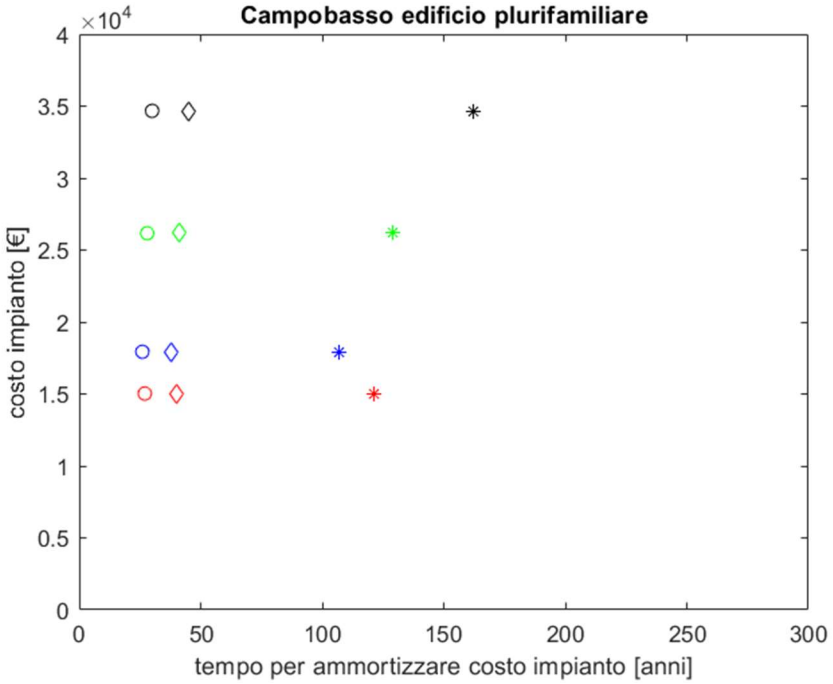

Figura 4.40 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Campobasso

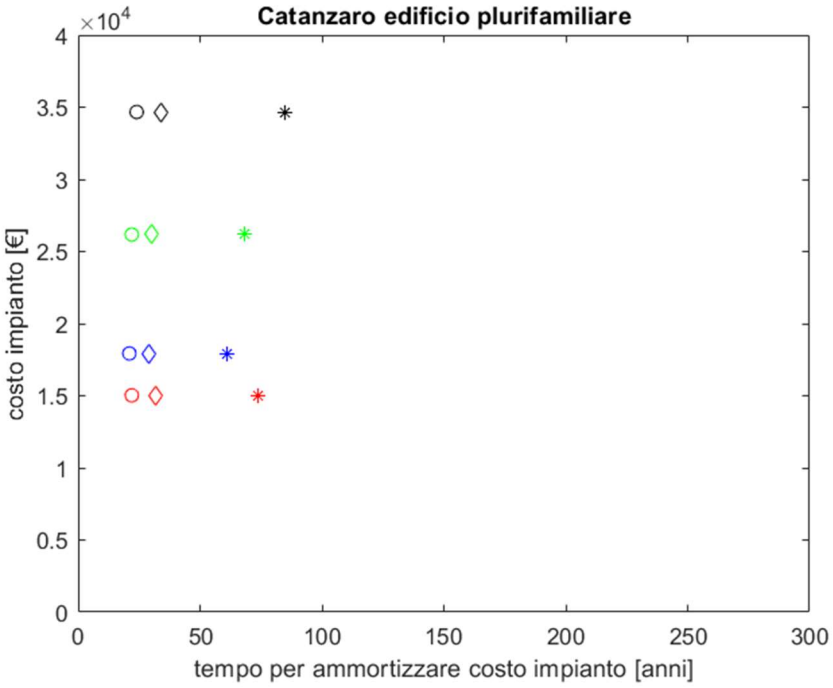

Figura 4.41 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Catanzaro

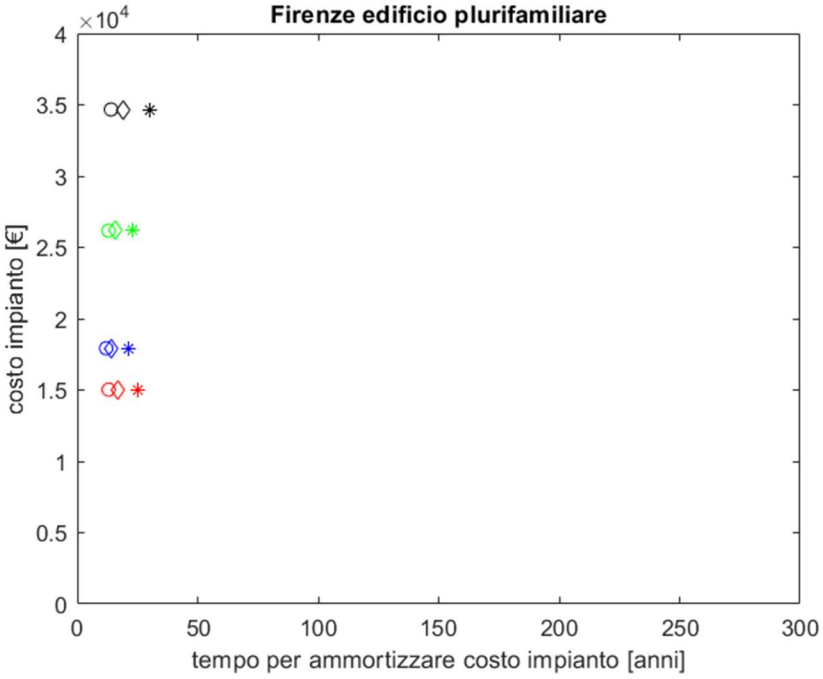

Figura 4.42 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Firenze

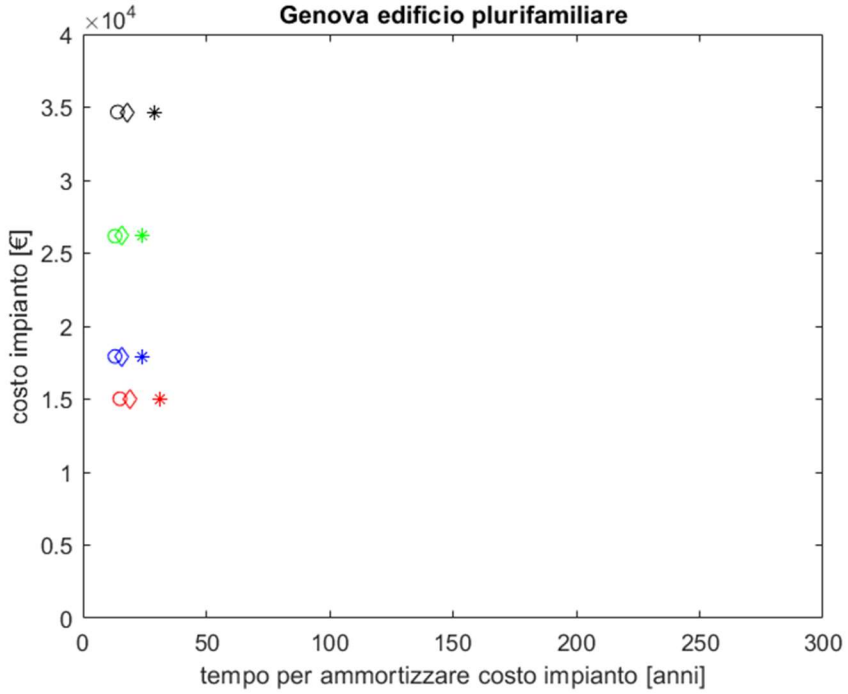

Figura 4.43 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Genova

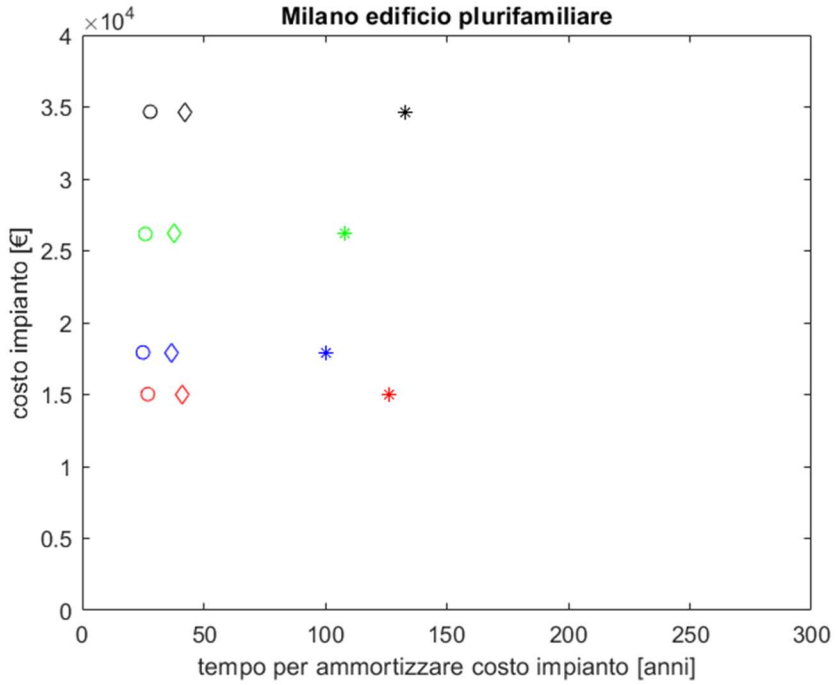

Figura 4.44 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Milano

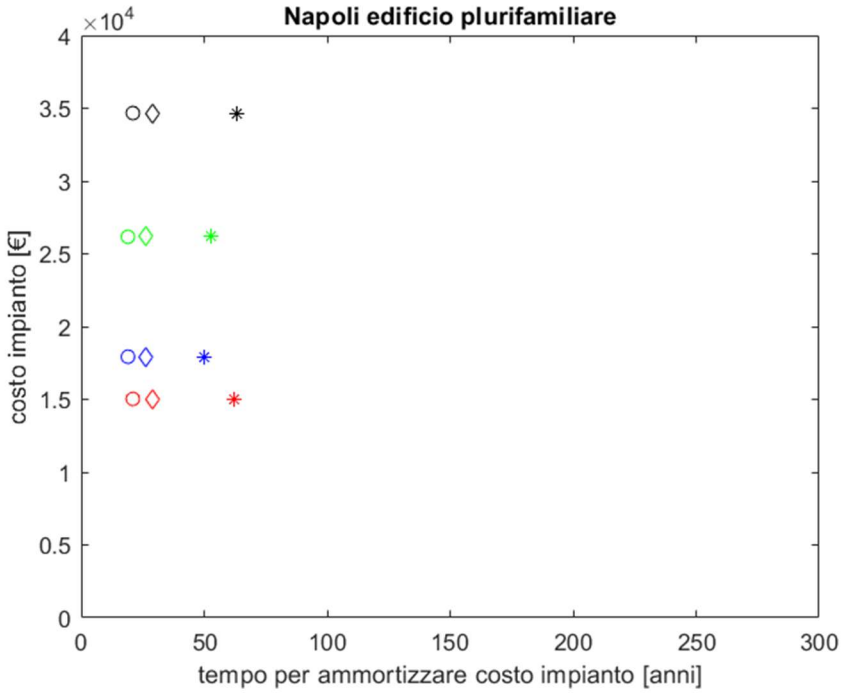

Figura 4.45 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Napoli

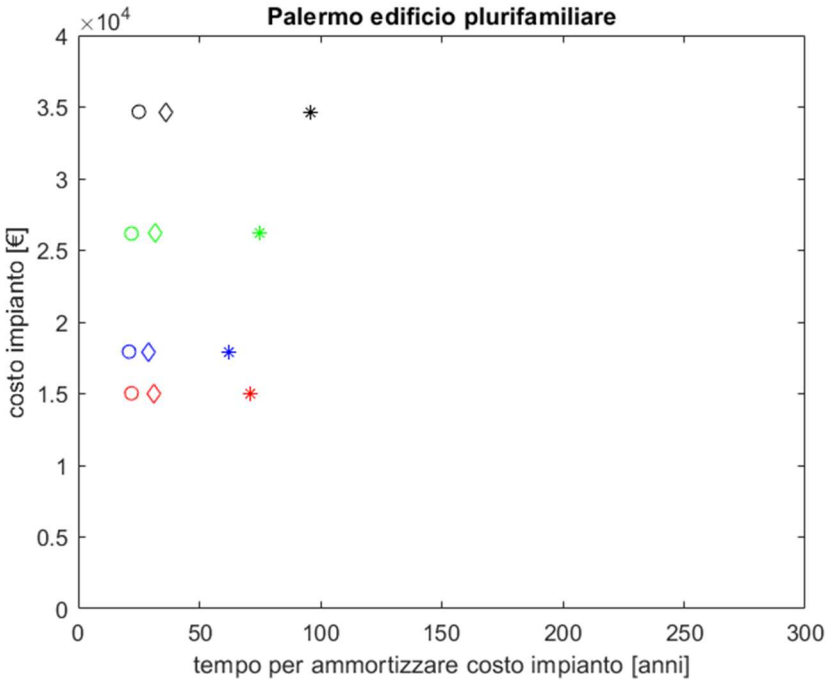

Figura 4.46 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Palermo

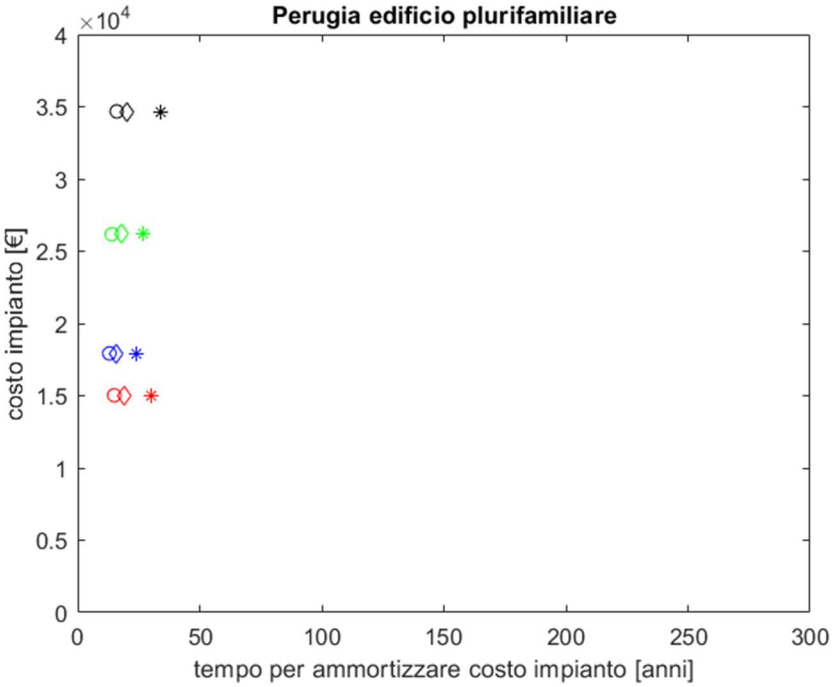

Figura 4.47 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Perugia

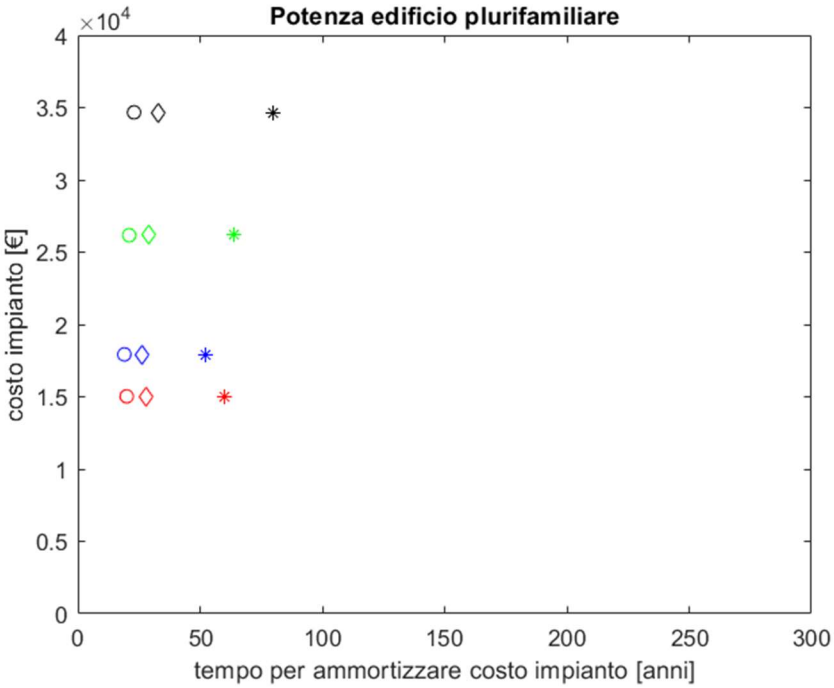

Figura 4.48 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Potenza

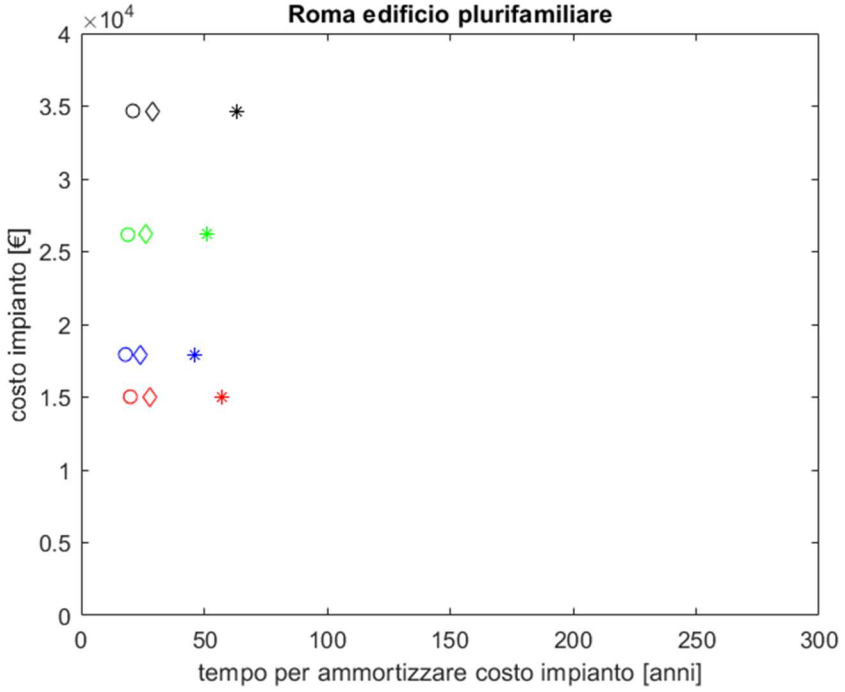

Figura 4.49 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Roma

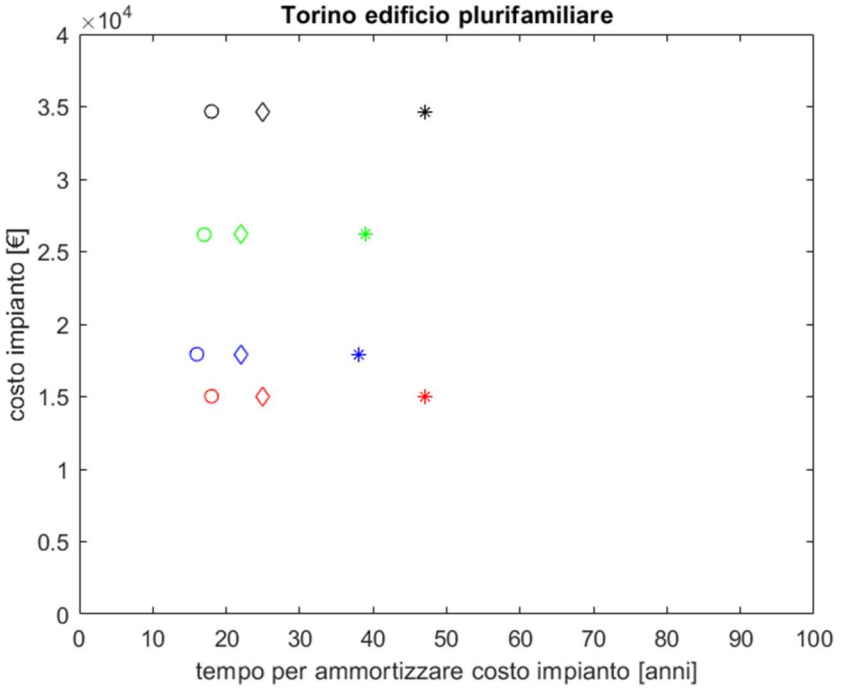

Figura 4.50 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Torino

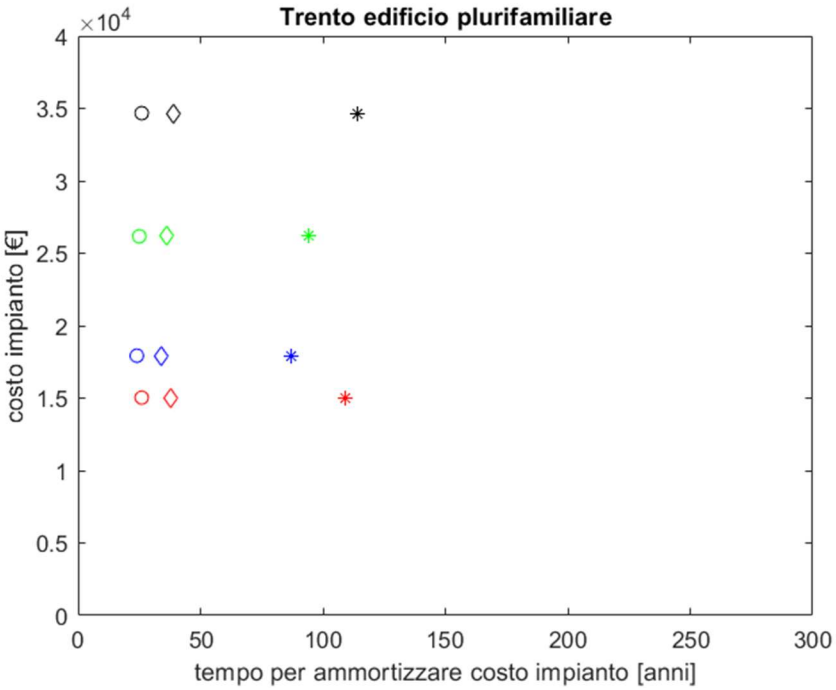

Figura 4.51 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Trento

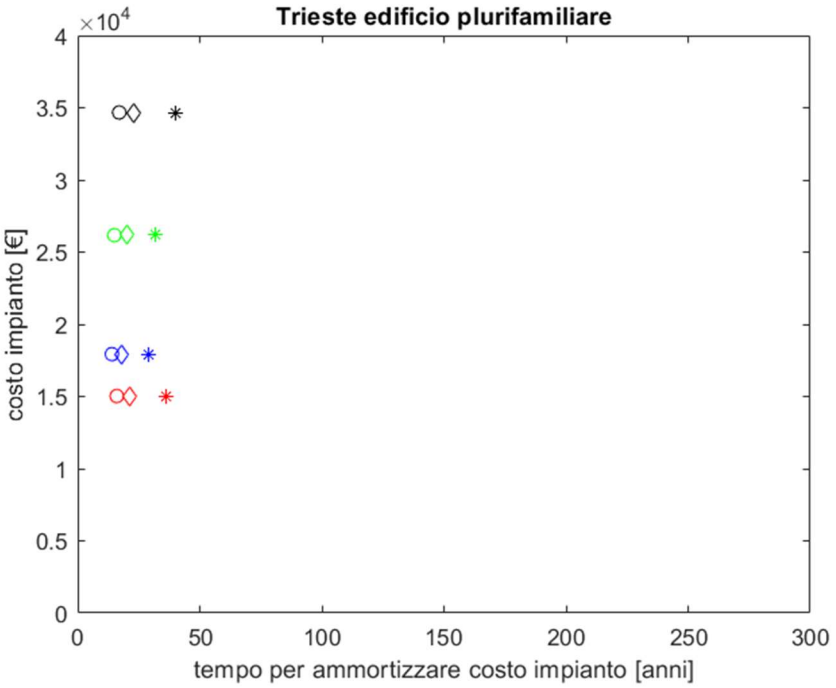

Figura 4.52 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Trieste

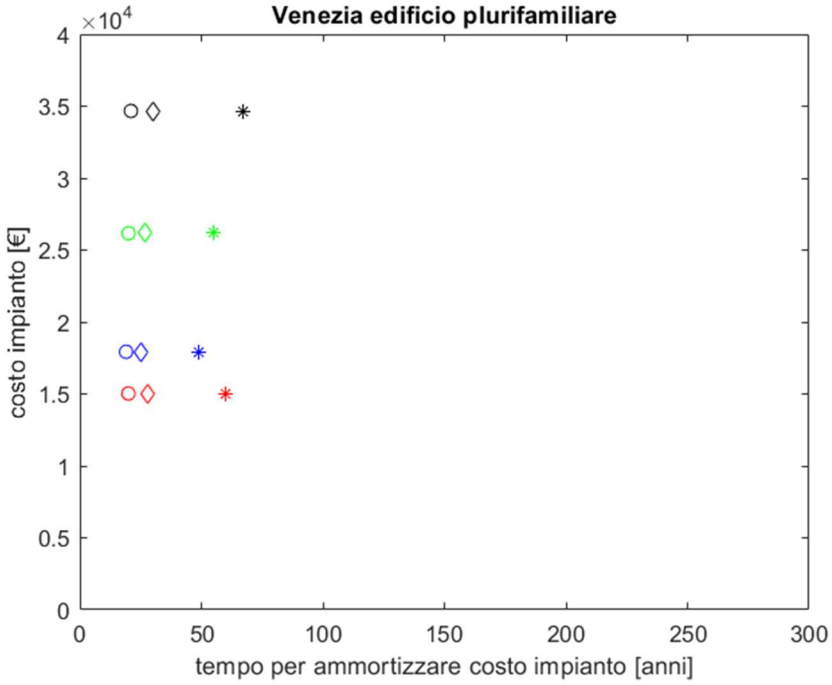

Figura 4.53 - grafico tempo per ammortizzare il costo dell'impianto edificio plurifamiliare a Venezia

Dai grafici sopra riportati, si può vedere come l'aumento del costo dell'acqua in bolletta comporta una diminuzione degli anni in cui verrà saldato il costo dell'impianto.

4.5 Influenza costo acqua in bolletta sul tempo per ammortizzare costo impianto

Il costo dell'acqua in bolletta è il parametro che, rispetto alla quantità di acqua recuperata, influenza maggiormente il tempo per ammortizzare il costo dell'impianto. Per comprendere quanto appena detto, di seguito, a titolo di esempio, è riportato un grafico per l'edificio monofamiliare, in cui è installato un impianto costituito da un serbatoio da 1000 l, in cui vengono rappresentati una serie di punti che sono individuati ponendo, in ordinata, il costo dell'acqua in bolletta e, in ascissa, il tempo per ammortizzare il costo dell'impianto, per ciascun capoluogo italiano di regione.

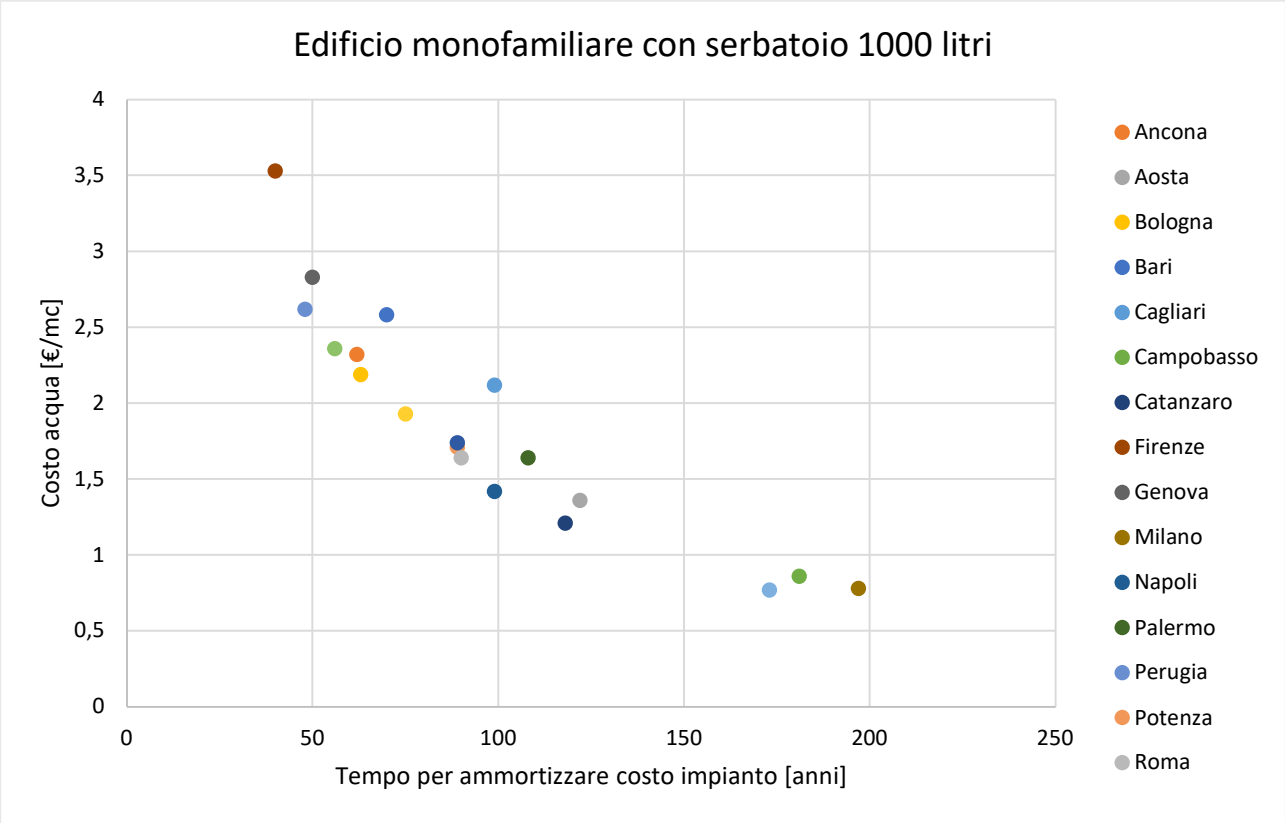

Figura 4.54 - grafico relazione tra il costo dell'acqua in bolletta e il relativo tempo per ammortizzare il costo dell'impianto di recupero dell'acqua piovana per ciascun capoluogo di regione

Il primo punto che si osserva in ascissa è Firenze che ha il maggior costo dell'acqua e il minor tempo per ammortizzare il costo dell'impianto. Osservando come si posizionano nel grafico gli altri punti è possibile dedurre che una diminuzione del costo dell'acqua in bolletta, comporta un aumento del tempo per ammortizzare il costo dell'impianto dell'acqua piovana, in quanto i due parametri sono inversamente proporzionali.

4.6 Soldi risparmiati nei 30 anni di vita utile dell'impianto

Se si considera una vita utile dell'impianto di 30 anni, è possibile effettuare delle valutazioni su quale dei serbatoi potrebbe essere meglio installare tra quelli utilizzati nell'analisi. In questo caso, si potrebbe fare una valutazione economica considerando che, in qualche caso, gli anni per ammortizzare il costo dell'impianto sono inferiori alla vita utile dell'impianto.

I soldi risparmiati *SR* [€] alla fine dei 30 anni di vita utile, vengono calcolati con la formula 4.25:

$$SR = \sum RCAB(i) \quad (4.25)$$

La sommatoria del risparmio del costo dell'acqua in bolletta annuale *RCAB*, si effettua dall'anno successivo rispetto quello in cui viene saldato il costo dell'impianto perché, da quel momento in poi, l'utente non avrà più spese né della bolletta d'acqua, per gli scopi per cui viene utilizzata l'acqua piovana, né del costo dell'impianto.

Di seguito vengono riportati nelle tabelle i soldi risparmiati *SR*, in ciascun capoluogo, considerando i calcoli effettuati mantenendo il costo dell'acqua sia fisso che variabile per ognuno dei 4 impianti considerati. I calcoli sono stati svolti per l'edificio monofamiliare e plurifamiliare:

- edificio monofamiliare

Tabella 4.127 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare ad Ancona

Ancona						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	62	0	29	531,97	21	7.435,5
3000	59	0	28	714,68	20	9.989,2
5000	62	0	29	791,58	21	11.064
10000	82	0	33	0	23	9.955,6

Tabella 4.128 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare ad Aosta

Aosta						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	122	0	40	0	27	1.516,2
3000	117	0	39	0	27	2.614,3
5000	121	0	40	0	27	2.281
10000	165	0	46	0	30	0

Tabella 4.129 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare a bari

Bari						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	70	0	31	0	22	6.142,8
3000	67	0	30	0	21	8.300,3
5000	69	0	31	0	22	9.268,3
10000	92	0	35	0	24	7.892,1

Tabella 4.130 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare a Bologna

Bologna						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	63	0	29	266,87	21	7.282,6
3000	58	0	28	1.074,9	20	10.258
5000	59	0	28	828,93	20	11.586
10000	78	0	33	0	23	11.420

Tabella 4.131 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare a Cagliari

Cagliari						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	99	0	37	0	25	2.841,1
3000	99	0	37	0	25	3.692,9
5000	105	0	38	0	26	4.020,9
10000	146	0	43	0	29	1.982,9

Tabella 4.132 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare a Campobasso

Campobasso						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	181	0	47	0	31	0
3000	178	0	47	0	31	0
5000	185	0	48	0	31	0
10000	253	0	54	0	34	0

Tabella 4.133 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare a Catanzaro

Catanzaro						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	118	0	40	0	27	1.999,8
3000	115	0	39	0	26	2.671,4
5000	118	0	40	0	27	2.997,7
10000	157	0	45	0	30	0

Tabella 4.134 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare a Firenze

Firenze						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	40	0	23	2.838,8	17	13.686
3000	38	0	22	4.314,3	16	18.913
5000	39	0	22	4.351,9	17	20.980
10000	53	0	27	2.642,6	19	20.473

Tabella 4.135 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare a Genova

Genova						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	50	0	26	1.533,1	19	10.206
3000	45	0	24	2.593,5	18	15.352
5000	46	0	24	2.930,4	18	17.346
10000	60	0	28	1.217,7	20	17.021

Tabella 4.136 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare a Milano

Milano						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	197	0	32	0	32	0
3000	183	0	47	0	31	0
5000	187	0	48	0	31	0
10000	250	0	53	0	34	0

Tabella 4.137 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare a Napoli

Napoli						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	99	0	37	0	25	2.843,3
3000	94	0	36	0	25	4.480,6
5000	97	0	36	0	25	4.977,2
10000	129	0	41	0	28	3.212,3

Tabella 4.138 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare a Palermo

Palermo						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	108	0	38	0	26	2.622,4
3000	106	0	38	0	26	3.451,6
5000	110	0	38	0	26	3.196,1
10000	149	0	44	0	29	1.949

Tabella 4.139 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare a Perugia

Perugia						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	48	0	25	1.590,9	18	10.950
3000	46	0	25	2.511,7	18	14.261
5000	48	0	25	2.359,4	18	15.706
10000	65	0	30	0	21	14.725

Tabella 4.140 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare a Potenza

Potenza						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	89	0	35	0	24	3.665
3000	87	0	34	0	24	5.358,5
5000	91	0	35	0	24	5.320,6
10000	126	0	41	0	27	3.283,5

Tabella 4.141 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare a Roma

Roma						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	90	0	35	0	24	3.605,4
3000	85	0	34	0	24	5.537,1
5000	88	0	34	0	24	6.176,7
10000	116	0	39	0	27	4.540,5

Tabella 4.142 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare a Torino

Torino						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	75	0	32	0	22	5.307,4
3000	68	0	30	0	22	8.191,2
5000	69	0	31	0	22	9.290
10000	92	0	35	0	24	7.896,5

Tabella 4.143 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare a Trento

Trento						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	173	0	47	0	31	0
3000	164	0	45	0	30	0
5000	170	0	46	0	30	0
10000	231	0	52	0	33	0

Tabella 4.144 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare a Trieste

Trieste						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	56	0	27	859,23	20	8.667,9
3000	53	0	27	1.518,9	19	11.767
5000	56	0	27	1.287,5	20	12.989
10000	75	0	32	0	22	11.803

Tabella 4.145 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio monofamiliare a Venezia

Venezia						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
1000	89	0	35	0	24	3.631,1
3000	82	0	33	0	23	5.709,7
5000	83	0	34	0	23	6.496,9
10000	109	0	38	0	26	5.793,3

- edificio plurifamiliare

Tabella 4.146 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare ad Ancona

Ancona						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	41	0	23	10.804	17	50.225
10000	34	0	20	18.327	16	76.356
25000	39	0	22	19.666	17	94.806
40000	48	0	25	14.132	18	94.072

Tabella 4.147 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare ad Aosta

Aosta						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	84	0	34	0	23	16.719
10000	73	0	31	0	22	25.281
25000	87	0	34	0	24	28.046
40000	111	0	39	0	26	19.015

Tabella 4.148 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare a bari

Bari						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	48	0	25	7.268,2	18	41.268
10000	41	0	23	12.825	17	59.616
25000	48	0	25	12.635	18	71.739
40000	60	0	28	4.894,1	20	68.407

Tabella 4.149 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare a Bologna

Bologna						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	41	0	23	9.514,4	17	49.402
10000	33	0	20	18.821	15	78.414
25000	37	0	21	23.083	16	101.190
40000	45	0	24	17.703	18	104.790

Tabella 4.150 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare a Cagliari

Cagliari						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	67	0	30	0	21	24.675
10000	60	0	28	2.518,7	20	35.204
25000	75	0	32	0	22	35.662
40000	97	0	36	0	25	29.915

Tabella 4.151 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare a Campobasso

Campobasso						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	121	0	40	0	27	5.915,1
10000	107	0	38	0	26	12.184
25000	129	0	41	0	28	9.662,7
40000	162	0	45	0	30	0

Tabella 4.152 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare a Catanzaro

Catanzaro						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	74	0	32	0	22	20.932
10000	61	0	29	2.488,6	21	34.783
25000	68	0	30	0	22	42.540
40000	85	0	34	0	24	37.982

Tabella 4.153 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare a Firenze

Firenze						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	25	2.978,85	17	26.762	13	91.730
10000	21	7.842,69	14	42.858	12	139.910
25000	23	7.814,1	16	52.580	13	175.720
40000	30	0	19	46.877	14	175.020

Tabella 4.154 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare a Genova

Genova						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	31	0	19	17.995	15	71.690
10000	24	4.410,54	16	33.020	13	115.720
25000	24	6424,2	16	48.095	13	168.550
40000	29	1214,7	18	48.856	14	182.410

Tabella 4.155 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare a Milano

Milano						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	126	0	41	0	27	5.698,4
10000	100	0	37	0	25	12.983
25000	108	0	38	0	26	17.586
40000	133	0	42	0	28	12.474

Tabella 4.156 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare a Napoli

Napoli						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	62	0	29	1.040,6	21	28.397
10000	50	0	26	7.088,5	19	47.186
25000	53	0	26	7.974,9	19	61.785
40000	63	0	29	2.370,8	21	64.696

Tabella 4.157 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare a Palermo

Palermo						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	71	0	31	0	22	23.354
10000	62	0	29	2.435,9	21	34.047
25000	75	0	32	0	22	35.608
40000	96	0	36	0	25	30.278

Tabella 4.158 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare a Perugia

Perugia						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	30	0	19	20.034	15	74.797
10000	24	4.434,36	16	33.199	13	116.340
25000	27	2.985,12	18	40.712	14	147.050
40000	34	0	20	35.671	16	148.620

Tabella 4.159 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare a Potenza

Potenza						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	60	0	28	2.129,3	20	29.762
10000	52	0	26	5.522,7	19	42.787
25000	64	0	29	1.773,0	21	48.384
40000	80	0	33	0	23	40.268

Tabella 4.160 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare a Roma

Roma						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	57	0	28	3.269,1	20	32.978
10000	46	0	24	9.008,1	18	51.148
25000	51	0	26	10.099	19	67.226
40000	63	0	29	2.380,9	21	64.973

Tabella 4.161 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare a Torino

Torino						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	47	0	25	7.291,1	18	41.398
10000	38	0	22	15.272	16	66.948
25000	39	0	22	19.645	17	94.708
40000	47	0	25	17.138	18	97.306

Tabella 4.162 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare a Trento

Trento						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	109	0	38	0	26	8.371,5
10000	87	0	34	0	24	19.213
25000	94	0	36	0	25	23.331
40000	114	0	39	0	26	18.475

Tabella 4.163 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare a Trieste

Trieste						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	36	0	21	13.562	16	61.386
10000	29	624,04	18	25.100	14	93.713
25000	32	0	20	30.677	15	118.810
40000	40	0	23	25.357	17	122.250

Tabella 4.164 - soldi risparmiati considerando che l'impianto ha una vita utile di 30 anni per edificio plurifamiliare a Venezia

Venezia						
Serbatoio [l]	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (costo acqua fisso)**	**SR [€] (costo acqua fisso)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 5% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 5% costo acqua)**	**Tempo per ammortizzare costo impianto [anni] (aumento 10% costo acqua)**	**SR [€] (aumento 10% costo acqua)**
5000	60	0	28	2.113,4	20	29.539
10000	49	0	25	7.176,0	19	47.768
25000	55	0	27	5.906,0	20	59.579
40000	67	0	30	0	21	56.820

5 CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi si è focalizzato sugli impianti di recupero dell'acqua piovana a scala di edificio, per cui sono stati presi in considerazione un edificio abitato da una sola famiglia (edificio monofamiliare) e un secondo edificio abitato da più famiglie (edificio plurifamiliare). Per ciascun edificio sono stati dimensionati 4 differenti impianti ed inizialmente si è sviluppato lo studio come se i due edifici fossero ubicati a Torino. Il dimensionamento è stato eseguito utilizzando principalmente il metodo analitico, descritto dalla norma UNI/TS 11445. Successivamente, lo studio è stato esteso ad altri capoluoghi italiani di regione. Con il metodo utilizzato per il dimensionamento è possibile osservare quanta acqua viene accumulata ogni giorno dal serbatoio perchè l'analisi è a scala giornaliera.

Tali impianti ci permettono di recuperare grandi quantità di acqua che, aumenta, all'aumentare delle capacità del serbatoio installato nell'impianto. Il primo vantaggio che si è potuto osservare, riguarda la possibilità di ridurre i picchi di volume d'acqua che entrerebbero in fognatura il giorno in cui si verifica un evento meteorico, in quanto l'acqua che cade sul tetto dell'edificio in esame viene convogliata dalle grondaie nel serbatoio. Solamente una parte di quest'acqua viene sfiorata e mandata in fognatura lo stesso giorno in cui si verifica la precipitazione.

Installare un serbatoio di maggior volume, implica un aumento dei costi dell'impianto. Quanto appena detto, è stato soggetto di analisi perché ogni persona, interessata ad acquistare un impianto di recupero dell'acqua piovana, si domanderebbe quali vantaggi, dal punto di vista economico, avrebbe nel tempo. Appunto per questo, si sono calcolati gli anni in cui ciascun impianto viene ammortizzato, utilizzando il risparmio del costo dell'acqua in bolletta annuale dovuto all'acqua recuperata nel serbatoio. Gli anni in cui l'impianto viene ammortizzato dipendono dal costo dell'acqua, che cambia per ogni capoluogo. In Italia le reti idriche presentano perdite d'acqua non trascurabili, motivo per cui è plausibile ipotizzare un aumento dei costi futuri delle bollette dell'acqua dei capoluoghi italiani di regione, per poter effettuare maggior investimenti per il servizio idrico.

I risultati mostrano, come un aumento del costo dell'acqua, comporta una riduzione del numero di anni in cui l'impianto viene ammortizzato. Nella maggior parte dei casi si osserva come è difficile ammortizzare un impianto in breve periodo, infatti, tutti gli impianti, vengono ammortizzati nell'ordine della decina di anni. Se si considera che l'impianto abbia una vita utile di 30 anni, l'utente, in alcuni casi, ha un risparmio economico entro i 30 anni che potrebbe essere utilizzato come parametro per scegliere quale tra i 4 impianti è meglio installare nell'edificio.

Ciononostante, è fondamentale far capire al cliente che non bisogna guardare questi impianti solo dal lato economico, ma dovrebbero essere ugualmente utilizzati perchè rappresentano uno strumento prezioso per la sostenibilità ambientale. Infatti, sono ormai noti i problemi di siccità idrica in numerosi paesi, che sono destinati ad aumentare negli anni avvenire. Questo è il messaggio fondamentale che bisognerebbe diffondere nel consumatore, per far capire che l'acqua non va sprecata, anzi aver la possibilità di raccogliere e riutilizzare l'acqua piovana è un'occasione che bisogna sfruttare al meglio per salvaguardare questo bene che è indispensabile per la vita quotidiana di ogni essere vivente.

Bibliografia

[1] Salvini, Stefano, and Palma Soma. Impianti Idrici Negli Edifici Dimensionamento Delle Reti E Progettazione Acqua Di Consumo, Reti Antincendio, Piscine E Sistemi Di Irrigazione. 2.nd ed. Milano: Hoepli, 2013.

[2] Fiori, Matteo, and Fulvio Re Cecconi. Impianti Idrico-sanitari, Di Scarico E Di Raccolta Delle Acque Nell'edilizia Residenziale Calcoli E Dimensionamenti, Materiali, Esecuzioni E Collaudi. Santarcangelo Di Romagna (RN): Maggioli, 2008.

[3] UNI 9182:2014 - Impianti di alimentazione e distribuzione d'acqua fredda e calda - Progettazione, installazione e collaudo

[4] Ruggero Girardello - A.M.I.S. S.r.l. L'impianto d'autoclave: dimensionamento installazione, uso e manutenzione. Edizione 2003.

[5] Claudio Ardizzoia et al – CALEFFI S.P.A. La pressione di distribuzione nelle reti di acqua sanitaria – pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale. Centrostampa S.r.l. Novara, 2018.

[6] Calza, Francesco. *Manuale Degli Impianti Termici E Idrici*. Milano: Tecniche Nuove, 2005.

[7] LENNTECH – GRUNDFOS DATA BOOKLET. Hydro Multi-S – Gruppi di aumento di pressione con 2 o 3 pompe CR, CH o CHV 50Hz. 2000.

[8] Mario Doninelli – CALEFFI S.P.A. Impianti idrosanitari – Quaderni Caleffi. NICOLINI EDITORE.

[9] Elia Cremona et al – CALEFFI S.P.A. Le reti di distribuzione degli impianti idrosanitari – pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale. Centrostampa S.r.l. Novara, 2016.

[10] Mario Doninelli et al – CALEFFI S.P.A. Il dimensionamento delle reti idrosanitarie – pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale. Tipolitografia La Moderna srl, 1998.

[11] Società Metropolitana Acque Torino S.p.A. (SMAT) – Il regolamento del servizio idrico integrato. 2018.

[12] UNI EN 806-2:2008 - Specifiche relative agli impianti all'interno di edifici per il convogliamento di acque destinate al consumo umano - Parte 2: Progettazione

[13] Bianchi, Alberto, and Umberto Sanfilippo. *Pompe E Impianti Di Sollevamento Manuale Di Progettazione E Realizzazione*. Milano: Hoepli, 2001.

[14] Peruginelli, Alessandro. *Pompe Centrifughe E Sistemi Di Pompaggio*. Roma: Aracnce, 2006

[15] UNI/TS 11445, Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano, progettazione, installazione e manutenzione, maggio 2012

[16] Rewatec – Soluzioni ecologiche per lo sfruttamento dell'acqua piovana. Sistemi completi e soluzioni individuali. Catalogo completo 2020.

[17] Rototec. Catalogo generale 2020.

[18] Rototec – Manuale uso e manutenzione DIVISIONE ACQUA. Aprile 2020.

[19] Luigi Fanizzi – ECOACQUE. Impianti per la raccolta e l'utilizzo dell'acqua piovana per usi domestici diversi dal consumo umano: la nuova specifica tecnica UNI/TS 11445:2012.

[20] Elbi – Listino termoidraulica. Edizione n.45 ITA Rev. Luglio 2020.

[21] Elbi – Pompe autoadescanti e centrifughe multistadio. ACTIVE SWITCH – impianti per l'utilizzo dell'acqua piovana.

[22] Il servizio idrico integrato – 13° indagine a cura dell'Osservatorio prezzi e tariffe di Cittadinanzattiva. Marzo 2018.

[23] Istat – Censimento delle acque per uso civile (Anno 2018). Report statistiche. 10 Dicembre 2020.

[24] Elbi – Serbatoi di prima raccolta, sistemi e impianti di depurazione delle acque reflue. Aqua pura. Catalogo listino. Edizione n. 46. Giugno 2020.

Sitografia

[25]https://www.ingegneri.cc/impianti-di-sopraelevazione-acqua-autoclavi-idroaccumulatori-suppressori.html/
[26]https://it.wikipedia.org/wiki/Valvola_di_ritegno
[27]https://it.wikipedia.org/wiki/Collettore
[28]https://www.lavorincasa.it/pressostato-autoclave-regolazione-pulizia/
[29]file:///D:/Utenti/Ninni/Desktop/tesi/file%20controllati%20tesi/Schema%20Autoclave%20per%20Acqua%20Potabile.html
[30]https://www.bender-it.com/competenze-tecniche/tecnologie/il-sistema-it/circuiti-ausiliari
[31]https://www.pippohydro.com/categoria-100-1-QUADRI_ELETTRICI_POMPE_ELETTROPOMPE_SOMMERSE.html
[32]http://www.infoacciaio.com/glossario/zincatura-elettrolitica/
[33]https://it.wikipedia.org/wiki/Pompa#:~:text=Una%20pompa%20%C3%A8%20una%20macchina,aspirazione%20e%20uno%20di%20mandata
[34]https://www.ilmondodellacasa.com/casa/cosa-sono-e-a-cosa-servono-le-pompe-idrauliche.html
[35]https://www.gardnerdenver.com/it-it/knowledge-hub/articles/centrifugal-pump-technology-explained
[36]https://www.asvstubbe.it/blog/come-dimensionare-una-pompa-centrifuga/
[37]https://it.wikipedia.org/wiki/Pompa_autoadescante
[38]https://www.abitazioniecologiche.it/tecnica-e-servizi/impianti/recupero-acque-piovane.html
[39]https://www.edilimpianti.it/approfondimenti/quando-conviene-un-sistema-di-recupero-acqua-piovana
[40]https://www.raccoltaacquapiovana.it/norme-e-leggi/
[41]https://www.majitekno.com/impianto-recupero-acqua-piovana/#:~:text=L'acqua%20piovana%20recuperata%20da,di%20scarico%2C%20irrigazione%20e%20lavatrici
[42]https://biblus.acca.it/recupero-acqua-piovana/
[43]https://termoidraulica.elbi.it/prodotti/serbatoi-in-polietilene-per-interro-e-acque-reflue/rain-system-sistemi-di-recupero-acqua-piovana/
[44]https://www.majitekno.com/impianti-recupero-acqua-piovana/
[45]https://www.mondeovalves.com/ita/nuova-gamma-di-pressoflussostati-per-il-controllo-delle-elettropompe/
[46]https://www.ansa.it/sito/notizie/economia/2020/10/17/tariffe-impennata-negli-ultimi-10-anni-acqua-60_b7f65af8-f2aa-405d-9467-3ef8c4d5e385.html
[47]https://www.lifegate.it/acqua-giusto-prezzo
[48]https://www.nextquotidiano.it/cosi-aumenta-la-bolletta-dellacqua/