

IL MODELLO DRASTICA PER LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ

(Luigi Fanizzi – ECOACQUE®)

Il modello **DRASTIC** è una tecnica di mappatura parametrica della vulnerabilità delle falde acquifere, ben nota ed ampiamente utilizzata. È stata creata negli Stati Uniti nell'ambito di uno sforzo dell'EPA (*Environmental Protection Agency, 1987*) con l'obiettivo di assistere i gestori, i pianificatori e gli amministratori territoriali. Grazie alla facilità di raccolta dei dati, il modello DRASTIC può essere utilizzato in un'ampia gamma di località (*Aller et Al. 1987*). *Panagopoulos et Al. (2006)* sostengono che "la selezione di molti parametri e delle loro interrelazioni riduce la probabilità di ignorare alcuni parametri importanti, limita l'effetto di un errore accidentale nel calcolo di un parametro e quindi aumenta l'accuratezza statistica del modello". Questo metodo è un noto metodo parametrico di sovrapposizione, ad indice, che valuta, quantitativamente, il grado della vulnerabilità intrinseca sulla base delle proprietà fisiche ed idrogeologiche dell'acquifero (*Aller et Al. 1987*), nel senso che, attraverso gli indici ottenuti, volta per volta, è possibile comparare la vulnerabilità tra aree significative diverse (almeno di 40 ha ognuna). Questi parametri, considerati nel modello per le valutazioni, sono moltiplicati per il rispettivo peso e sommati tra loro per dare il valore dell'indice DRASTIC (*Rosen 1994*). **D** indica la profondità dell'acqua (*Depth*), **R** la ricarica netta (*Recharge*), **A** l'acquifero (*Aquifer Media*), **S** il suolo (*Soil Media*), **T** la topografia (*Topography*), **I** l'impatto della zona vadosa od insatura (*Impact of the vadose zone*), **C** la conducibilità (*Conductivity of the Aquifer*). Tali parametri possono essere suddivisi in:

- ▣ **statici:** caratteri tessiturali del suolo, non saturo, acquifero (saturo), topografia, conducibilità idraulica;
- ▣ **dinamici:** soggiacenza, infiltrazione efficace.

La Figura 1, indica i diversi parametri utilizzati nella modellazione DRASTIC (*Fonte: www.frakturmedia.net*). La seguente equazione (1) calcola l'indice DRASTIC utilizzando una combinazione lineare di tutti i parametri.

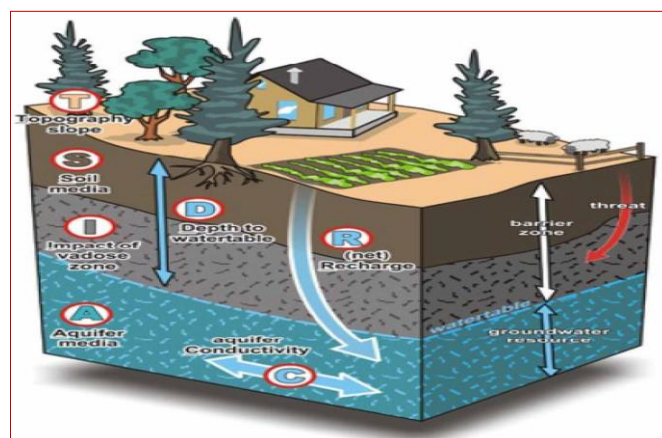


Fig. 1 – Definizione dei parametri DRASTIC.

La seguente equazione, calcola l'Indice DRASTIC (Drastic Index), utilizzando una combinazione lineare di tutti i parametri (dove il pedice w = peso dei parametri mentre il pedice R = magnitudo dei parametri):

$$DI = D_w \cdot D_R + R_w \cdot R_R + A_w \cdot A_R + S_w \cdot S_R + T_w \cdot T_R + I_w \cdot I_R + C_w \cdot C_R$$

L'indice DRASTIC è a metrica adimensionale che valuta la vulnerabilità delle acque sotterranee all'inquinamento. Se il valore dell'indice DRASTIC è più alto, si può dire che l'area è più colpita dall'inquinamento, mentre se il valore dell'indice DRASTIC è più basso, l'area è meno colpita dall'inquinamento. In linea di massima, l'intervallo dell'Indice DRASTIC è compreso tra **28** [0 %] e **226** [100 %].

Nel caso, infine, si vada ad applicare il metodo in zone ad alta attività agricola, gli autori hanno sviluppato il DRASTIC "agricolo" che differisce dal precedente per alcuni pesi dei fattori. Di seguito vengono illustrati i metodi di misurazione dei parametri DRASTIC e il loro impatto sulla valutazione della vulnerabilità delle acque sotterranee.

PARAMETRO	DENOMINAZIONE		PESO
D	<i>Depth Water</i>	Soggiacenza	$D_R = 5$
R	<i>(Net) Recharge</i>	Infiltrazione efficace	$R_R = 4$
A	<i>Aquifer Media</i>	Acquifero (Zona Saturata)	$A_R = 3$
S	<i>Soil Media</i>	Suolo	$S_R = 2$
T	<i>Topography</i>	Topografia	$T_R = 1$
I	<i>Impact of the Vadose Zone</i>	Sottosuolo anidro (Zona non saturata)	$I_R = 5$
C	<i>Conductivity (Hydraulic) of the Aquifer</i>	Conducibilità idraulica dell'acquifero	$C_R = 3$

Tab. 1 – Parametri del Metodo parametrico DRASTIC.

SOGGIACENZA (D)

La soggiacenza indica la profondità (p) dal piano campagna della tavola d'acqua (superficie freatica) nel caso di acquiferi freatici, o del tetto dell'acquifero stesso nel caso di falde in pressione. Tale profondità corrisponde allo spessore della zona aerata ossia alla distanza che un inquinante deve percorrere dalla superficie attraverso il non saturo per raggiungere l'acquifero (tale parametro perde evidentemente di significato nel caso in cui un inquinante venga immesso direttamente in falda). Maggiore è la soggiacenza, maggiore è il tempo di arrivo dell'inquinante in falda e maggiori saranno quindi i processi di attenuazione dell'inquinante stesso ossia di autodepurazione (diluizione, dispersione, filtrazione meccanica, volatilizzazione, scambio ionico, adsorbimento, eccetera). Ne consegue che più alto è il valore della soggiacenza, minore è il punteggio assegnato (minore pericolosità dell'indice) e, quindi, minore è la vulnerabilità all'inquinamento della falda. La soggiacenza è tuttavia un parametro dinamico, variabile nel tempo (variazioni annuali, stagionali, climatiche) per cui con essa varia anche il grado di vulnerabilità. Per ovviare a noiose interpolazioni, si può assumere la seguente funzione regressiva, per il parametro di pericolosità D_w ($R^2 = 0,9985$):

$$D_w = 0,0063 \cdot p^2 - 0,4866 \cdot p + 10,8680 \quad \text{per profondità } p \leq 30 \text{ [m]}$$

e

$$D_w = 1,00 \quad \text{per profondità } p > 30 \text{ [m]}$$

PROFONDITÀ p [m]		PUNTEGGIO D_w
MIN	MAX	
0,00	1,50	10
1,50	4,50	9
4,50	9,00	7
9,00	15,00	5
15,00	22,50	3
22,50	30,00	2
30,00	> 30,00	1

Tab. 2 – Punteggi relativi alla Soggiacenza della falda acquifera.

INFILTRAZIONE EFFICACE (R)

L'infiltrazione efficace è intesa come la quantità di acqua meteorica di infiltrazione che, effettivamente, raggiunge l'acquifero (quanto più queste saranno abbondanti tanta più acqua inquinata raggiungerà la falda). È importante poiché l'acqua rappresenta l'agente di trasporto dei contaminanti dalla superficie alla falda e quindi tanto maggiore è la quantità d'acqua, maggiore è la possibilità di trasporto degli inquinanti (se però le piogge sono particolarmente abbondanti, prevale l'effetto di diluizione e, perciò, si ha un minor rischio di inquinamento). La ricarica dell'acquifero è più rapida e la vulnerabilità è maggiore in aree con falde libere; le falde in pressione, che sono in parte protette dall'inquinamento superficiale da strati in genere a bassa permeabilità, possono avere la zona di ricarica anche in aree molto lontane. Anche in questo caso, per ovviare ad interpolazioni, si può assumere la seguente funzione per il parametro di pericolosità R_w ($R^2 = 0,9989$):

$$R_w = -6 \cdot 10^{-5} \cdot I_e^2 + 0,0522 \cdot I_e - 1,5276 \quad \text{per infiltrazione efficace } I_e > 50 \text{ [mmm/anno]}$$

e

$$R_w = 1,00 \quad \text{per infiltrazione efficace } I_e \leq 50 \text{ [mm/anno]}$$

RICARICA I_e [mm/anno]		PUNTEGGIO R_w
MIN	MAX	
0,00	50,00	1
50,00	100,00	3
100,00	175,00	6
175,250	250,00	8
250,00	> 250,00	9

Tab. 3 – Punteggi relativi all'Infiltrazione efficace.

La ricarica netta ossia l'infiltrazione efficace, viene calcolata dai dati meteorologici (per almeno **25** di anni d'osservazioni) utilizzando l'equazione di bilancio idrologico, sviluppata da Mehta *et Al.* (2006) nella loro area di ricerca:

$$I_e = P - ETR - D$$

dove:

I_e = Infiltrazione efficace (Ricarica netta);

P = Precipitazione media annuale [mm/anno];

ETR = Evapotraspirazione reale annua [mm/anno];

D = Deflusso totale annuo o Ruscellamento annuo [mm/anno].

Per il modello in studio, la ricarica diretta della falda (I_e), può determinarsi utilizzando l'equazione di L. Turc (1954), secondo un bilancio empirico semplificato, utilizzando la seguente equazione che vede, la stessa, come percentuale di pioggia che si stima si infilti, efficacemente, quale ricarica diretta:

$$R = \left(1 - \frac{\sqrt{0,90 + \frac{P^2}{(300 + 25 \cdot T + 0,05 \cdot T^3)^2}}}{2} \right)$$

e, quindi:

$$I_e = P \cdot R$$

ove:

R = Percentuale di precipitazioni (P) che si stima come ricarica diretta.

ACQUIFERO (A)

L'acquifero esercita il controllo sulla lunghezza del percorso seguito dall'inquinante (da cui dipendono i fenomeni di autodepurazione) e sulla direzione da esso seguita (influenzata dalle variazioni granulometriche e dall'andamento delle fratture). In genere, se maggiore è la dimensione del materiale costituente l'acquifero, maggiore è la permeabilità e, di conseguenza, maggiore ne risulta la vulnerabilità.

LITOLOGIA	PUNTEGGIO A_w
Limo compatto, Argillite compatta, Scisto compatto e Marna compatta	1 ÷ 3
R. Metamorfica/Ignea	2 ÷ 5
R. Metamorfica/Ignea alterate	3 ÷ 5
Colata glaciale	4 ÷ 6
Arenaria, Sequenze sedimentarie, Calcarea, Marna e Scisto a strati sottili	5 ÷ 9
Arenaria compatta	4 ÷ 9
Calcarea compatta, Dolomia compatta	4 ÷ 9
Sabbia e Ghiaia	6 ÷ 9
Basalto fessurato/fratturato	5 ÷ 10
Calcarea carsificato	9 ÷ 10

Tab. 4 – Punteggi relativi alla litologia costituente l'Acquifero.

SUOLO (S)

Il suolo comprende la porzione superficiale di copertura (zona di evapotraspirazione della zona non satura (*insaturo = zona di ritenzione e frangia capillare*), caratterizzata da un'intensa attività biologica. Influisce sia sulla quantità d'acqua che può filtrare e raggiungere i livelli sottostanti (e quindi sulla possibilità di un inquinante di muoversi verticalmente), sia, dove è abbastanza potente, sulla autodepurazione dell'inquinante (processi di filtrazione, biodegradazione, chemioadsorbimento, volatilizzazione, eccetera). In genere se minore è la granulometria del suolo e maggiore è la percentuale di argilla, sarà quindi maggiore l'azione di attenuazione dell'inquinante e minore è la vulnerabilità.

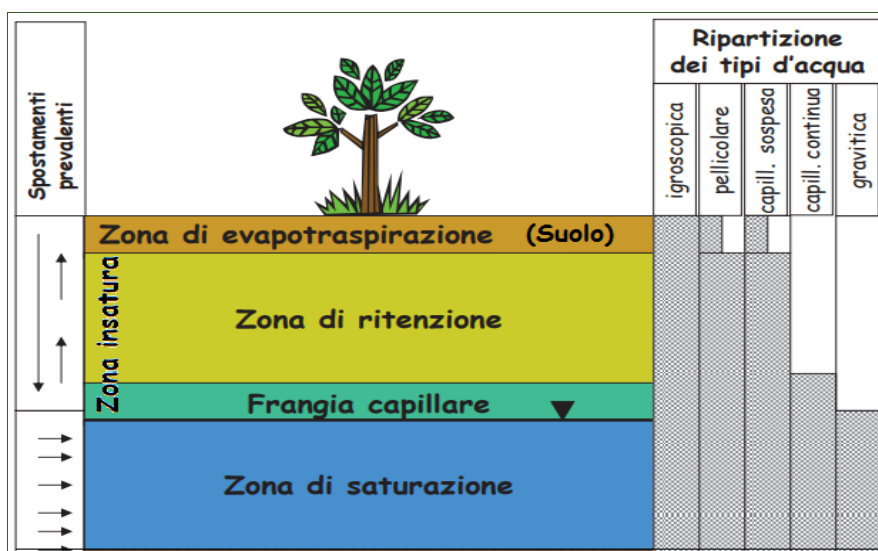


Fig. 2 – Distribuzione delle zone di umidità nel sottosuolo.

CARATTERISTICHE/TIPOLOGIA	PUNTEGGIO S_w
Sottile od Assente	10
Ghiaia	10
Sabbia	9
Torba	7
Argilla fessurata o aggregata	6
Terreno sabbioso	5
Terreno franco	4
Terreno limoso	3
Terreno argilloso	1

Tab. 5 – Punteggi relativi alla tipologia del Suolo di copertura.

TOPOGRAFIA (T)

La caratteristica morfologica superficiale del territorio (cd Soprassuolo), cioè la sua pendenza, influisce sul tempo di stazionamento e sulla velocità di flusso dell'acqua piovana che cade sul terreno, determinando la maggiore o minore possibilità di infiltrazione delle acque meteoriche e degli inquinanti. Ne consegue che minore è la pendenza della superficie topografica, maggiore è la vulnerabilità. Onde far fronte alle solite interpolazioni, può utilizzarsi la seguente funzione regressiva per il parametro di pericolosità T_w ($R^2 = 1,00$):

$$T_w = 0,0043 \cdot s^3 - 0,1285 \cdot s^2 + 0,5521 \cdot s + 9,3750 \quad \text{per pendenza } s \leq 18 \text{ [m]}$$

e

$$T_w = 1,00 \quad \text{per pendenza } s > 18 \text{ [m]}$$

PENDENZA s [%]		PUNTEGGIO T_w
MIN	MAX	
0	2	10
2	6	9
6	12	5
12	18	3
18	> 18	1

Tab. 6 – Punteggi relativi alla Pendenza del soprassuolo.

INSATURO (I)

È la zona compresa tra il suolo e la superficie dell'acquifero, dove agiscono processi quali biodegradazione, filtrazione meccanica, reazioni chimiche, dispersione, ecc. Dal punto di vista della vulnerabilità, costituisce un elemento di protezione dell'acquifero la cui efficacia, in termini litostratigrafici, dipende dalla permeabilità degli strati di materiale che la compongono. In tali condizioni, la zona vadosa, viene classificata valutandone la sua composizione, in funzione della potenza dei tratti del profilo stratigrafico. La zona non satura influisce anche sulla direzione seguita dall'inquinante per giungere alla falda.

LITOLOGIA	PUNTEGGIO I _w
Argilla/Limo	2 ÷ 6
Scisto, Argillite	2 ÷ 5
Calcere, Marna	2 ÷ 7
Arenaria, Colate glaciali	4 ÷ 8
Arenaria, Scisto Calcere e Stratificazioni sedimentarie, Argillite	4 ÷ 8
Sabbia e Ghiaia miste a Limo ed Argilla	4 ÷ 8
R. Metamorfica/Ignea	2 ÷ 8
Sabbia e Ghiaia	6 ÷ 9
Basalto fratturato/fessurato	2 ÷ 10
Calcere Carsificato	8 ÷ 10

Tab. 7 – Punteggi relativi all'Insaturo.

CONDUCIBILITÀ IDRAULICA DELL'ACQUIFERO (C)

La conducibilità idraulica dell'acquifero agisce solo dopo che l'inquinante ha raggiunto la falda. Controlla la velocità con cui l'acqua fluisce nell'acquifero sotto un dato gradiente idraulico. Essa dipende da numerosi fattori, quali la granulometria, la disposizione reciproca dei granuli, la presenza o meno di più piani di stratificazione, ecc. La conducibilità idraulica influisce inoltre sui processi di filtrazione e migrazione nella zona satura di un inquinante. È evidente che ad un'alta conducibilità idraulica, corrisponde una elevata vulnerabilità.

CONDUCIBILITÀ [m/s]		PUNTEGGIO C _w
MIN	MAX	
$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-5}$	1
$5 \cdot 10^{-5}$	$1,50 \cdot 10^{-4}$	2
$1,50 \cdot 10^{-4}$	$3,50 \cdot 10^{-4}$	4
$3,50 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	6
$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	8
$1 \cdot 10^{-3}$	$> 1 \cdot 10^{-3}$	10

Tab. 8 – Punteggi relativi alla Conducibilità idraulica dell'Acquifero.

Vengono infine proposti due set di pesi da attribuire a ciascuno dei sette parametri presi in esame, uno relativo al modello generale (industriale) ed uno adatto, in particolare, alla potenzialità di contaminazione da pesticidi per i suoli ad alta Produttività Agricola (*Pesticide Model*). I pesi relativi sono riportati nella successiva Tabella 9.

PARAMETRO	PESI MODELLO GENERALE INDUSTRIALE	PESI MODELLO A. PRODUTTIVITÀ AGRICOLA
Soggiacenza (D)	5	5
Ricarica Netta (R)	4	4
Acquifero (A)	3	3
Suolo (S)	2	5
Topografia (T)	1	3
Litologia Insaturo (I)	5	4
Conducibilità idraulica Acquifero (C)	3	2

Tab. 9 – Tabella dei pesi (Modello Generale e Modello Pesticidi).

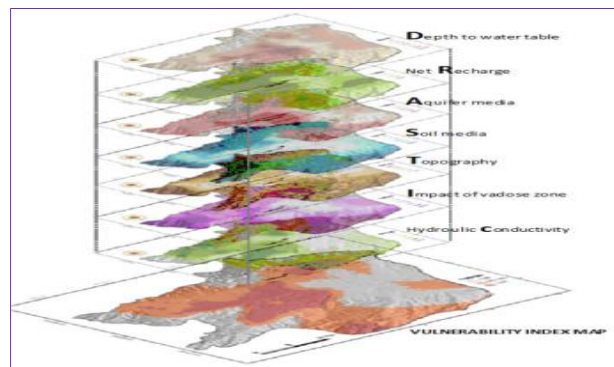


Fig. 3 – Strati idrogeologici del **DRASTIC Model**.

LIMITI DEL MODELLO DRASTIC ED IL NUOVO MODELLO DRASTICA

L'uso del modello DRASTIC per valutare la suscettibilità delle acque sotterranee è predominante, ma questo modello non è il più adatto per un ambiente edificato perché l'effetto antropico non è incluso come parametro del modello. Per superare questa limitazione, il presente studio implementa un modello DRASTIC adattato. DRASTICA, in cui l'"impatto delle attività antropiche" (rappresentato da "A" nell'acronimo) è stato incorporato come vincolo aggiuntivo. L'indice di urbanizzazione va moltiplicato per il peso di $A_R = 5$, che è in accordo con il peso di questo parametro. Un ottavo parametro, denominato *Impatto Antropico (Anthropic Impact)*, è stato generato dopo aver integrato tutte queste alterazioni e inserito nel modello DRASTICA:

$$DAI = D_w \cdot DR + R_w \cdot RR + A_w \cdot AR + S_w \cdot SR + T_w \cdot TR + I_w \cdot IR + C_w \cdot CR + A_w \cdot AR$$


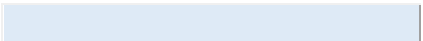


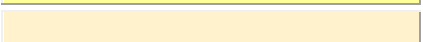
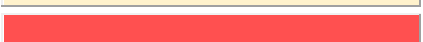
CLASSI D'USO DEL SUOLO	PUNTEGGIO A_w
Corpi idrici e terreni incolti	1
Foresta ed Arbusto	2
Aree nude	3
Aree Agricole	5
Costruzioni a bassa densità	7
Costruzioni a media densità	8
Costruzioni ad alta densità	9

Tab. 10 – Tabella dei pesi (Modello Generale e Modello Pesticidi).

PARAMETRO	PESI MODELLO GENERALE INDUSTRIALE	PESI MODELLO A. PRODUTTIVITÀ AGRICOLA
Soggiacenza (D)	5	5
Ricarica Netta (R)	4	4
Acquifero (A)	3	3
Suolo (S)	2	5
Topografia (T)	1	3
Litologia Insaturo (I)	5	4
Conducibilità idraulica Acquifero (C)	3	2
Antropicità (A)	5	5

Tab. 11 – Tabella dei pesi (Modello Generale e Modello Pesticidi).

L'indice DRASTICA (D_{AI}) può variare, quindi, da **33** a **271** (Tabella 12).

GRADO DI VULNERABILITÀ	INTERVALLO DI PUNTEGGIO	SCALA CROMATICA
Molto Basso	1 ÷ 46	
Basso	46 ÷ 91	
Medio	91 ÷ 136	
Alto	136 ÷ 181	
Molto Alto	181 ÷ 226	
Estremo	226 ÷ 271	

Tab. 12 – Classificazione dell'Indice DRASTICA.

ANALISI DI SENSIBILITÀ

Il modello DRASTICA è un metodo di valutazione che utilizza ben **8** strati idrogeologici, per cui l'analisi di sensibilità può essere ben utilizzata per confrontare e/o rivalutare il peso effettivo con il peso teorico iniziale di ciascun parametro. L'equazione che viene utilizzata è la seguente (Babiker et Al., 2005):

$$w = \frac{P_R \cdot P_W}{D_{AI}} \cdot 100$$

dove:

w = Peso effettivo del parametro in esame;

P_R = Valore di valutazione stimato per il parametro in esame;

P_W = Peso teorico del parametro in esame.

Nel caso di rivalutazione dei pesi (P_W), quindi di variazione, complessiva, dell'Indice DRASTICA (D_{AI}'), il rapporto di sensibilità (S), con l'ovvio significato dei simboli, diventa:

$$S = \frac{D_{AI} - D_{AI}'}{D_{AI}}$$

quanto più tale rapporto tenderà a zero ($S \cong 0$), tanto più questo significherà che la modifica dei pesi teorici non ha avuto alcun effetto sull'Indice DRASTICA iniziale (D_{AI}).

In altre parole, il modello è insensibile a quei cambiamenti, ed i pesi teorici potrebbero essere già ben rappresentativi della realtà ($0 < S < 1$: i pesi teorici erano probabilmente sottovalutati rispetto ai dati effettivi; $S < 0$: i pesi teorici erano probabilmente sovrastimati rispetto ai dati effettivi; $S = 1$: la modifica dei pesi ha completamente cambiato l'indice D_{AI}). I ricercatori L. Dugassa e A. Brook (2022) hanno condotto una campagna di campionamento delle acque sotterranee prelevando campioni da 20 pozzi di emungimento, al fine di eseguire analisi chimico-fisiche in laboratorio e determinare l'Indice di Qualità dell'Acqua (WQI). Questo indice è stato impiegato per convalidare il metodo DRASTICA. L'analisi di sensibilità ha evidenziato che l'impatto della zona vadosa (*zona insatura*) rappresenta il parametro con il maggiore effetto sull'indice di vulnerabilità. La correlazione tra l'Indice DRASTICA (D_{AI}) e l'WQI è risultata essere $R^2 = 0,95$, indicando che il metodo DRASTICA offre la migliore correlazione con i contaminanti (in particolare i nitrati) effettivamente riscontrati nelle acque sotterranee. In Fig. 4, riportando, sugli assi cartesiani, i valori di ciascuna delle due scale di indici (D_{AI} e WQI), si è effettivamente riscontrata una correlazione perfettamente lineare.

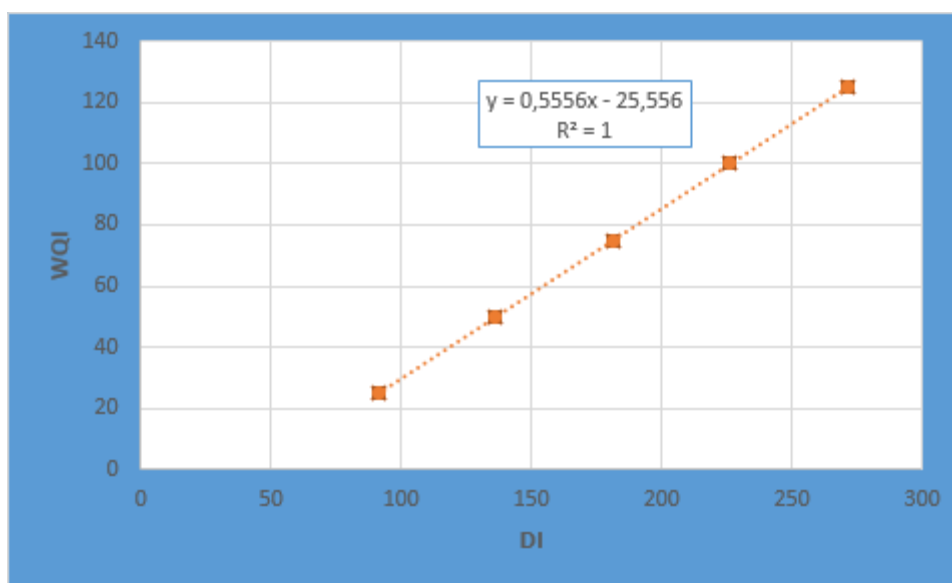


Fig. 4 – Correlazione fra il DRASTICA Index ed il WQI.

Si rende, di seguito, il modello di regressione che identifica l'equazione semplificata per la valutazione del **WQI** (Kushan D. Siriwardhana et Al., 2023):

$$WQI = -14,79 + 1,86(pH) - 0,018(EC \text{ mS/cm}) + 60,1643(T \text{ }^\circ\text{C}) + 0,4454(COD \text{ mg/L}) + 5,16(BOD_5 \text{ mg/L}) + 0,4188(NO_3^- \text{ mg/L}) + 96,04(PO_4^{3-} \text{ mg/L}) + 0,000619(SO_4^{2-} \text{ mg/L}) + 0,0004(Cl^- \text{ mg/L}) + 0,009218 (\text{Durezza: mgCaCO}_3/\text{L})$$

DAI	WQI	STATO DI QUALITÀ DELL'ACQUA	UTILIZZO PREVISTO		
			IDROPOTABILE	IRRIGAZIONE	INDUSTRIALE
0 ÷ 91	0 ÷ 25	Eccellente	ADATTO	ADATTO	ADATTO
91 ÷ 136	25 ÷ 50	Buono	ADATTO	ADATTO	ADATTO
136 ÷ 181	50 ÷ 75	Discreto	NON ADATTO	ADATTO	ADATTO
181 ÷ 226	75 ÷ 100	Molto scarso	NON ADATTO	ADATTO	NON ADATTO
226 ÷ 271	100 ÷ 125	Non adatto per usi idropotabile o piscicoltura	NECESSARIO UN TRATTAMENTO APPROPRIATO		

Tab. 13 - Stato della qualità dell'Acqua sotterranea in base agli indici WQI e D_{AI} .

BIBLIOGRAFIA

- [1] Aller, L., Lehr, J. H., Petty, R. e Bennett, T. (1987): "DRASTIC: un sistema standardizzato per valutare il potenziale d'inquinamento delle acque sotterranee utilizzando impostazioni idrogeologiche", in: Idrocarburi petroliferi e sostanze chimiche organiche nelle acque sotterranee: Prevention, Detection and Restoration, National Water Well Association, Worthington, OH, USA.
- [2] Panagopoulos, G. P., Antonakos, A. K. & Lambrakis, N. J. (2006): "Ottimizzazione del metodo DRASTIC per la della vulnerabilità delle acque sotterranee valutazione attraverso l'uso di semplici metodi statistici e GIS", Hydrogeology Journal, Ed. Springer, Berlin.
- [3] EPA (1987): "A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Setting", Ed. U.S. Environmental Protection Agency, Chicago, USA.
- [4] Rosen, L. (1994): "Uno studio della metodologia DRASTIC con particolare attenzione alle condizioni svedesi", Ed. Ground Water, Dublino.
- [5] Mehta, V. K., Walter, M. T. & DeGloria, D. S. (2006): "Un semplice modello di bilancio idrico", Relazione Tecnica N. 5, Cornell University, Ithaca, NY, USA.
- [6] Turc L., (1954): "Calcul du bilan de l'eau. Évaluation en fonction des précipitations et des températures", Ed. IASH, Symposium, Roma.
- [7] Babiker, I. S., Mohamed, M. A. A., Hiyama, T. & Kato, K. (2005): "A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan", Science of the Total Environment, Ed. Elsevier, Amsterdam.
- [8] Dugassa, L. e A. Brook (2022): "Assessment on contamination vulnerability of Akaki well fields using GIS and DRASTICA methods", Sustainable Water Resources Management, Springer S. & Business Media, Berlin.
- [9] K. D. Siriwarhana, D. I. Jayaneththi, R. D. Herath, R. K. Makumbura et Al. (2023): "A simplified equation for calculating the water quality index (WQI), Kalu River, Sri Lanka", Academic Editor, Licensee MDPI, Basel, Switzerland.