

10 – LA SORGENTE SAN CHIODO (CASTELSANTANGELO SUL NERA)

10.1 Storia e caratteristiche tecniche dell'opera di captazione

La sorgente San Chiodo, ubicata tra l'abitato di Castelsantangelo sul Nera e la frazione di Vallinfante emerge ad una quota di 756m s.l.m. in

destra idrografica del fiume Nera (Fig.10.1).
La costruzione della sorgente risale all'inizio degli anni '70 quando diversi Comuni delle province di Macerata ed Ancona si consorziarono per la

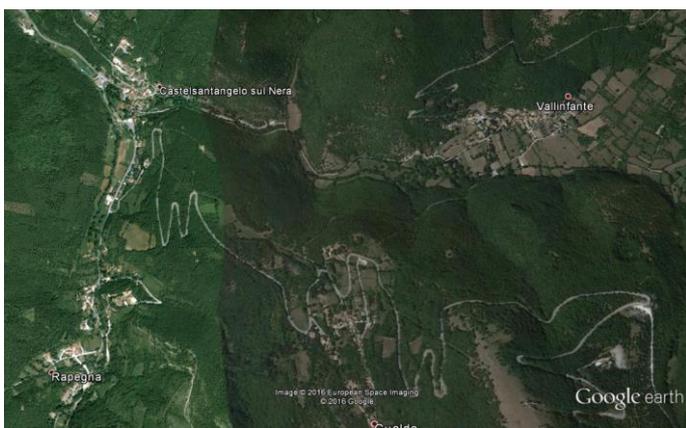


Fig.10.1 – Ubicazione della sorgente San Chiodo (a sinistra) e ingresso dell'opera di captazione (a destra)

realizzazione di un acquedotto in grado di far fronte alle sempre crescenti esigenze idriche del territorio; fino ad allora infatti gran parte dell'approvvigionamento idrico era legata allo sfruttamento di falde contenute negli acquiferi di subalveo, spesso soggetti a fenomeni di inquinamento bio-chimico. L'idea dell'acquedotto infatti nacque con l'idea di integrare i quantitativi idrici già a disposizione dei vari Comuni ma che alle volte mostravano caratteri organolettici non eccellenti.

Gli studi idrogeologici sulla sorgente S. Chiodo a Castelsantangelo sul Nera, iniziarono negli anni '70 per mano del prof. Manfredi Manfredini, Ordinario di Geologia all'Università degli Studi di Roma coadiuvato dalla Società Idrotecnico di San Lorenzo in Campo (Pu); tali studi furono rivolti alla definizione delle caratteristiche e della potenzialità dell'acquifero per essere sfruttato a scopo idropotabile.

I lavori di costruzione dell'opera di captazione iniziarono invece nel 1981 ad opera del Genio Civile di Macerata per poi proseguire sotto la direzione del Consorzio per l'Acquedotto del Nera. Tali lavori realizzarono la lunga galleria (Fig.10.2) fino all'attuale camerone finale dove, tramite otto dreni sub-orizzontali lunghi 150 metri, l'acqua di falda viene indirizzata alle condotte. L'opera di presa, è stata infine completata nel marzo del 2007

dall'Impresa Betti s.p.a. di Terni con una portata di progetto nominale di 700 litri al secondo.



Fig.10.2 – Sorgente san Chiodo: particolare della galleria d'ingresso.

10.2 Caratteri geologici e geomorfologici generali dell'area di studio

La sorgente San Chiodo, emerge in destra idrografica del Fiume Nera a monte dell'abitato di Castelsantangelo sul Nera e della confluenza fra il

fiume Nera stesso ed il Fosso di Rapegna (Fig.10.3).

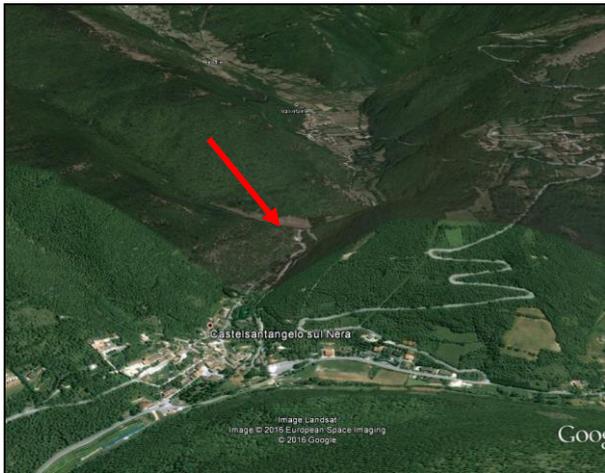


Fig.10.3 – Panoramica (da W) del tratto montano del fiume Nera alla confluenza con il Fosso di Rapegna: la freccia indica l'ubicazione dell'opera di captazione della sorgente San Chiodo

L'area di studio è ubicata interamente all'interno del Massiccio dei Monti Sibillini, nel tratto della Dorsale Umbro-marchigiana che qui raggiunge quote intorno ai 2000 m. I rilievi maggiori, Monte Bove (2112 m), Monte Bicco (2169 m, il più elevato della zona), Monte Cardosa (1818 m) e Monte Torrone (2117 m), presentano tutti

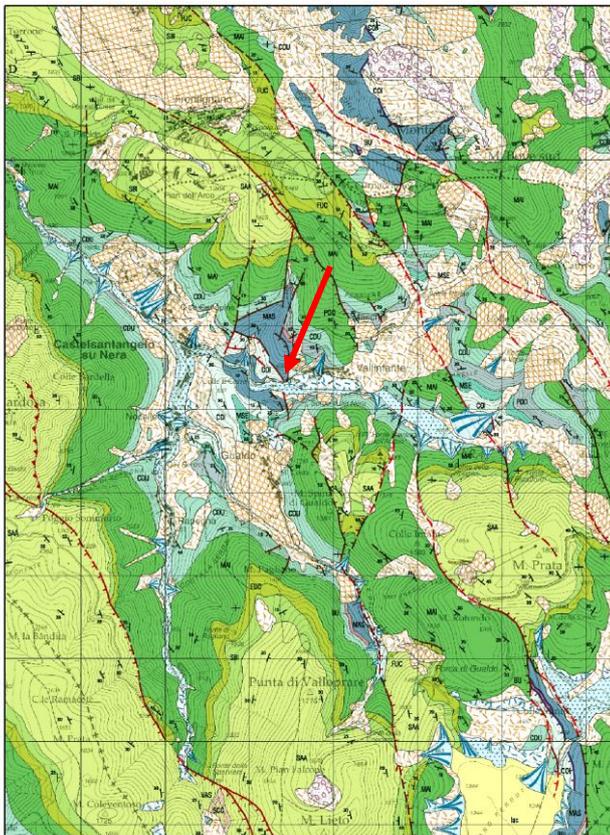


Fig.10.4 - Stralcio della carta geologica dei Monti Sibillini a scala 1:40,000 (Pierantoni et al., 2013). La sorgente San Chiodo è indicata dalla freccia

morfologie aspre, caratterizzate da versanti acclivi, e rupi; la presenza di potenti ed estese coltri detritiche, valli profondamente incise che diventano talvolta gole e forre sono infatti a testimonianza di un paesaggio ancora giovane ed estremamente dinamico dal punto di vista geomorfologico.

Anche i fondivalle presentano morfologie tipiche degli alvei montani, con valli strette, spesso sovralluvionate e regime torrentizio delle acque. Le quote più basse (circa 670 metri) sono ubicate lungo l'alveo del Fiume Nera al confine con il territorio di Visso.

Dal punto di vista geologico la valle del fiume Nera in questo settore incide una brachianticlinale con asse circa NW-SE con al nucleo la formazione del Calcere Massiccio (Fig.10.4): al di sopra è presente tutta la Successione completa dalla Corniola fino alla Scaglia rosata. Poco più a nord invece la stessa formazione del Calcere massiccio affiora a quota circa 1900m, in condizioni di alto strutturale, in corrispondenza del rilievo di Monte Bove; un sistema di faglie giurassiche realizza il contatto fra questo e quello presente lungo la valle del fiume Nera.

10.3 Idrogeologia dell'area di studio

La sorgente San Chiodo, emerge come detto in destra idrografica del fiume Nera ad una quota di 756m s.l.m., in corrispondenza dell'affioramento di Calcere massiccio visibile lungo la strada che da Vallinfante scende verso l'abitato di Castelsantangelo sul Nera. Come ben visibile nella carta idrogeologica di Fig.10.5 e ancor più nei profili di Fig.10.6, l'alimentazione alla sorgente avverrebbe tutta a spese dell'acquifero basale (Calcere massiccio), che a sua volta caratterizzerebbe una più grande idrostruttura, orientata circa N-S, estesa dai Piani di Castelluccio fino al torrente Ussita (Boni & Petitta, 2007).

Un po' più complesso risulta il posizionamento dei limiti dell'area di alimentazione della sorgente (Fig. 10.5). Secondo il modello idrogeologico qui proposto, il limite settentrionale si posizionerebbe in corrispondenza del rilievo di Monte Bove Nord, probabile zona di spartiacque anche fra il flusso diretto verso il torrente Ussita e quello verso il Nera (Fig.10.6). Il flusso di falda avrebbe pertanto in questo settore un andamento prevalente circa NNE-SSW con un gradiente medio del 15-18%.

Verso E invece il limite si collocherebbe in corrispondenza del rilievo di Cima Cannafusto (Fig.10.6), peraltro coincidente con il limite dell'idrostruttura più orientale, sempre orientata N-S, che comprende le porzioni montane dei Fiumi Aso, Tenna, Ambro e Fiastrone (Boni & Petitta, 2007). Tale spartiacque si formerebbe in corrispondenza di faglie dirette giurassiche successivamente "verticalizzate" o addirittura "rovesciate" per effetto della tettonica compressiva.

Il processo avrebbe anche favorito l'"impermeabilizzazione" di questi elementi tettonici

e la conseguente separazione delle direzioni di flusso attraverso le due idrostrutture.

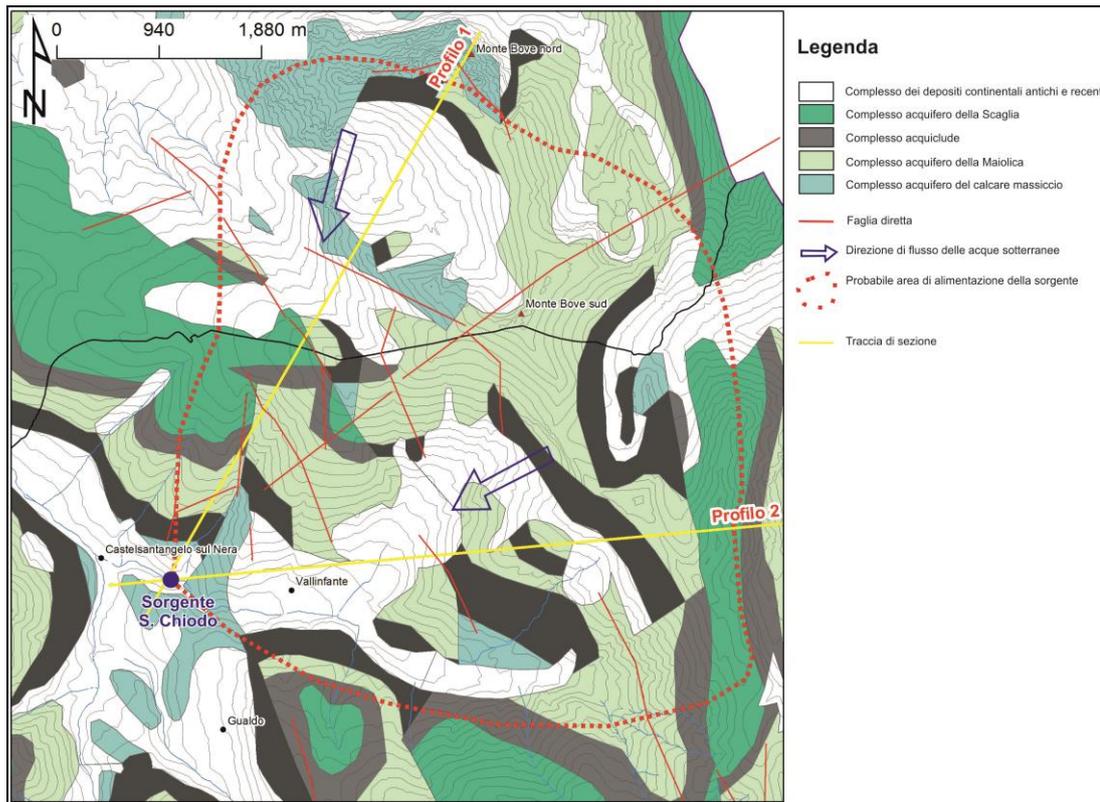


Fig.10.5 – Schema idrogeologico dell'area di studio

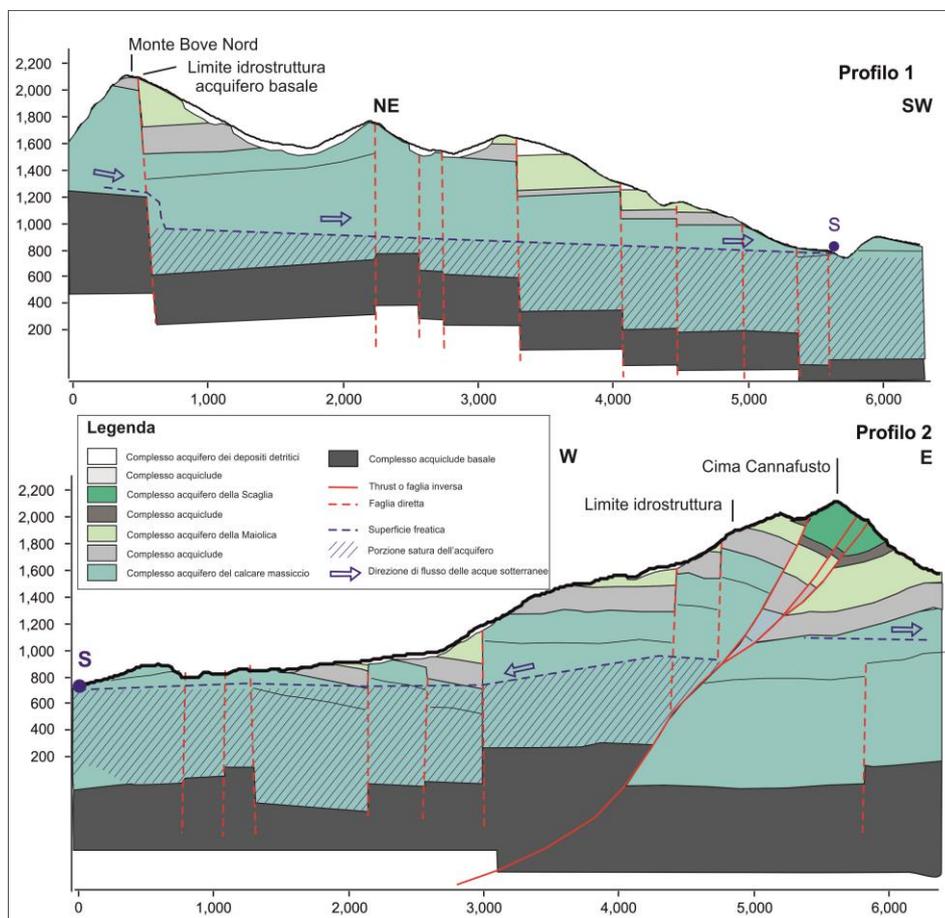


Fig.10.6–Profili idrogeologici in corrispondenza dell'opera di captazione; le tracce sono riportate in Fig.10.5

Secondo tale modello, successivamente verificato anche mediante il bilancio idrologico della sorgente, l'area di alimentazione si estenderebbe verso nord e verso est per circa 26 km² (Fig.10.5). L'alimentazione pressoché esclusiva ad opera dell'acquifero basale sarebbe confermata anche dall'osservazione dell'idrogramma sorgentizio: la pressoché assenza di correlazione con gli eventi pluviometrici, l'entità e la costanza nei volumi erogati dalla sorgente nel corso dell'anno idrologico

e il basso coefficiente di recessione medio calcolato (0.0025), rappresentano caratteristiche tipiche di sorgenti alimentate da acquiferi profondi (Fig.10.7).

Una conferma ulteriore del modello proposto potrebbe eventualmente arrivare in futuro da osservazioni giornaliere sulla temperatura e la conducibilità elettrica della sorgente (misure purtroppo non disponibili al momento dell'effettuazione del presente studio).

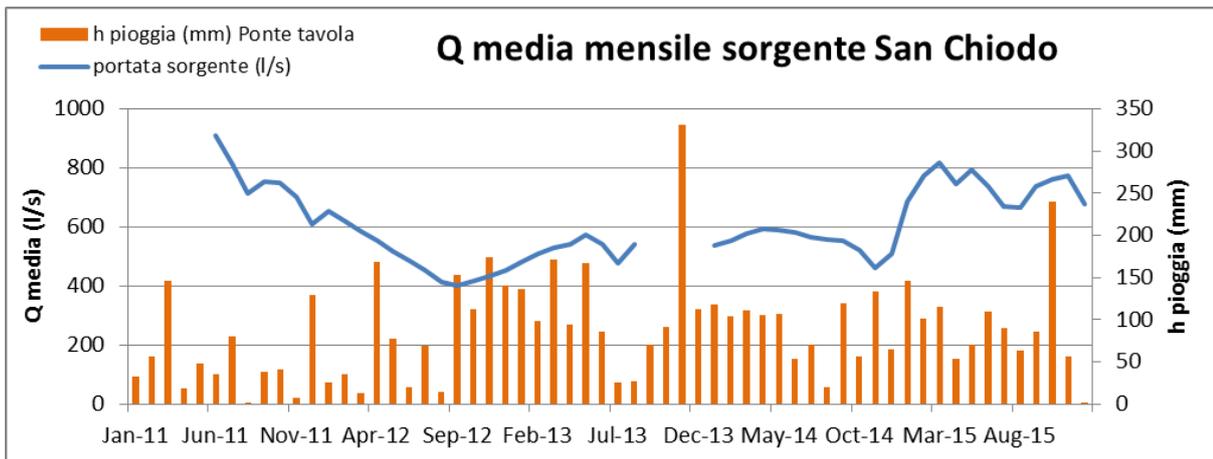


Fig.10.7 - Idrogramma sorgentizio mensile relativo agli anni 2011-2015.

Studi effettuati in passato (Boni & Petitta, 2007) avevano ipotizzato, per l'acquifero basale, una provenienza prevalentemente da S-SE (Fig.10.8).

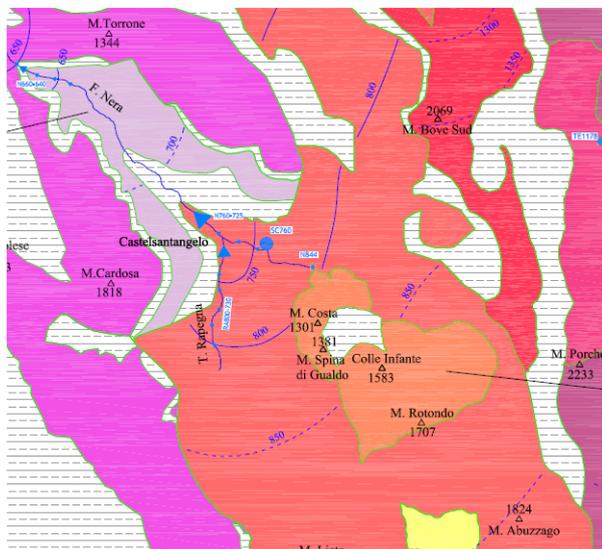


Fig.10.8 - Particolare dello "Schema di sintesi dei modelli idrogeologici concettuali" relativo all'area della sorgente San Chiodo (Boni & Petitta, 2007).

Dall'osservazione di alcune misure piezometriche effettuate in passato (anni 1990-1991) e di quelle più recenti gentilmente fornite dalla Società Acquedotto del Nera, è stato invece possibile confermare come, nell'intorno della sorgente, la direzione principale dei flussi idrici provenga dal settore nord-orientale (Fig.10.9).

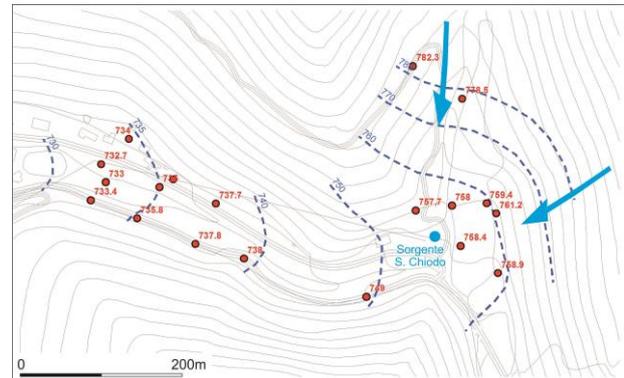


Fig.10.9 - Ricostruzione del probabile andamento del flusso di falda in corrispondenza della sorgente.

10.4 Bilancio idrologico della sorgente San Chiodo

La verifica del modello idrogeologico proposto è stata poi effettuata calcolando il bilancio idrologico della sorgente. Tale operazione è risultata tuttavia abbastanza problematica a causa della qualità dei dati disponibili (sia di portata della sorgente che meteorologici), per molti aspetti non adeguata.

I dati di portata della sorgente utilizzati nel presente studio ad esempio, relativi agli anni 2011-2015 e forniti, come detto, dalla Società Acquedotto del Nera, consistono in dati giornalieri per quanto riguarda i quantitativi captati mentre quelli in scarico (molto consistenti) sono stati misurati solamente ad intervalli variabili fra due e quattro settimane. Per arrivare ai totali giornalieri si è reso

pertanto necessario procedere ad un'interpolazione lineare fra le varie misure in modo da colmare le lacune esistenti.

Tale operazione se da un lato ha permesso di avere una stima attendibile dei volumi totali, è stata invece molto meno utile per un'analisi accurata

dell'idrogramma sorgentizio; osservando infatti l'idrogramma di Fig.10.10, relativo all'anno 2015 appare evidente come la "forma" dello stesso sia particolarmente artificiosa e lontana dall'andamento reale osservato in contesti idrogeologici analoghi.

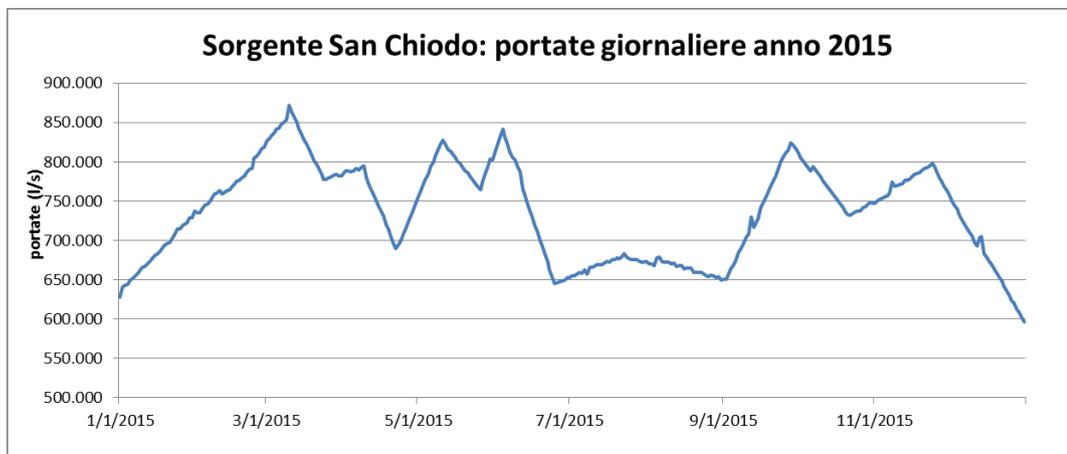


Fig.10.10 – Idrogramma sorgentizio relativo all'anno 2015

Per il calcolo dei parametri basati sulla curva di recessione si è quindi provveduto ad un'analisi comparata su più anni che ha permesso di limitare, anche se solo parzialmente, l'incertezza legata alle approssimazioni sopra descritte.

Problemi analoghi si sono verificati anche al momento del calcolo del bilancio idrologico (Tab.10.1). Se da un lato infatti i valori di temperatura dell'aria disponibili per la stazione di Monte Bove Sud sono apparsi in linea con altre stazioni limitrofe e con il gradiente medio dell'area dei Monti Sibillini, i dati di pioggia registrati alle tre

stazioni di riferimento (Monte Prata, Monte Bove Sud e Ponte Tavola) sono risultati molto distanti (inferiori mediamente di 300-400mm annui) dalle medie calcolate dai principali Istituti ed Enti meteorologici della Regione Marche (Centro di Ecologia e Climatologia dell'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata, Assam, Dipartimento per le Politiche Integrate di Sicurezza e Protezione Civile). Di conseguenza il valore annuale di precipitazione è stato ricavato dalle carte delle precipitazioni medie annuali prodotte dai soggetti suddetti.

Sorgente San Chiodo								
		A_{bacino} (m^2)	T/2 (d)	Dimensioni area di salvaguardia (Civita, 2005)				
				classe	D	d		
		26000000	>50	D				
Regressione 2015 mensile								
Q_0 (l/s)	Q_t (l/s)	T (d)	α	P (mm)	ETR (mm)	P_{eff} (mm)	I_{eff} (mm)	V_{tot} (m^3/y)
841	650	86	0.0029956	1350	382	968	774.4	20282000
W_0 (m^3)		W_t (m^3)	ΔW (m^3)	T_{rin} (%)	t_{rin} (yr)	DT_t (d)	R (m^3)	I_{eff} (mm)
24256342.52		18747921.37	5508421.15	0.227092	4.403502	333.8216	20134400	780.076923

Tab.10.1 - Bilancio idrogeologico della sorgente San Chiodo.

Utilizzando quindi i valori medi riferiti agli anni 2014-2015 si è proceduto, come negli altri casi, alla stima dei quantitativi di infiltrazione applicando il

Metodo di Turc per il calcolo dell'Evapotraspirazione Reale (corretto in funzione delle precipitazioni) e un valore del C.I.P. (Coefficiente di Infiltrazione Potenziale) dell'80% (0.8).

Con:

- Q0 (l/s) = portata inizio recessione
- Qt (l/s) = portata fine recessione
- T (g) = tempo recessione
- α = coeff. recessione
- $W_0(m^3)$ = immagazzinamento dinamico
- $W_t(m^3)$ = immagazzinamento fine recessione
- $\Delta W(m^3)$ = volume liberato durante la recessione
- $T_{rin}(\%)$ = tasso di rinnovamento
- $t_{rin}(a)$ = tempo di rinnovamento
- DTt (d) = delay time
- P (mm) = precipitazioni
- ETR (mm) = evapotraspirazione reale
- $P_{eff}(mm)$ = precipitazioni efficaci
- $I_{eff}(mm)$ = infiltrazione efficace
- R (m^3) = ricarica durante l'anno idrologico

Il valore medio dell'ETR è risultato essere di 382mm. Sottraendo questo valore alle precipitazioni medie annue estrapolate dalle carte regionali (1350mm) e moltiplicando il risultato per il C.I.P. scelto, si è ottenuto un valore medio annuale di Infiltrazione efficace di circa 774mm. Tenuto conto che il volume medio erogato dalla sorgente è di circa 20.3 Mm³/anno, l'areale di ricarica risulterebbe, come detto, di circa 26km², in linea con il modello idrogeologico ipotizzato.

Seppur con i limiti sopra esposti, anche l'analisi dell'idrogramma sorgentizio ha fornito interessanti informazioni sul comportamento idrodinamico della sorgente; tali informazioni dovranno ovviamente essere verificate in futuro una volta migliorato il sistema di monitoraggio delle portate.

Molto interessanti sono risultati i valori del Tasso di rinnovamento (T_{rin}) in percentuale e del Tempo di rinnovamento (t_{rin}) in anni che hanno fornito valori rispettivamente del 22% e di 4.4 anni: tali valori sono caratteristici di un acquifero con un'ottima capacità di autoregolamentazione e un considerevole volume delle riserve regolatrici.

Anche il valore del Delay Time (DT_t) (numero di giorni in assenza di precipitazioni in cui le portate possono sostenere portate prossime a quelle di esaurimento), ha fornito valori molto alti (333 giorni) in linea con il modello idrogeologico proposto.

10.5 Vulnerabilità all'inquinamento e proposta di delimitazione delle aree di salvaguardia della sorgente San Chiodo

Come per le altre sorgenti ubicate all'interno delle dorsali carbonatiche dell'Appennino, l'assenza di nuclei abitativi o insediamenti produttivi rilevanti all'interno dell'area di alimentazione rende estremamente bassa la vulnerabilità all'inquinamento della Sorgente San Chiodo.



Fig.10.11 - Abaco per la determinazione della situazione di vulnerabilità in funzione del tempo di dimezzamento (da Civita, 2005)

Anche in questo caso per la delimitazione preliminare delle aree di salvaguardia si è deciso di utilizzare il criterio temporale per le due zone di maggior vincolo (ZTA e ZR) ed il criterio idrogeologico per la ZP. Nel primo caso, utilizzando il consueto metodo di Civita (2005) e il tempo di dimezzamento della portata massima, si è ottenuto un valore incerto ma comunque superiore ai 50 giorni, valore che colloca la sorgente nella classe D a minor vulnerabilità (Fig.10.11 e Tab.10.2).

Tipo di opera	Situazione	Soggiacenza (m)	D (m)	d (m)
Alla sorgente	A	nulla	40	10
	B	nulla	30	5
	C	nulla	20	5
	D	nulla	10	2
In acquifero	A	> 20	30	5
	B	> 20	20	4
	C	> 20	15	3
	D	> 20	10	2

Tab.10.2-Valori indicativi di D e d per il dimensionamento della ZTA di una sorgente nelle diverse situazioni di vulnerabilità (modificato da Civita, 1988 e 2005).

Tuttavia, come osservato in altri contesti, i valori calcolati per la ZTA ed indicati in Tab.10.2 non sono stati utilizzati, dato che la perimetrazione esistente soddisfa ampiamente i parametri richiesti (Fig.10.12).

Per quanto riguarda la ZR, è stata definita un'area a partire dall'esterno della struttura che ospita l'impianto, tenendo conto del valore indicato in Tab.10.3 (200m-situazione D). Vista la profondità dell'acquifero di riferimento e l'assenza di vie preferenziali di drenaggio o condotti carsici importanti in superficie non sono state previste aree di ricarica diretta nella zona di alimentazione (Fig.10.13).



Fig.10.12 – Proposta di perimetrazione della ZTA per la sorgente San Chiodo (in rosso).

Situazione	Estensione a monte	Note
A	Tutta l'area di alimentazione	Efficacia limitata
B	Tutta l'area di alimentazione	Riducibile a 2000 m in caso di acquifero protetto in superficie
C	L = 400 m	
D	L = 200 m	

Tab. 10.3 – Dimensionamento della ZR nelle diverse situazioni di vulnerabilità (modificato da Civita, 1988 e 2005)

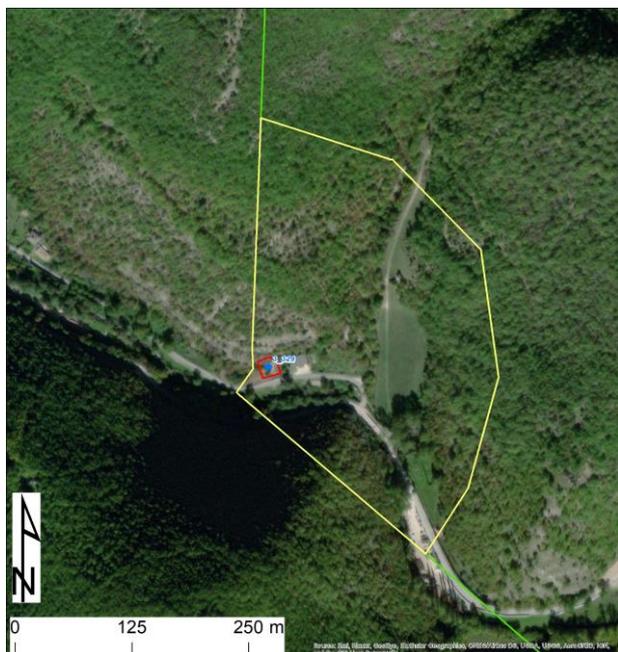


Fig.10.13- Proposta di perimetrazione della ZR (in colore giallo) per la sorgente San Chiodo.

Per quanto riguarda infine la Zona di Protezione (ZP), è stata delimitata come da normativa tutta la possibile area di ricarica dell'acquifero (Fig.10.14).



Fig.10.14 - Proposta di perimetrazione della ZP (in colore verde) per la sorgente San Chiodo.