




## Comune di San Casciano dei Bagni (SI)



### **Progettazione esecutiva e Coordinamento per la Sicurezza dell'intervento di "EFFICIENTAMENTO ENERGETICO PLESSO SCOLASTICO "ANGELI DI SAN GIULIANO DI PUGLIA" - REALIZZAZIONE DI NUOVO IMPIANTO GEOTERMICO E SOSTITUZIONE DELLA POMPA DI CALORE"**

## **RELAZIONE DI CALCOLO DEGLI IMPIANTI**

<p>Progettista:</p> <p>Ing. <b>Nicola Graniglia</b></p> 	<p>Collaboratori:</p> <p>Ing. <b>Pietro Cateni</b></p> <p>Ing. <b>Giacomo Russomando</b></p>
9 Giugno 2022	



## SOMMARIO

1. PREMESSA.....	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	2
2.1. Riferimenti legislativi.....	2
2.2. Riferimenti normativi.....	3
3. POMPA DI CALORE GEOTERMICA .....	4
3.1. Tipologia degli impianti attuali.....	4
3.2. Criteri di progetto.....	4
3.3. Dimensionamento degli impianti di climatizzazione e del campo sonde geotermiche.....	5
3.3.1. Determinazione delle potenze necessarie.....	5
3.3.2. Rete di distribuzione del fluido termovettore .....	6
3.3.3. Elettropompe .....	8
3.3.4. Vaso di espansione .....	9



## 1. PREMESSA

La presente relazione si propone di illustrare i criteri di dimensionamento e le soluzioni impiantistiche previste nell'ambito dell'intervento di riqualificazione energetica del plesso scolastico "angeli di San Giuliano di Puglia" ubicato nel Comune di San Casciano dei Bagni da realizzarsi tramite la sostituzione dell'attuale pompa di calore aria-acqua posta in copertura con altra pompa di calore acqua-acqua geotermica.

Le soluzioni impiantistiche formulate recepiscono le indicazioni progettuali riportate nel progetto definitivo, le indicazioni del Committente, le regole tecniche pertinenti alla specificità dell'opera, il contesto Normativo, le destinazioni d'uso dei singoli volumi e le attività in essi svolte.

Le scelte di progetto effettuate e le tipologie di impianto previste trovano una loro logica compiuta in una configurazione di impianto finalizzata a far fronte, per potenzialità e per prestazione funzionale, con maggiore efficienza energetica e minore impatto ambientale ai carichi termici della struttura.

2

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

### 2.1. Riferimenti legislativi

- Legge 10/91: Norme in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.
- D.P.R. 412/93: Regolamento per le norme di progettazione, installazione e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dall'art. 4 comma 4 della legge 10/91
- D.P.R. 551/99: Regolamento recante modifiche al D.P.R. 26/08/1993 n.412
- D.Lgs. 192/05: Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia
- D.Lgs. 311/06: Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia
- D.Lgs. 115/08: Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE
- D.P.R. 59/09: Regolamento di attuazione dell'art. 4, comma1, lettere a) e b) del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico in edilizia
- Direttiva 2010/31/UE: Direttiva del Parlamento Europeo sulla prestazione energetica nell'edilizia che aggiorna, integra e sostituisce la Direttiva 2002/91/CE – D.Lgs. 28/2011: Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE
- Direttiva 2012/27/UE: Direttiva sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE
- D.Lgs. 63/2013: Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale



- D.P.R. 75/2013: Regolamento recante disciplina dei criteri di accreditamento per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti e degli organismi a cui affidare la certificazione energetica degli edifici, a norma dell'articolo 4, comma 1, lettera c), del D.Lgs. 192/05
- Legge 90/2013: Conversione, con modificazioni, del decreto legge 4 giugno 2013, n 63
- D.Lgs. 102/2014: Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE. (14G00113)
- D.M. 26/06/2015: Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici
- D.M. 26/06/2015: Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici
- D.M. 26/06/2015: Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici

## 2.2. Riferimenti normativi

- UNI/TS 11300–1 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale;
- UNI/TS 11300–2 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, la ventilazione e l'illuminazione;
- UNI/TS 11300–3 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva;
- UNI/TS 11300–4 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione acqua calda sanitaria.
- UNI/TS 11300–5 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e dalla quota di energia da fonti rinnovabili
- UNI/TS 11300–6 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 6: Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori, scale mobili e marciapiedi mobili
- UNI EN 15193 Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione
- UNI EN ISO 13790 Calcolo fabbisogno riscaldamento e raffrescamento
- UNI EN 15232 Prestazione energetica degli edifici - Incidenza dell'automazione, della regolazione e della gestione tecnica degli edifici
- UNI EN 15241 Calcolo dei consumi dovuti a infiltrazione e ventilazione
- UNI EN 15243 Temperature locali e carichi termici in edifici climatizzati
- UNI 11466:2012 "Sistemi geotermici a pompa di calore - Requisiti per il dimensionamento e la progettazione"
- UNI 11467:2012 "Sistemi geotermici a pompa di calore - Requisiti per l'installazione";
- UNI 11468:2012 "Sistemi geotermici a pompa di calore - Requisiti ambientali".



### 3. POMPA DI CALORE GEOTERMICA

#### 3.1. Tipologia degli impianti attuali

Il sistema di generazione dell'attuale impianto di climatizzazione e produzione di acqua calda sanitaria è costituito da:

- Pompa di calore aria-acqua da 245,5 kW;
- n°10 pannelli solari termici (dimensionati per fornire il 50% del fabbisogno di energia per la produzione di acqua calda sanitaria);
- Caldaia a condensazione (ausiliaria di emergenza)

Tali generatori alimentano un volano termico di capacità 3.000 litri che, attraverso un idoneo sistema di pompaggio, distribuisce il fluido termovettore (acqua trattata) alle 12 zone termiche dell'edificio scolastico che sono distribuite sui tre piani:

- seminterrato;
- piano terra;
- piano primo.

La climatizzazione degli ambienti avviene attraverso ventilconvettori a eccezione dei locali bagno e servizi dove sono installati dei radiatori con una superficie di emissione maggiorata calcolata con temperatura di mandata non superiore a 48°C e  $\Delta t$  10°C.

L'impianto è asservito anche da impianto di aria primaria per l'idoneo ricambio volumetrico in base alle persone presenti nei locali, come prescritto dalla normativa, costituito da recuperatori di calore ad alta efficienza, oltre il 50%, batterie aggiuntive post-riscaldamento e centraline di regolazione a punto fisso (con valvole mix sulla batteria di post-riscaldamento) per la costante immissione in ambiente dell'aria di rinnovo. Per la produzione di acqua calda ad uso sanitario, inoltre, la pompa di calore serve micro-accumuli (boiler termoelettrici) concentrati nei punti di prelievo.

Per autoproduzione di parte dei consumi di energia elettrica della struttura è installato un impianto fotovoltaico con 96 moduli fotovoltaici da 19,68 kW complessivi di potenza.

I generatori, l'impianto fotovoltaico, il volano termico ed il sistema di circolazione del fluido termovettore sono ubicati sulla copertura piana dell'edificio. La pompa di calore ed il gruppo delle pompe di circolazione sono posizionate sotto adeguate coperture.

#### 3.2. Criteri di progetto

La scelta della tipologia degli impianti termici a servizio della zona di progetto è effettuata sulla base di:

- rispetto dei riferimenti progettuali delineati nel progetto preliminare per le diverse tipologie di impianto ed in materia di sicurezza e prevenzione di infortuni nell'ambiente lavorativo;
- osservanza degli obblighi di legge in materia di risparmio energetico,
- rispetto dei criteri normativi e della buona tecnica costruttiva definita in base alle regole dell'arte per ogni singola lavorazione e dotazione impiantistica;
- ottimizzazione dei consumi energetici stagionali;
- raggiungimento delle condizioni di benessere all'interno dell'edificio oggetto di intervento in relazione alle specifiche attività in esso svolte.



### 3.3. Dimensionamento degli impianti di climatizzazione e del campo sonde geotermiche

#### 3.3.1. Determinazione delle potenze necessarie

Il fabbisogno termico dell'edificio utilizzato per il dimensionamento della nuova pompa di calore è quello riportato nella relazione ex Legge 10/1991 a corredo della progettazione per i lavori di adeguamento sismico del plesso scolastico.

Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche principali della nuova pompa di calore di progetto.

<b>Potenzialità termica in riscaldamento B10/W35 (EN 14511:2013)</b>	152 kW <sub>t</sub>
<b>Potenzialità termica in raffreddamento B30/W18 (EN 14511:2013)</b>	130 kW <sub>t</sub>
<b>Potenza massima assorbita</b>	45 kW
<b>COP B10/W35 (EN 14511:2013)</b>	5,50
<b>EER B30/W7 (EN 14511:2013)</b>	4,77

Tabella 1 Caratteristiche pompa di calore geotermica

La pompa di calore sarà dotata di modulo idronico lato evaporatore e modulo idronico lato condensatore dotati di pompe a giri variabili e kit di sicurezza con proprio vaso d'espansione da 25 litri.

Lato condensatore è previsto nel periodo invernale l'ausilio del solare termico attraverso l'installazione di un bollitore-puffer solare da 1.000 litri con proprio vaso d'espansione da 80 litri. Le tubazioni in accesso ed uscita dal boiler avranno sezione ridotta rispetto al bypass che dovrà rimanere sempre aperto in modo da evitare che all'accensione della macchina si possano avere temperature dell'acqua in ingresso al condensatore troppo elevate. Un termostato ad immersione nel puffer farà in modo di azionare una valvola deviatrice sul circuito solare al raggiungimento di 80°C andando a riscaldare il puffer esistente in copertura.

Sulla base delle indicazioni riportate nella Relazione geologico-tecnica integrativa a supporto della progettazione esecutiva ad opera del Dott. Geol. Francesco Agnelli, alla quale si rimanda integralmente per ulteriori dettagli, si ritiene che i materiali lapidei esistenti nel sottosuolo sviluppino una potenza specifica compresa tra circa 50 e 60 W/m. Di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei valori da bibliografia associabili alla potenza specifica estraibile mediamente dai materiali presenti nel sottosuolo.

Tipo di sottosuolo	Calore specifico di estrazione (W/m - 2400 h)
Sottosuolo e sedimenti poveri secchi	20
Sottosuolo e sedimenti saturi d'acqua	50
Roccia consolidata con elevata conducibilità termica	70
Ghiaia e sabbia secche	< 20
Ghiaia e sabbia sature d'acqua	55-65
Ghiaia e sabbia con un notevole flusso di acqua di falda	80-100
Argilla	30-40
Calcere	45-60
Arenaria	55-65
Rocce magmatiche silicee	55-70
Rocce magmatiche basiche	35-55
Gneiss	60-70

Tabella 2 Calore specifico di estrazione in funzione della tipologia di sottosuolo



I materiali presenti entro circa 100 m da p.c. sono riconducibili a substrato roccioso calcareo stratificato, con una macroporosità non eccessivamente sviluppata, tale da far presupporre buoni valori di trasmissione del calore alle sonde geotermiche secondo i valori medi sopra citati di bibliografia. Solo entro i primi 10 m si alternano materiali egualmente lapidei riconducibili a travertino con orizzonti sabbiosi e detritici talora alternati a livelli limosoargillosi e siltico-argillitici con locali livelletti calcarei.

È stata prevista la realizzazione di un campo pozzi a 18 sonde a doppia U che permettono un incremento della potenza scambiata del 20% per cui la lunghezza della singola sonda per scambiare con il terreno la potenza sufficiente dovrà essere pari a 110 m.

### 3.3.2. Rete di distribuzione del fluido termovettore

6

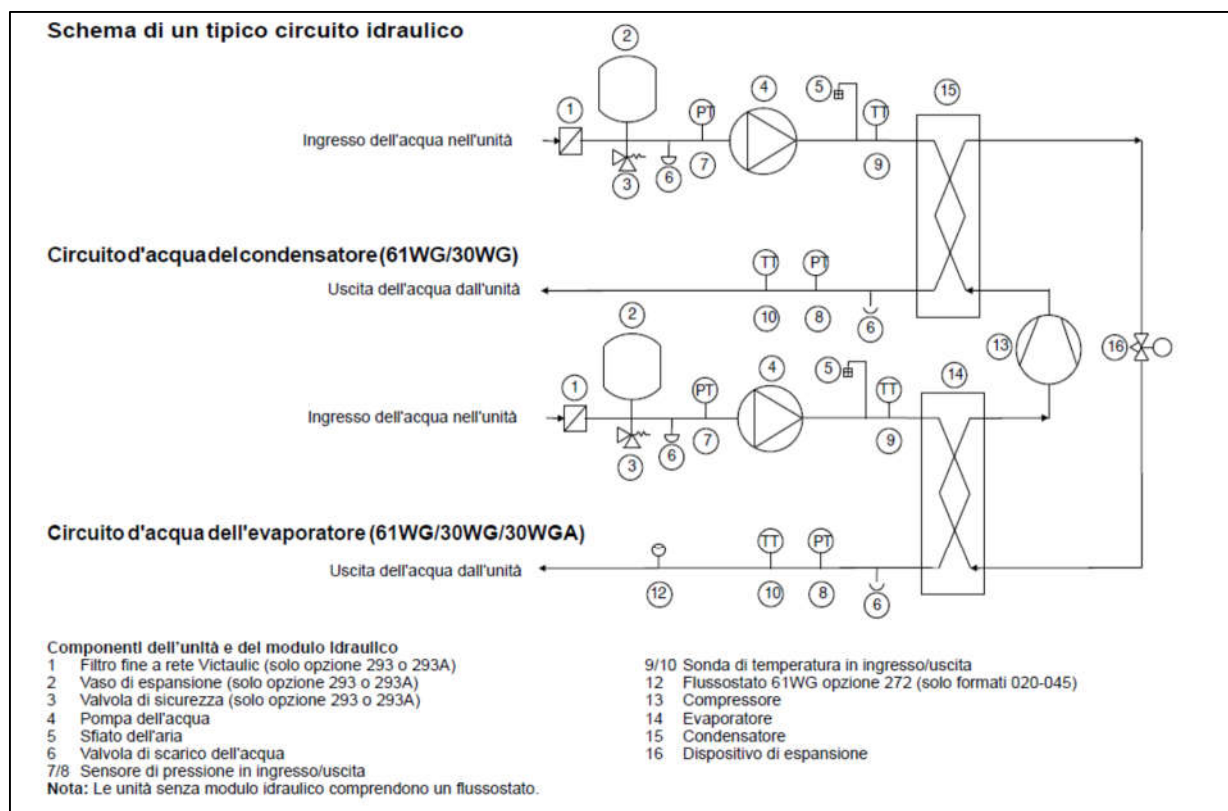


Figura 1 Schema del circuito idraulico con dispositivi dei gruppi idronici

Tubazione mandata impianto (CDS inverno)			
Q =	133000	W	Potenza impianto
$\Delta t$ =	10	°K	Differenza temperatura mandata/ritorno
c =	4,18		Capacità termica liquido
w =	1,1	m/sec	Velocità di progetto impianto
V' =	3,181818	l/sec	Portata impianto
V' =	11,45455	m <sup>3</sup> /h	Portata Impianto
D <sub>min</sub> =	60	mm	Sezione minima tubazione
J =	12,5	m/km	123 Pa/m



Tubazione mandata alle sonde 1-15			
Q =	7388,889	W	Potenza impianto
$\Delta t =$	5	°K	Differenza temperatura mandata/ritorno
c =	4,18		Capacità termica liquido
w =	0,7	m/sec	Velocità di progetto impianto
V' =	0,353535	l/sec	Portata impianto
V' =	1,272727	m³/h	Portata Impianto
D <sub>min</sub> =	25	mm	Sezione minima tubazione
J =	24	m/km	235 Pa/m

Tubazione mandata alle sonde 16-18			
Q =	7388,889	W	Potenza impianto
$\Delta t =$	5	°K	Differenza temperatura mandata/ritorno
c =	4,18		Capacità termica liquido
w =	0,45	m/sec	Velocità di progetto impianto
V' =	0,353535	l/sec	Portata impianto
V' =	1,272727	m³/h	Portata Impianto
D <sub>min</sub> =	31	mm	Sezione minima tubazione
J =	32	m/km	314 Pa/m

Tubazione mandata al collettore sonde (EVP inverno)			
Q =	133000	W	Potenza impianto
$\Delta t =$	5	°K	Differenza temperatura mandata/ritorno
c =	4,18		Capacità termica liquido
w =	2	m/sec	Velocità di progetto impianto
V' =	6,363636	l/sec	Portata impianto
V' =	22,90909	m³/h	Portata Impianto
D <sub>min</sub> =	63	mm	Sezione minima tubazione
J =	44	m/km	431 Pa/m

Tubazione mandata nella sonda			
Q =	3694,444	W	Potenza impianto
$\Delta t =$	5	°K	Differenza temperatura mandata/ritorno
c =	4,18		Capacità termica liquido
w =	0,35	m/sec	Velocità di progetto impianto
V' =	0,176768	l/sec	Portata impianto
V' =	0,636364	m³/h	Portata Impianto
D <sub>min</sub> =	25	mm	Sezione minima tubazione
J =	8	m/km	78 Pa/m





## 3.3.3.Elettropompe

CALCOLO DELLA PORTATA DEL CIRCOLATORE ELETTRONICO su evaporatore									
Q =	133	kW		Fabbisogno energetico massimo					
$\Delta t =$	5	°C		Differenza di temperatura tra mandata e ritorno					
V =	3,6 x 1000 x Q / (4,18 x DT)			Portata acqua in l/h					
V =	22909	l/h =		22,91	mc/h				
V =	6,36	l/sec							
Perdite puntuali									
Perdite carico valvola miscelatrice:		0,1	bar	=	1,01974	mH <sub>2</sub> O	Perdite carico con $\Delta t = 15^\circ\text{K}$ (0,15 a $\Delta t$ 20)		
Perdite carico valvola intercettazione		0	KPa	=	0	mH <sub>2</sub> O	Perdite carico con $\Delta t = 15^\circ\text{K}$ (85,2 kPa a $\Delta t$ 20)		
Perdita carico valvola		0,5	mH <sub>2</sub> O	=	0,5	mH <sub>2</sub> O	N. =	4	
Perdite lineari ai pozzi 1- 15									
Lh =	10	m		Tubazione principale			DN65		
Rh =	44	mmH <sub>2</sub> O/m		Resistenza lineare tratto orizzontale					
Lv =	0	m		Stacco 1					
Rv =	32	mmH <sub>2</sub> O/m		Resistenza lineare tratto orizzontale			DN25		
Lh =	100	m		Stacco 2					
Rh =	24	mmH <sub>2</sub> O/m		Resistenza lineare tratto orizzontale					
Lh =	230	m		Profondità sonde			DN25		
Rh =	8	mmH <sub>2</sub> O/m		Resistenza lineare tratto orizzontale					
Hp =	12,38	m		121,37	kPa				
NB prevalenza disponibile 150 KPa									
Perdite lineari ai pozzi 16-18									
Lh =	10	m		Tubazione principale			DN65		
Rh =	44	mmH <sub>2</sub> O/m		Resistenza lineare tratto orizzontale					
Lv =	0	m		Stacco 1					
Rv =	32	mmH <sub>2</sub> O/m		Resistenza lineare tratto orizzontale			DN25		
Lh =	170	m		Stacco 2					
Rh =	16	mmH <sub>2</sub> O/m		Resistenza lineare tratto orizzontale					
Lh =	220	m		Profondità sonde			DN25		
Rh =	8	mmH <sub>2</sub> O/m		Resistenza lineare tratto orizzontale					
Hp =	9,84	m		96,47059	kPa				
NB prevalenza disponibile 160 KPa									

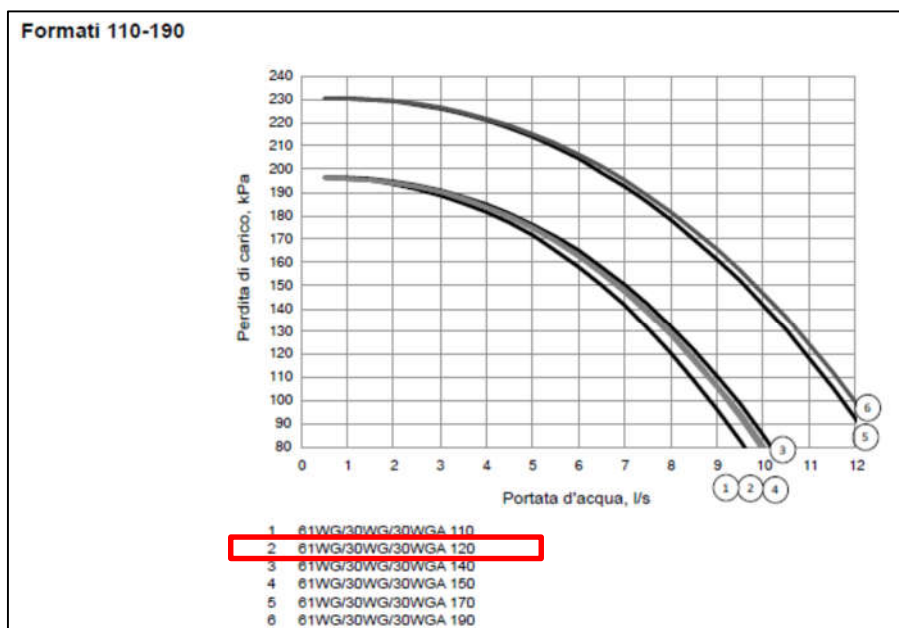


Figura 2 Curva caratteristica del circolatore selezionato

## 3.3.4.Vaso di espansione

Calcolo del volume del vaso d'espansione a membrana $t_a > 55^\circ\text{C}$ Circuito delle sonde geotermiche su puffer solare			
Formula di riferimento:			
$V = E / (1 - P_i / P_f)$			
C =	1000	L	Contenuto di acqua dell'impianto
$t_a =$	80	$^\circ\text{C}$	temperatura di progetto
$P_{vs} =$	4	bar	Pressione di taratura della valvola di sicurezza
D =	1	m	Dislivello tra vaso d'espansione e valvola di sicurezza
e =	0,0320		coefficiente di dilatazione dell'acqua
$E = C \times e$			
E =	32	L	Volume di dilatazione dell'acqua passando da impianto freddo ad impianto caldo
$P_i =$	1,3	bar	pressione di precarica della membrana
$P_a =$	2,3	bar	pressione assoluta iniziale lato gas= $p_i + 1$
$P_f = P_{vs} + 0,5$			pressione massima assoluta di esercizio
$P_f =$	4,5	bar	
$V =$			
V =	75,682	L	

Calcolo del volume del vaso d'espansione a membrana $t_a < 55^\circ\text{C}$ Circuito delle sonde geotermiche			
Formula di riferimento:			
$V = E / (1 - P_i / P_f)$			
C =	4662,825	L	Contenuto di acqua nel circuito sonde
$t_a =$	25	$^\circ\text{C}$	Temperatura di progetto
$P_{vs} =$	4	bar	Pressione di taratura della valvola di sicurezza
D =	1	m	Dislivello tra vaso d'espansione e valvola di sicurezza
e =	0,003		Coefficiente di dilatazione dell'acqua
$E = C \times e$			



E =	13,98848	L	Volume di dilatazione dell'acqua passando da impianto freddo ad impianto caldo					
P <sub>i</sub> =	1,3	bar	Pressione di precarica della membrana					
P <sub>a</sub> =	2,3	bar	Pressione assoluta iniziale lato gas = p <sub>i</sub> +1					
	Pf = Pvs+D/10+1							
P <sub>f</sub> =	4,5	bar						
V =	19,7	L						

Firenze, 9 Giugno 2022



*Nicola Graniglia*